

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO “CONFORMIDADE AMBIENTAL COM
REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS”

CAMILA CANESI MORINO

A APLICAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS NO SOLO COMO INSUMO
AGRONÔMICO E OS SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

SÃO PAULO

2021

CAMILA CANESI MORINO

**A APLICAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS NO SOLO COMO
INSUMO AGRONÔMICO E OS SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Monografia apresentada ao Curso de pós-graduação “Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais”, da Escola Superior da CETESB, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Conformidade Ambiental.

Orientadora: Mara Magalhães Gaeta Lemos

SÃO PAULO

2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

M85a	Morino, Camila Canesi A aplicação de dejetos de suínos no solo como insumo agronômico e os seus impactos ambientais / Camila Canesi Morino. – São Paulo, 2021. 154 p.: il. color. ; 30 cm. Orientadora: Mara Magalhães Gaeta Lemos. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2021. Disponível também em: < http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/ >. 1. Dejetos suínos – disposição - solo 2. Impactos ambientais – suinocultura 3. Solo – fertilizantes orgânicos - impactos ambientais I. Lemos, Mara Magalhães Gaeta, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.
CDD (21. ed. Esp.)	631.860 286 636.402 86
CDU (2. ed. Port.)	636.4:628.515/.516 631.862:628.515/.516

Catalogação na fonte: Hilda Andriani de Lima – CRB 8-1861
Margot Terada – CRB 8-4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB.
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900
Site: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS



AValiação DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno(a):	Camila Canesi Morino	
Título do trabalho:	"A aplicação de dejetos de suínos no solo como insumo agrônômico e os seus impactos ambientais"	Turma: 2017

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Gisela Vianna Meneses	9,0	<i>Gisela V. Meneses</i>
Avaliador 2 Nome: Paulo Fernandes Rodrigues	9,0	<i>Paulo F. Rodrigues</i>
Orientadora Nome: Mara Magalhães Gaeta Lemos	9,0	<i>Mara Magalhães Gaeta Lemos</i>
Nota final	9,0	
Aprovado em São Paulo, 22 de março de 2021		
Ciência do aluno(a): Camila Canesi Morino		Assinatura <i>Camila Canesi Morino</i>

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

RESUMO

A atividade de suinocultura gera um grande volume de dejetos de animais que possuem alto valor agronômico, razão pela qual a principal forma de sua destinação é a sua utilização como insumo agronômico. Contudo, tal prática pode ocasionar impactos ambientais no solo, nas águas subterrâneas e superficiais, assim como à fauna, aos seres edáficos, e à saúde humana, na inexistência de manejo adequado, na utilização descontrolada dos dejetos em suas formas líquida e sólida, sem o cálculo da dosagem ideal de nutrientes necessárias para as culturas, assim como na sua utilização a longo prazo nas mesmas áreas de aplicação. Constata-se que não existem muitas normas ambientais específicas que tratem da prática da aplicação de dejetos de suínos no solo como insumo agrícola a nível nacional e estrangeiro que determinem o monitoramento de parâmetros que protejam o solo, as águas subterrâneas e superficiais, assim como a microbiota, os seres edáficos, a fauna e os seres humanos. Sendo assim, o presente trabalho visa demonstrar a importância do estudo do manejo adequado dos dejetos de suínos, dos impactos ambientais da sua aplicação no solo como insumo agronômico e da necessidade de existir uma legislação ou norma a nível federal específica para a prática no país, que estipule controles de poluição ambiental preventivos do solo, águas superficiais e subterrâneas, a fim de que a utilização de dejetos de suínos como insumo agronômico seja sustentável.

Palavras-chave: Dejetos de Suínos. Valor agronômico, Aplicação no solo. Manejo adequado. Impactos Ambientais. Solo. Águas subterrâneas. Águas superficiais. Biologia. Microbiologia. Legislação.

ABSTRACT

The swine farming activity generates a large volume of animal waste that has high agronomic value, which is why the main form of its destination is using it as an agronomic input. However, such practice can cause environmental impacts on the soil, underground and surface water, as well as on fauna, edaphic beings, and human health. It can be caused in the absence of proper management, in the uncontrolled use of swine manure in its liquid and solid forms, without calculating the ideal dosage of nutrients needed for crops, as well as their long-term use in the same areas of application. It appears that there are not many specific national and international regulations that deal with the practice of applying swine manure to the soil as an agricultural input and that determine the monitoring of parameters that protect the soil, ground and surface waters, as well as the microbiota, edaphic beings, fauna and human beings. Therefore, this study aims to demonstrate the importance of studying the proper management of swine manure, the environmental impacts of its application to the soil as an agronomic input and the need of specific federal regulations for the practice in the country, which stipulate preventive environmental pollution controls of soil, surface and groundwater, so that the sustainability use of swine manure as an agronomic.

Keywords: Swine manure. Agronomic value. Proper handling. Environmental impacts. Ground. Groundwater. Surface waters. Edaphic beings. Human health. Biology. Microbiology. Federal and state regulations. International regulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

Tipo	Nº	Título	p.
Figura	1	Fluxograma mostrando o conceito de balanço de nutrientes	28
Figura	2	Concentração de Cobre (Cu) em Latossolo Vermelho após três anos sucessivos de aplicação de dejetos de suínos	45
Figura	3	Concentração de Zinco (Zn) em Latossolo Vermelho após três anos sucessivos de aplicação de dejetos de suínos	45
Figura	4	Teores de Zinco (Zn) no solo em floresta e em sistema de produção de café com diferentes tempos de aplicação de dejetos líquidos de suínos	46
Figura	5	Teores de Cobre (Cu) no solo em floresta e em sistema de produção de café com diferentes tempos de aplicação de dejetos líquidos de suínos	46
Figura	6	Interação entre os dejetos de animais e as doenças infecciosas nos homens e animais	62
Tabela	1	Algumas características dos dejetos de suínos em unidade de crescimento e terminação manejados em fossas de retenção	15
Tabela	2	Níveis nutricionais de dietas de crescimento (71-110 dias de idade) realizado por algumas empresas comerciais com mesma matriz nutricional	16
Tabela	3	Relação entre dejetos de suínos e fertilizante mineral considerando apenas a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio.	19
Tabela	4	Oferta de nitrogênio, fósforo e potássio calculado a partir da excreção dos animais	27
Tabela	5	Quantidade de nutrientes adicionados por meio de dejetos de suínos e quantidades extraídas pelo milho	44
Tabela	6	Lista de valores orientadores para solos e para águas subterrâneas	69
Tabela	7	Valores máximos permitidos de substâncias químicas no bio-sólido a ser destinado para uso, em solos	79
Tabela	8	Taxa máxima anual e carga máxima acumulada de substâncias químicas em solos quando do uso do bio-sólido Classe 2	79
Tabela	9	Frequência de monitoramento de bio-sólido a ser destinado para uso em solos, em termos de sólidos totais (t ano ⁻¹ ST).	80
Tabela	10	Concentrações medidas anuais máximas permitidas no efluente a ser aplicado em solo agrícola	85
Tabela	11	Informações sobre a área	101

Tabela	12	Informações sobre as características do solo	101
Tabela	13	Classificação do risco ambiental	102
Tabela	14	Planilha de Resultado do Monitoramento das Áreas Agrícolas sob Adubação com Fertilizantes Orgânicos de Suínos	105
Tabela	15	Classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais	107
Tabela	16	Porcentagem do N total de fertilizantes orgânicos liberados no primeiro ano	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Área com Potencial de Contaminação
C	Carbono
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono (Gás carbônico)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
CT	Coliformes totais
Cu	Cobre
DLS	Dejeto Líquido de suíno
EC	Coliformes termotolerantes
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENT	Enterococos
Epagri	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FATMA	Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
FDA	Food and Drug Administration
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do Rio Grande do Sul
H ₂ S	Gás sulfídrico
IMA	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
K	Potássio
LCA-P	Limite Crítico Ambiental do Fósforo
Mn	Manganês

MS	Matéria seca
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio
NH ₃	Amônia
N-NH ₄ ⁺	Nitrogênio amoniacal
N ₂ O	Óxido nitroso
NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻	Nitrato+nitrito
P	Fósforo
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SIMA	Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
Udesc	Universidade do Estado de Santa Catarina
UGL	Unidade de Gerenciamento de Lodo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VI	Valores de Intervenção
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	OBJETIVOS.....	14
2.	OS DEJETOS DE SUÍNOS E SEU POTENCIAL AGRONÔMICO.....	15
2.1.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS DEJETOS DE SUÍNOS	15
2.2.	OS DEJETOS SÓLIDOS E SEU VALOR AGRONÔMICO E ECONÔMICO	17
2.2.1.	Os métodos de aproveitamento dos dejetos de suínos	19
2.2.1.1.	<i>Compostagem de dejetos</i>	19
2.2.1.2.	<i>Cama sobreposta</i>	21
2.2.1.3.	<i>Separação de dejetos</i>	21
2.2.1.4.	<i>Uso do biofertilizante</i>	23
2.2.1.5.	<i>Biodigestão de dejetos suínos</i>	24
2.2.1.6.	<i>Outras formas de destinação</i>	25
2.2.2.	O valor econômico dos dejetos de suínos como insumo agrícola....	26
2.3.	MEDIDAS DE MANEJO ADEQUADO DOS DEJETOS NAS GRANJAS PARA EVITAR IMPACTOS AMBIENTAIS	27
2.3.1.	Manejo de dejetos líquidos.....	29
2.3.2.	Manejo de dejetos sólidos	30
2.3.3.	Métodos de aplicação dos dejetos	32
3.	OS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS DEJETOS NA SUA UTILIZAÇÃO COMO FERTILIZANTE	36
3.1.	NO SOLO.....	36
3.1.1.	Estudos sobre os impactos nas plantas e no solo do uso de dejetos como fertilizantes	40
3.1.2.	Teores de Cobre (Cu) e Zinco (Zn).....	42
3.1.3.	Nitrogênio	47
3.1.4.	Teores de Fósforo (P) e Potássio (K).....	51
3.1.5.	Micropoluentes	54
3.1.6.	pH.....	55
3.1.7.	Salinidade	56
3.1.8.	Organismos Edáficos.....	56

3.2.	NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	58
3.3.	NA SAÚDE HUMANA.....	62
3.4.	POLUIÇÃO DO AR - GASES NOCIVOS E ODOR.....	65
4.	NORMAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS	66
4.1.	FEDERAL BRASILEIRA.....	66
4.1.1.	Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente	67
4.1.1.1.	<i>Resolução CONAMA nº 420/2009</i>	67
4.1.1.2.	<i>Resolução CONAMA nº 481/2017</i>	74
4.1.1.3.	<i>Resolução CONAMA nº 498/2020</i>	76
4.2.	ESTADO DE SÃO PAULO	83
4.3.	ESTADO DO PARANÁ.....	94
4.4.	ESTADO DE SANTA CATARINA.....	103
4.5.	ESTADO DE RIO GRANDE DO SUL	105
4.6.	INTERNACIONAL.....	108
4.6.1.	América do Sul - Argentina	108
4.6.2.	Diretrizes da União Europeia.....	113
4.6.3.	Espanha - País Basco	117
4.6.4.	Espanha - Catalunha.....	120
4.6.5.	América do Norte - Canadá	125
5.	DISCUSSÃO.....	133
6.	CONCLUSÃO	143
	REFERÊNCIAS	146
	ANEXO A - Valores Orientadores do Estado de São Paulo (DD nº 256/2016)	152

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura intensiva gera um grande volume de dejetos, em especial pelo fato do elevado número de animais por granja, sendo que a destinação e o manejo inadequados ocasionam a poluição das águas superficiais e subterrâneas, solo e ar (ITO et al., 2016, p. 133).

A expansão desta atividade desperta a necessidade pela destinação correta dos dejetos e resíduos. Segundo Rizzoni et al. (2012) a suinocultura é considerada, pelos órgãos de controle ambiental, a atividade agropecuária que ocasiona maior impacto ambiental. Schultz (2007) afirmou que, em termos comparativos, a geração de dejetos suínos, corresponde a quatro vezes o equivalente populacional humano. Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pelos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório (RIZZONI et al., 2012). (ANDREAZZI et al., 2015, p. 745)

A destinação para aterros sanitários se demonstra inviável, assim como pela dificuldade que se teria em sua operacionalização, devido às grandes quantidades de dejetos geradas nas granjas.

Atualmente, a principal destinação dos dejetos suínos reside na utilização como insumo agrícola, entretanto, o uso descontrolado representa grande risco de poluição ambiental no solo e águas subterrâneas, em virtude dos poluentes que compõem os dejetos, tais como Nitrogênio, Fósforo, metais pesados, como Zinco e Cobre, microrganismos fecais patogênicos (ITO et al., 2016, p. 133).

Os sistemas intensivos de criação de suínos originam grandes quantidades de dejetos, os quais necessitam de destinação e tratamento. Entre as alternativas possíveis, a de maior aceitação pelos agricultores é a utilização dos dejetos como fertilizante. (CARDOSO et al., 2015, p. 136).

Os recursos hídricos também podem ser impactados com a eutrofização dos corpos d'água, o que impacta na biodiversidade aquática, e na presença de organismos prejudiciais ao ser humano (que geram verminoses, alergias, hepatite) e aos animais (mortalidade de peixes e toxicidade em plantas) (ITO et al., 2016, p. 133).

De acordo com Oliveira e Nunes (2005) a expansão da suinocultura, caracterizada pela grande concentração de animais por área, traz como consequência o risco de poluição hídrica com presença de alta carga orgânica e presença de coliformes fecais, resultando na destruição dos recursos naturais renováveis, especialmente da água.

Oliveira e Nunes (2005) afirmaram que para a sobrevivência das zonas de produção intensiva de suínos, é preciso encontrar sistemas alternativos que reduzam a emissão de odores, de gases nocivos e os riscos de poluição das fontes de água. Esta situação é um desafio para os produtores da atualidade, pois terão que se adequar às exigências da sustentabilidade ambiental, social e econômica. (ANDREAZZI et al., 2015, p. 745).

Destaque-se que inclusive acidentes ambientais ocasionados por vazamentos e escorrimentos em métodos de tratamento, como lagos, esterqueiras, etc, ou mesmo de disposição, como canais para utilização na irrigação, podem impactar os corpos hídricos, o que pode gerar danos ambientais.

1.1. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral analisar o estado da arte da utilização dos dejetos de suínos como insumo agrícola e a normatização existente nos cenários nacional, estadual e internacional.

Os objetivos específicos consistem em desenvolver pesquisa de revisão bibliográfica sobre:

1. os possíveis benefícios da utilização dos dejetos como insumo agronômico em razão do seu potencial agronômico;
2. os impactos ambientais ocasionados às águas superficiais e subterrâneas, ao solo, aos seres edáficos e à saúde humana em razão da utilização da prática;
3. normas ambientais nacionais e estrangeiras sobre a utilização de dejetos de suínos no solo agrícola e as medidas de mitigação de impactos ambientais preconizadas;
4. demonstração da viabilidade da utilização da prática e da necessidade de regramento próprio para este uso.

2. OS DEJETOS DE SUÍNOS E SEU POTENCIAL AGRONÔMICO

Neste capítulo serão apresentadas as características dos dejetos suínos, sua utilização com adubo para culturas agrícolas, métodos de aplicação no solo e manejo adequado para evitar impactos ambientais.

2.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS DEJETOS DE SUÍNOS

A composição dos dejetos de suínos é de fezes, urina, resíduos de ração, cerdas, material particulado, materiais gerados no processo produtivo (e.g. sangue), assim como água, sendo que possui coloração escura, consistência líquida, em regra, que também pode ser pastosa ou sólida (BARROS et al., 2019, p. 9).

Para melhor elucidação da composição físico-química dos dejetos, a Tabela 1 abaixo extraída do “Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos da Embrapa” é a que apresenta a composição mais completa dos resíduos líquidos de suínos em unidades de crescimento e terminação - 25 a 100kg (OLIVEIRA, 1993, p. 14).

Tabela 1 – Algumas características dos dejetos de suínos em unidade de crescimento e terminação manejados em fossas de retenção

Parâmetros	Média	Coefficiente de Variação (%)
pH	6,94	2,45
Matéria seca (%)	8,99	13,68
Sólidos totais/ST (%)	9,00	27,33
Sólidos voláteis/SV (%)	75,05	5,86
Nitrogênio total (%)	0,60	8,33
Fósforo (%)	0,25	28,00
Potássio (%)	0,12	33,33
DBO ₅ (g/litro)	52,27	22,71
DQO (g/dia)	98,65	17,32

Fonte: Konzen (1980)

Fonte: OLIVEIRA, 1993, p. 14.

As suas características físicas, químicas e biológicas relacionam-se à sua dieta, ao aproveitamento dos nutrientes pelo seu sistema digestivo (o que oscila de acordo com a sua fase de criação), assim como à quantidade de água utilizada na granja, sendo que boa parte dos nutrientes contidos nas rações são eliminados pelos animais nas fezes e na urina (BARROS et al., 2019, p. 9).

Há que se destacar que é comum que os dejetos possuam grande quantidade de água, que são provenientes de águas pluviais nos sistemas de coleta e armazenamento de dejetos e perdas nos bebedouros, o que impacta na qualidade do esterco, razão pela qual é essencial a gestão eficiente da água, com a diminuição de desperdício, para que se utilize o dejetos como fertilizante (SCHERER, 2002, p. 91).

A Tabela 2 mostra a concentração de nutrientes presentes em rações de oito empresas diferentes e necessidade nutricional efetiva dos animais em sistemas de terminação, na qual pode-se constar que os nutrientes são acrescentados nas fórmulas em elevada dosagem em relação à verdadeira necessidade dos suínos nos sistemas de terminação. Em regra, verifica-se que os nutrientes em excesso não consistem em benefícios para os animais, uma vez que são eliminados nas fezes e urina, de modo que compõem os dejetos para uso agrícola ou submissão a processos de tratamento, consoante se pode observar (BARROS et al., 2019, p. 9).

Tabela 2 – Níveis nutricionais de dietas de crescimento (71-110 dias de idade) realizado por algumas empresas comerciais com mesma matriz nutricional

Nutriente	Uso médio	Exigência média	Diferença (usado - exigência)	
			Unidades	%
Cálcio (Ca) (%)	0,741	0,631	0,110	17,47
Fosforo total (P) (%)	0,581	0,524	0,057	10,93
Fosforo disponível (%)	0,373	0,332	0,041	12,20
Sódio (Na)(%)	0,259	0,180	0,079	43,75
Cloro (Cl) (%)	0,366	0,170	0,196	115,44
Ferro (Fe) (mg.kg ⁻¹)	75,13	64,0	11,125	17,38
Cobre (Cu) (mg.kg ⁻¹)	64,63	9,6	55,025	573,18
Manganês (Mn) (mg.kg ⁻¹)	47,38	32,0	15,375	48,05
Zinco (Zn) (mg.kg ⁻¹)	87,88	80,0	7,875	9,84
Iodo (I) (mg.kg ⁻¹)	1,07	0,80	0,265	33,13
Selênio (Se) (mg.kg ⁻¹)	0,30	0,29	0,006	2,16

¹Média de oito empresas comerciais. Fonte: Pupa (2005)

Em sistemas de criação de leitões utilizam doses ainda mais elevadas de zinco (3.000 mg.kg^{-1}) e cobre (250 mg.kg^{-1}) como forma de evitar diarreias e como estimulante de crescimento (BARROS et al., 2019, p. 10).

Segundo Perdomo (2011, *apud* BARROS et al., 2019, p. 10) integrariam a composição dos dejetos advindos da ração: entre 40% a 60% do nitrogênio, 50 a 80% do cálcio e fósforo, 70 a 95% do potássio, sódio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro, dos quais há que se destacar: potássio (K), nitrogênio (N) e fósforo (P), os principais componentes de fertilizantes minerais indicados para adubação do solo no cultivo agrícola.

Note-se que o nitrogênio é o que possui percentual mais baixo de aproveitamento pelos suínos, pois independentemente do sistema de produção, 65 a 70% do nitrogênio que compõem as rações, são eliminados nas fezes e urina, e depositados em biodigestores ou esterqueiras, nos quais pela ação biológica ocorre a mineralização do nitrogênio orgânico em amônia assimilável pelas plantas (BARROS et al., 2019, p. 10).

Por fim, há que se salientar que há grande oscilação na concentração de nutrientes, o que ocorre em função da gestão de água nas granjas, se é eficiente, gera dejetos com maior concentração de nutrientes, com maior valor agrônômico, e na sua insuficiência, apenas acarreta mais custos com transporte dos fertilizantes até a lavoura, pela necessidade da sua utilização em maior quantidade (BARROS et al., 2019, p. 13)

2.2. OS DEJETOS SÓLIDOS E SEU VALOR AGRONÔMICO E ECONÔMICO

Os dejetos de suínos possuem potencial fertilizante, em virtude de suas características químicas, sendo que inclusive pode substituir total ou parcialmente os fertilizantes químicos, e assim, melhorar a produtividade das culturas e diminuir os gastos de produção (SCHERER, 2002, p. 91).

O valor agrônômico dos dejetos suínos está relacionado à sua composição, de modo que quanto mais nutrientes compuserem o teor dos dejetos, mais alto será o seu valor agrônômico, e por seguinte, o econômico (BARROS et al., 2019, p. 14).

As concentrações dos nutrientes serão maiores, quando houver maior teor de matéria seca nos dejetos, (BARROS et al., 2019, p. 14).

Neste sentido, Scherer (2002, p. 93) também prescreve que na utilização dos dejetos sólidos como fertilizante, faz-se imprescindível a diminuição da quantidade de água no esterco, em decorrência da concentração de nutrientes se relacionar diretamente com o teor de matéria orgânica, e conseqüentemente, muita água implica em maior gasto final com adubação, pois aumentam os gastos com armazenamento, transporte e aplicação por unidade de nutriente.

No mais, há que se ter cuidado com o armazenamento do material orgânico sólido, pois necessita ser acondicionado em local coberto e com reduzido teor de umidade, com o objetivo de não se perder amônia por volatilização, e nitrato e potássio por eluição, conforme disposto no Manual de Adubação e Calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina (WIETHOLTER, 2004, p. 111).

O supracitado documento também ressalta a necessidade dos cuidados necessários com as águas pluviais, para que não adentrem as esterqueiras, assim como grandes quantidades de lavagens das granjas, para que não ocorra diluição em excesso dos dejetos (WIETHOLTER, 2004, p. 111).

A Tabela 3 compara dejetos com diferentes teores de matéria seca (MS) e suas equivalências em relação a um determinado fertilizante mineral, da qual se conclui que dejetos que possuem muita água em sua composição, tal como o tipo 1 que tem o teor de 2,1% de matéria seca apenas, também tem baixo valor agrônômico, o que não se verifica no tipo 4, que possui alto teor de matéria seca, um metro cúbico apenas do dejetos equivale a 18,6 kg do fertilizante mineral usado como referência (BARROS et al., 2019, p. 15 e 16).

Tabela 3 – Relação entre dejetos de suínos e fertilizante mineral considerando apenas a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio.

Tipo	M.S. (%)	N (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O(kg)	TOTAL NPK	EQUIV.* (kg)
1	2,1	2,21	1,75	1,25	5,21	9,7
2	3,0	2,83	2,37	1,50	6,70	12,4
3	3,9	3,44	2,99	1,75	8,18	15,2
4	5,1	4,21	3,75	2,06	10,02	18,6

*Equivalente em kg da formulação fertilizante 09-33-12

Fonte: SBCS (2016) adaptado pelo autor.

Fonte: BARROS et al., 2019, p. 15, adaptado de SBCS (2016).

Em sendo assim, verifica-se que o valor fertilizante por m³ praticamente quase dobra em granjas que controlam adequadamente a utilização da água, e, conseqüentemente, a quantidade a ser utilizada para atender à cultura irá ser menor, o que impactará também nos custos relacionados ao seu transporte e distribuição (BARROS et al., 2019, p. 16).

2.2.1. Os métodos de aproveitamento dos dejetos de suínos

Neste item são apresentados os principais métodos de aproveitamento dos dejetos suínos.

2.2.1.1. Compostagem de dejetos

A compostagem de dejetos de suínos¹ se divide em duas fases: absorção, em que ocorre a adição ao substrato (maravalha, serragem ou palha) de forma fracionada dos dejetos líquido, até alcançar uma proporção próxima de 1:10 (1 kg de substrato para

¹ “O sistema de compostagem dos dejetos de suínos foi desenvolvido no Brasil pelos pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves, Dr. Paulo Armando Victória de Oliveira e Dra. Martha Mayumi Higarashi. Estes pesquisadores apresentam de forma detalhada este processo tecnológico no documento nº 114: Unidade de Compostagem para o tratamento dos dejetos de Suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.” (BRASIL, 2016, p. 36).

10 litros de dejetos líquidos), na qual ocorre acréscimo de temperatura em virtude da fermentação e a evaporação da água; e, a maturação ou estabilização, na qual se mantém a qualidade em razão do contínuo revolvimento da massa e adição de oxigênio, que propicia a estabilidade da temperatura alta no interior, o que resulta na eliminação dos microrganismos patogênicos e a estabilização do composto (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006a) (BRASIL, 2016, p. 36).

Destaque-se a compostagem dura de 90 a 120 dias, e pode ser feita em estruturas simples de alvenaria com manejo manual ou de modo mecanizado e automatizado com revolvedores para a biomassa. (BRASIL, 2016, p. 36-37).

Dos experimentos realizados, verificou-se que o balanço final dos nutrientes avaliados apontou as seguintes perdas com a compostagem: 36,5% do carbono (C), 71,3% do nitrogênio (N), 5,7% do fósforo (P) e 15% do potássio (K), sendo que o composto final apresentou a seguinte composição: 50% de umidade; 5,7 de pH; 41% de carga orgânica; 2,1% de nitrogênio total; 19,5 de relação C/N; 109,97 mg kg⁻¹ de cobre e 1.796,25 mg kg⁻¹ de zinco. (BRASIL, 2016, p. 38).

Note-se que a referida composição atende aos critérios da Instrução Normativa nº 25 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009) de qualidade para a comercialização de fertilizantes orgânicos, o que permite a destinação externa em granjas que produzem volumes de dejetos líquidos maiores que as necessidades das culturas nas áreas da própria granja ou em áreas circunvizinhas, o que ocorre muito em sistemas de produção de suinocultura com grande plantel de suínos (BRASIL, 2016, p. 39).

No que concerne aos poluentes gerados, de acordo com Angnes, Oliveira e Miller (2012), a compostagem gera em pequenas quantidades: os gases N₂O (óxido nitroso) e CH₄ (metano), que são prejudiciais em questões de aquecimento global, e maiores quantidades dos gases N₂ (nitrogênio), NH₃ (amônia) e CO₂ (gás carbônico) que possuem menor potencial poluidor (BRASIL, 2016, p. 39).

2.2.1.2. Cama sobreposta

O método de cama sobreposta (no inglês deep bedding)² consiste numa compostagem realizada nos galpões onde os animais estão alojados, que excrementam em substratos, como maravalha, palha ou casca de arroz, em pisos de concreto, onde tem início uma compostagem aeróbia, em decorrência do calor, umidade eliminada por evaporação, o que origina um composto orgânico (BRASIL, 2016, p. 39-40).

A cama sobreposta é um método mais econômico, porque não são feitos grandes dispêndios com instalações e manejo, vez que não há necessidade de estocagem, e torna mais fácil transportar, distribuir, o volume final de efluentes é menor, e do ponto de vista de concentração dos nutrientes é mais rico, visto que reduz quase totalmente a água dos dejetos (BRASIL, 2016, p. 40).

Sob a ótica ambiental, frente à compostagem ser aeróbia, as emissões de amônia (NH₃) e odores são menores, o que diminuiu o impacto ambiental ocasionado pela atividade, bem como propicia maior bem-estar ao plantel (BRASIL, 2016, p. 40).

Quanto às desvantagens, ocorre aumento do consumo de água no verão, há necessidade de maior atenção com a ventilação nas edificações, manutenção e reposição do substrato para a cama e nível sanitário dos animais no plantel (BRASIL, 2016, p. 40).

2.2.1.3. Separação de dejetos

A separação dos dejetos de suínos reside na sua divisão em fases sólida e líquida por processos físicos, que resulta em uma fração líquida mais fluída que concentra a maioria dos nutrientes solúveis, e uma fração sólida que pode ser transformada em um composto orgânico (BRASIL, 2016, p. 40-41).

² “Os primeiros estudos sobre esta tecnologia de produção desenvolveram-se somente no final da década de 80, na Europa (Nicks et al., 1995). No Brasil, este modelo de produção foi introduzido em 1992 pela Embrapa Suínos e Aves, que a partir de então, passou a realizar estudos para adaptá-lo às condições locais (OLIVEIRA et al., 1993; NUNES, 2003)”. (BRASIL, 2016, p. 40).

Existem vários métodos de separação, tais como decantação, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem, desidratação por vento, ar forçado ou ar aquecido, sendo que as mais utilizadas são decantação e o uso de peneiras (BRASIL, 2016, p. 40-41).

A decantação reside na separação dos dejetos pelas densidades das partículas, de modo que retira em torno de 50% da parte sólida dos dejetos, de um total de 15% dos dejetos líquidos advindos de um plantel, o que também reduz seu potencial poluidor, posto a maior quantidade dos metais pesados, do fósforo orgânico e do nitrogênio orgânico serem removidos nesse método (BRASIL, 2016, p. 41).

Entretanto, há que se ter atenção especial, pois as referidas substâncias ficam depositadas no lodo no fundo do decantador, e o lodo apesar de conter grande poder fertilizante, maior concentração de NPK por m³ transportado, precisa ter a destinação correta (compostagem, desidratação) para não se tornar um agente poluidor (BRASIL, 2016, p. 41).

Ademais, neste método se faz necessária maior mão-de-obra operacional com a drenagem de lodo em dias alternados, assim como o subsequente armazenamento em esterqueiras para estabilização (BRASIL, 2016, p. 41).

A separação dos dejetos é feita pela utilização de peneiras de acordo com o diâmetro, tamanho e forma das partículas, o processo resulta num substrato semi-úmido de grande valor nutricional e diminui os dispêndios com tratamento de fase líquida (BRASIL, 2016, p. 42).

As peneiras podem ser estáticas, vibratórias e rotativas, sendo vantagem do método que o resíduo líquido possui menor concentração de nutrientes, motivo pelo qual é possível sua disposição em maior volume por hectare, quando se tem como referência o dejetos sólido, sendo mais fácil a sua aplicação por sua fluidez nas tubulações e mangueiras, sendo que o resíduo sólido resultante pode ser comercializado como biofertilizante (BRASIL, 2016, p. 43).

2.2.1.4. Uso do biofertilizante

O biofertilizante consiste em um adubo orgânico, isento de agente causadores de doenças e pragas às plantas, que auxilia no reestabelecimento do teor de húmus no solo, melhora suas propriedades químicas, físicas e biológicas, e ajuda também na estruturação e fixação de nitrogênio atmosférico (BRASIL, 2016, p. 50).

O método envolve um processo de digestão no qual se dá a diminuição do teor de carbono do material, pela sua transformação em metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), com o acúmulo de teor de nitrogênio e demais nutrientes no biofertilizante³ (BRASIL, 2016, p. 50).

O biofertilizante na forma sólida tem que ser originado de compostagem (cama sobreposta ou compostagem em leiras) ou de separação e secagem da parte líquida, sendo um método a fermentação em biodigestor, o material digerido passa por um processo de separação (BRASIL, 2016, p. 51).

O líquido extraído do biodigestor é passível de aplicação na região foliar, nos caules das plantas, sendo que a fração sólida pode ser distribuída através de veículos, sendo outra alternativa a decantação ou filtração do biofertilizante líquido, que resulta em massa sólida que, seca, pode ser disposta em covas ou solo, com a ressalva de que a separação das frações sólida e líquida também pode se dar por meio de equipamentos (BRASIL, 2016, p. 51-52).

No que concerne ao biofertilizante líquido, ele se difere do sólido por ter absorção mais rápida, porém há que se ter mais cautela, pois o efluente líquido da biodigestão anaeróbia que será utilizado como insumo agrônômico nunca poderá ser lançado

³ “Ainda segundo Oliver et al. (2008) pode-se destacar diversas características benéficas do biofertilizante que o torna uma excelente estratégia para uso agrícola, como:

- pH alcalino (7,5), o que favorece na correção da acidez do solo;
 - Nutrientes disponíveis para absorção das plantas;
- Melhora a estrutura do solo, facilitando o manejo do mesmo e o enraizamento das plantas;
- Auxilia na redução da erosão por proporcionar maior agregação das partículas do solo;
 - Resulta em estrutura mais porosa do solo;
 - Favorece a multiplicação de bactérias;
 - Aumenta a produtividade das lavouras;
 - Diminui o poder germinativo de sementes de plantas daninhas com a fermentação do material no biodigestor, não havendo perigo de disseminação nas lavouras;
 - Reduz a presença de coliformes fecais dos dejetos e elimina a presença e viabilidade dos ovos dos principais vermes que parasitam o rebanho.” (BRASIL, 2016, p. 50-51)

diretamente em cursos d'água, posto a despeito do biodigestor retirar carga orgânica, o que diminuiu seu potencial poluidor, este constitui apenas uma parcela do tratamento (BRASIL, 2016, p. 52).

O biofertilizante consiste em subproduto que advém da digestão anaeróbia de dejetos no biodigestor, é bom para fins agrícolas, pois diminui a necessidade de fertilizantes nitrogenados, que geram N_2O , e possui diversos fins: culturas, pastagens de gramíneas e no florestamento, pode ser comercializado (BRASIL, 2016, p. 52).

De qualquer modo, há que se ter cautela com as quantidades aplicadas, análise do solo, visto que há limites a serem atendidos, e há que se ter atenção especial ao local da aplicação, que se disposto sempre na mesma área em longos períodos de tempo, podem impactar negativamente e ocasionar poluição ambiental, motivo pelo qual é imprescindível o monitoramento com análises do solo e dos biofertilizantes⁴ (BRASIL, 2016, p. 53).

2.2.1.5. Biodigestão de dejetos suínos

A suinocultura impacta com a emissão de gases de efeito estufa, como o metano, sendo responsável por 9% das emissões são atribuídas aos plantéis de suínos, sendo que desses 9%, em média 16% se referem à manejo inadequado de dejetos (BRASIL, 2016, p. 43).

A biodigestão consiste em método de aproveitamento dos dejetos que resolve esse tipo de impacto ambiental, vez que se trata de processo fermentativo anaeróbio e controlado, O processo gera os seguintes gases: dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o gás sulfídrico (H_2S); o CH_4 e o N_2O são queimados e transformados em CO_2 e N_2 , o que ajuda a mitigar o aquecimento global, e pode implicar na diminuição de 0,54 toneladas de CO_2 por animal por ano. (BRASIL, 2016, p. 43-44).

⁴ “Segundo Seganfredo (2007) é altamente recomendável que os dejetos de suínos passem por algum processo de fermentação anaeróbio ou aeróbio. Isso se faz necessário para a mineralização dos nutrientes e a diminuição do potencial de inóculo dos organismos de risco ambiental e sanitário”. (BRASIL, 2016, p. 54).

A potencial redução das emissões é apenas um de seus vários benefícios, visto que apesar de serem necessários investimentos, um plantel de aproximadamente 4.200 suínos, gera no mínimo de dez horas ao dia de geração de energia (BRASIL, 2016, p. 45).

Essa avaliação pode em curto espaço de tempo ser apreciada, ou seja, melhorada financeiramente devido ao aumento de tarifas elétricas e da possibilidade de venda de energia diretamente à companhia de distribuição, com a vantagem de poder escolher o horário da venda em que o preço seja mais atrativo.

As opções de uso direto de biogás podem representar a única alternativa em determinadas condições e/ou circunstâncias da granja. Entre essas opções destacamos o aquecimento dos animais, uso doméstico na cozinha (granja e residências), tirar no aquecimento da água do banho (granja e residências), uso industrial no aquecimento da água de lavagem das instalações, uso doméstico e industrial no aquecimento da água da lavanderia, uso em secadores de grãos ou caldeiras de fábrica de rações.

A geração de energia a partir do biogás pode ser motriz, via motores de combustão adaptados, podendo ser utilizados em veículos automotivos (força motriz para substituição do óleo diesel, gasolina e álcool), ou para a força motriz de acionamento de motor-gerador elétrico ou ainda, de maneira direta, a combustão em caldeiras para o aquecimento de massa de ar ou líquidos para o condicionamento térmico, fornecimento de calor de caldeiras e ambiente. (BRASIL, 2016, p. 45-47).

A composição do biogás se relaciona à matéria-prima fermentada e ao processo de fermentação, e tem como base: 55% a 75% de metano e gás carbônico, e de outros gases, como nitrogênio, hidrogênio, gás sulfídrico e oxigênio, sendo que o cálculo da produção de biodigestores manejados adequadamente, resulta em média 0,35 e 0,60 m³ de biogás por m³ de biomassa. (BRASIL, 2016, p. 48).

2.2.1.6. Outras formas de destinação

Outras formas de destinação residem no seu uso para a alimentação animal, como bovinos de corte e peixes, o que é muito comum no exterior, assim como na utilização do método da biodigestão, que gera biogás e biofertilizante, que resultam em energia e biofertilizante que podem ser comercializados, e geram créditos de carbono para as empresas (ITO et al., 2016, p. 136).

No Brasil todos os processos são utilizados, mas em maior escala destaca-se o uso de esterqueiras e lagoas de decantação. Entre os produtores integrados a grandes empresas, o uso de biodigestores se sobressai devido aos incentivos à produção de biogás, o que permite ao produtor uma renda com a venda do biogás ou da energia elétrica produzida por ele, e à empresa integradora o benefício dos créditos de carbono. Outros métodos ainda são utilizados em pequena escala, como a compostagem e cama sobreposta, porém vêm aumentando gradativamente como opção alternativa de uso. (CARDOSO et al., 2015, p. 142).

Nesta senda, no tocante ao carbono gerado pela atividade de suinocultura, é importante destacar que o Programa Agricultura de Baixo Carbono criado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento foi desenvolvido para gerar uma agricultura sustentável, e tem como objeto diminuir o aquecimento global e a liberação de gás carbônico na atmosfera, sendo uma de suas metas o tratamento de resíduos animais com o fulcro de produção de energia (gás) e composto orgânico (ANDREAZZI et al., 2015, p. 745).

2.2.2. O valor econômico dos dejetos de suínos como insumo agrícola

É possível realizar um cálculo para se atingir um valor econômico por metro cúbico de dejetos, consoante preceitua Evandro Carlos BARROS et al., a título de exemplificação, se usar como referência uma granja com 1.000 suínos em sistema de terminação, com a utilização novamente da Tabela 4, que segue abaixo reproduzida, é possível calcular a oferta de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) que é excretada por animal por período de um ano (BARROS et al., 2019, p. 16).

Tabela 4 – Oferta de nitrogênio, fósforo e potássio calculado a partir da excreção dos animais

Sistema de produção	Unidade animal	Excreção anual por animal alojado		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
kg.ano-1				
Unidade de terminação ¹	Suíno alojado	8,00	4,3	4,0
UPL 25kg ²	Fêmea alojada	25,70	18,00	19,40
Creche ³	Leitão alojado	0,40	0,25	0,35
UPL 6kg ⁴	Fêmea alojada	14,50	11,00	9,60
Ciclo completo ⁵	Fêmea alojada	85,70	49,60	46,90

Fonte: FATMA (2014)

¹Considerando 3,26 lotes por ano (lotes de 105 dias e 7 dias de intervalo entre lotes). Fonte: Tavares (2012)

²Considerando 2,35 partos por fêmea alojada por ano e produção de 28 leitões por fêmea alojada por ano. Fonte: CORPEN (2003); Dourmade et al., (2007)

³Fonte: CORPEN (2003); Dourmade et al., (2007)

⁴Calculado descartando a produção de nutrientes da fase creche em relação a UPL 25 kg. Fonte: CORPEN (2003); Dourmade et al., (2007)

⁵Considerando 2,35 partos por fêmea alojada por ano e produção de 28 leitões por fêmea alojada por ano e 12 suínos terminados por fêmea alojada por ano. Calculado a partir dos dados de UPL 25 kg e terminação. Fonte: CORPEN (2003); Dourmade et al., (2007). Em função de não haver dados atualizados disponíveis referentes à excreção de N, P₂O₅ e K₂O por unidade animal alojada nos rebanhos para UPL e creche no Estado de Santa Catarina, utilizou-se como referência CORPEN (2003) e Dourmade et al., (2007) devido à similaridade do sistema de produção e número de animais entre os rebanhos da França e Santa Catarina.

Fonte: BARROS et al., 2019, p. 13.

Em sendo assim, anualmente, seriam dispostos nas estrumeiras ou lagoas de armazenagem aproximadamente 8.000 kg de N, 4.300 de P₂O₅ e 4.000 kg de K₂O, ou seja, 16.300 kg desses nutrientes, dados através dos quais se pode chegar a uma estimativa de valor tendo como referência fertilizantes minerais ofertados no mercado. Destaque-se que existem perdas de nutrientes que devem ser acrescentadas ao cálculo, como de perda de nitrogênio por volatilização na armazenagem e distribuição nas lavouras (BARROS et al., 2019, p. 16).

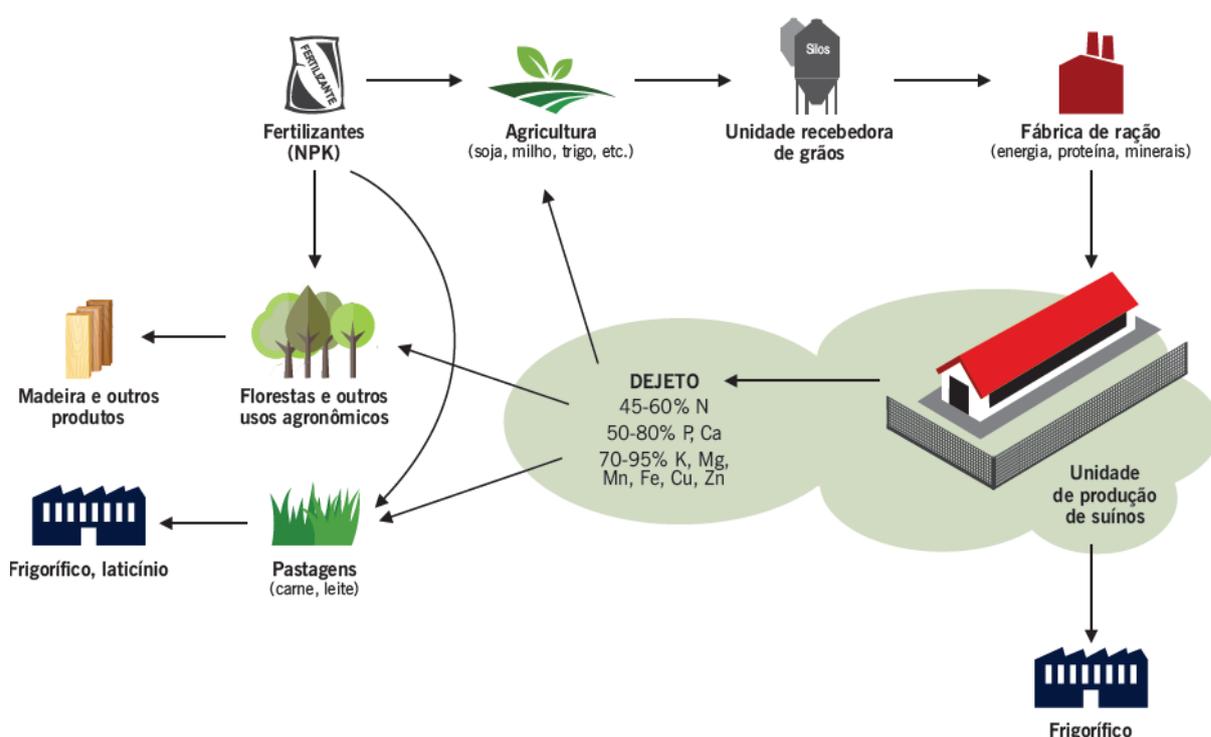
2.3. MEDIDAS DE MANEJO ADEQUADO DOS DEJETOS NAS GRANJAS PARA EVITAR IMPACTOS AMBIENTAIS

O importante é que todos os nutrientes que não são utilizados pelos animais e excretados, são essenciais para as plantas, razão pela qual para uma gestão ambiental eficiente nas granjas, há que se ter clara a imprescindibilidade do balanço

de nutrientes, isto é, a quantidade de nutrientes que adentra o estabelecimento através de rações, medicamentos, dentre outras fontes, não pode ser maior que a saída, a fim de que não haja um acúmulo, e sejam ocasionados desequilíbrios ambientais (BARROS et al., 2019, p. 10).

O fluxograma constante da Figura 1 que segue abaixo reproduzida demonstra esse conceito de balanço de nutrientes, por meio do qual se pode inferir que os principais ingredientes das rações de suínos que são a soja e o milho, são cultivados com fertilizantes formulados com nitrogênio, fósforo e potássio, e no processamento da ração na indústria, ainda são enriquecidas com micro e macronutrientes, que em sua maior parte são eliminados nas fezes e na urina, sendo que os suínos vão para os frigoríficos e grande parte dos nutrientes fica na granja nos dejetos (BARROS et al., 2019, p. 12).

Figura 1 – Fluxograma mostrando o conceito de balanço de nutrientes



Fonte: BARROS et al., 2019, p. 11.

É importante ressaltar que se faz possível a destinação dos dejetos para agricultura ou reflorestamento dentro da propriedade que possui sistemas de criação de suínos, de modo que com a utilização dos dejetos como fertilizante, por exemplo, os grãos, madeira que são exportados, exporta-se também parcela dos nutrientes. E é essencial

que haja o equilíbrio da importância e exportação, a fim de que haja sustentabilidade na propriedade rural, sob a ótica dos nutrientes (BARROS et al., 2019, p. 12).

Contudo, quando houver desequilíbrio nas importações e exportações, com o objetivo de que não haja danos ambientais e a propriedade se torne poluidora, será necessária a utilização de um sistema de tratamento de efluentes. Dentre os sistemas de tratamento que possuímos, as compostagens removem nutrientes, vez que os dejetos líquidos viram fertilizantes orgânicos sólidos, que são passíveis de exportação da propriedade (BARROS et al., 2019, p. 12).

Existem também sistemas que extraem nutrientes e matéria orgânica dos dejetos que podem ser utilizados para neutralização do potencial poluidor dos dejetos, como o sistema desenvolvido pela Embrapa Suínos e Aves, chamado Sistrates, que retira os poluentes dos dejetos, a fim de que seja possível o reuso da água residuária na granja ou lançamento em corpos receptores dentro dos padrões de lançamento da Resolução CONAMA nº430/2011 (BARROS et al., 2019, p. 12).

Diante de tais fatos, mister destacar que há estudos sobre a quantidade de animais que seriam passíveis de alojamento em granjas, com segurança, frente à quantidade de excreção de nutrientes por animal nos diferentes sistemas de criação, conforme se verifica na Tabela 4 - Oferta de nitrogênio, fósforo e potássio calculado a partir da excreção dos animais, que consta no item 2.2.2. (BARROS et al., 2019, p. 12).

2.3.1. Manejo de dejetos líquidos

Os sistemas de dejetos líquidos ou lodo utilizam os métodos de lavagem úmida das granjas, armazenamento subterrâneo ou em lagoa seguido de aplicação por pulverização/irrigação, injeção ou aplicação por gradeamento e canal no terreno, conforme consta do “Risk management evaluation for concentrated animal feeding operations” da U.S. Environmental Protection Agency. Os sistemas de dejetos líquidos manuseiam materiais com conteúdo sólidos em concentrações menores de 10% (BARTH et al., 2004, p. 22).

Os sistemas de fluxo por gravidade são bons para a movimentação de resíduos de áreas de produção para as instalações de armazenamento de dejetos, como lagoas.

As operações que necessitam de bombeamento para mover os resíduos possuem concentração de sólidos inferior a 4% (BARTH et al., 2004, p. 22).

Os resíduos líquidos são passíveis de tratamento em digestores. Os digestores podem ser sistemas bem projetados e controlados para aumentar a eficiência ou armazenamento em lagoa aprimorado para permitir um tratamento de menor intensidade, com tempo de tratamento mais longo. Esses sistemas são mais propícios à recuperação do valor do combustível com a produção de metano (BARTH et al., 2004, p. 22).

Operações de suínos e laticínios geralmente usam manejo de dejetos líquidos, e, portanto, os riscos de impactos ambientais consistem na percolação de nitrogênio para as águas subterrâneas e transporte de estressores pelo ar, especialmente se as águas residuais forem pulverizadas, quando o risco de escoamento para águas superficiais também é maior (BARTH et al., 2004, p. 22).

A partir de meados de 1970, a modernização do sistema de produção da suinocultura, sob a forma do regime de criação intensivo e confinado, ao mesmo tempo que permitiu ganhos de escala e produtividade, resultou em um aumento considerável na produção de dejetos suínos.

Os sistemas confinados, base da expansão suinícola, contribuíram para a adoção do manejo de dejetos na forma líquida, o que se tornou um agravante para os problemas de captação, armazenagem, tratamento, transporte e distribuição de dejetos. Consequentemente, a capacidade poluidora da suinocultura foi intensificada, sendo necessário o manejo adequado dos seus resíduos. (ITO et al., 2016, p. 132)

2.3.2. Manejo de dejetos sólidos

Os sistemas de dejetos sólidos incluem raspagem mecânica de resíduos para limpar granjas, armazenamento em pilhas e aplicação no solo usando um espalhador de dejetos, seja montado em caminhão ou distribuidor de tração puxada por trator (BARTH et al., 2004, p. 22).

Os sistemas secos incluem os dejetos mais qualquer material de cama usado, tais como palha de trigo, palha de milho, espigas de milho, serragem ou qualquer material absorvente. O material da cama absorve água e muda o Razão C: N do estrume. O

material resultante pode então ser adequado para compostagem com pouca necessidade de ajuste do teor de carbono (BARTH et al., 2004, p. 22).

Os sistemas secos correm mais risco com a aplicação de fósforo na terra, vez que a quantidade de dejetos pode muito bem exceder a capacidade de absorção das terras disponíveis, principalmente quando as aplicações são baseadas nas necessidades de fósforo das safras, em vez de nitrogênio. A transferência de dejetos para fora do local pode ser uma forma valiosa de expandir a área de disposição disponível. No entanto, a manutenção de registros e o manejo de nutrientes adequados são essenciais para evitar o excesso de aplicação nos campos (BARTH et al., 2004, p. 22).

Normalmente, as operações menores usam espalhadores de dejetos familiares para distribuir os dejetos nos campos agrícolas. Os dejetos são carregados do celeiro usando uma pá montada em um trator em uma caixa espalhadora movida a energia ou espalhador de mangual. O espalhador é conduzido para o campo e a carga distribuída no terreno. Os espalhadores sólidos lidam com dejetos que é cerca de 20 a 25% de material seco, às vezes menos (BARTH et al., 2004, p. 22).

O material empilhado normalmente é feito com pouca ou nenhuma infiltração de líquido. Este tipo de dejetos é mais facilmente tratado por compostagem, caso seja necessário tratamento antes da distribuição. A incorporação dos dejetos deve ser feita o mais rápido possível após a aplicação para garantir a retenção de N. A incorporação não pode ser feita se o dejetos for aplicado em culturas em pé. O principal benefício deste sistema é o custo relativamente baixo do equipamento. A uniformidade da distribuição não é facilmente obtida. O tempo de aplicação geralmente não é feito com o gerenciamento de nutrientes em mente. Os tempos comuns são: outono após a colheita de milho e soja, inverno, primavera após o plantio e verão após a colheita do trigo. O maior risco viria da aplicação de inverno em solo congelado. A incorporação não seria viável e, após o degelo da primavera e as chuvas, o escoamento poderia produzir perdas significativas de material para a água receptora (BARTH et al., 2004, p. 22-23).

2.3.3. Métodos de aplicação dos dejetos

Os produtores ou usuários dos dejetos sólidos de suínos deverão tomar algumas cautelas, a fim de seja possível ter um bom rendimento e aproveitamento dos valores agrônômico e econômico do material, bem como para evitar impactos ambientais, na sua aplicação no solo (BARROS et al., 2019, p. 17).

A agitação do dejetos na estrumeira é importante durante o lapso temporal de seu armazenamento, o que é regulamentado na Instrução Normativa nº 11 da Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), atual Instituto de Meio Ambiente (IMA), que possibilita que seja maior de 120 dias, variável de acordo com a cultura a ser implantada (BARROS et al., 2019, p. 17).

A fim de que a parte sólida não decante no fundo da estrumeira com os nutrientes, os equipamentos de sucção ou bombas de fertirrigação acabam levando apenas a parte superficial líquida, ou pior, o que gera uma irregular distribuição de nutrientes, e faz com que parte da lavoura receba poucos destes, e outras em excesso, o que pode ocasionar impactos ambientais, razão pela qual se demonstra imprescindível a agitação da estrumeira (BARROS et al., 2019, p. 17).

A disposição dos dejetos no solo pode se dar por: a) injeção no solo; b) fertirrigação; e, c) aplicações aéreas com distribuidores para a finalidade específica, sendo este último o procedimento mais comum, em que os dejetos são succionados da estrumeira e lançados no solo através de um equipamento denominado de distribuidor de esterco (BARROS et al., 2019, p. 18).

O problema deste método de aplicação aérea reside na sua distribuição que se dá na camada superficial do solo, que está sujeita a intempéries, como chuvas que podem acarretar no escoamento superficial dos resíduos, solo e fertilizantes depositados no solo, para áreas mais baixas dos terrenos, onde normalmente existem corpos d'água, o que pode ocasionar danos ao meio ambiente aquático (BARROS et al., 2019, p. 18).

Scherer (2002, p. 95) destaca que o nitrogênio se trata de nutriente muito móvel no solo e que pode ser objeto de transformações por outros microrganismos, motivo pelo qual se deve ter cuidado com o seu uso errôneo, pelo fato de ser possível se acumular

nas águas de drenagem e ocasionar poluição ambiental, o que também pode se dar com os adubos minerais, quando manipulados de forma imprópria.

Em torno de 2/3 do nitrogênio dos dejetos líquidos (esterco + urina) está na forma amoniacal, isto é, numa forma prontamente assimilável pelas plantas. Cabe lembrar, entretanto, que a fração N-amoniacal também é facilmente perdida por volatilização de amônia, quando não forem tomados os devidos cuidados por ocasião da aspersão do adubo na lavoura. Altas temperaturas, vento e pH elevado do dejetos e do solo favorecem a volatilização de amônia e a perda desse nutriente.

No solo a forma amoniacal passa rapidamente para nitrato, ambas as formas são absorvidas pelas plantas, porém na forma de nitrato o nitrogênio é mais facilmente lixiviado pelas águas da chuva. Em consequência disso, parte do nitrogênio aplicado na adubação em anos bastante chuvosos é perdido para as camadas mais profundas do solo ou mesmo para as águas superficiais e subterrâneas. (SCHERER, 2002, p. 95).

Ademais, há que se ressaltar que alguns nutrientes, como o P, que são poucos móveis no solo, caso carregado para a água junto com o N, ocasiona eutrofização do corpo d'água, ou seja um grande impacto negativo ao meio ambiente, de modo que há que se ter atenção especial com esses dois nutrientes (BARROS et al., 2019, p. 18).

A injeção no solo é a que possui mais eficiência agrônômica, em virtude da melhor utilização dos nutrientes, uma vez que o dejetos é injetado no solo a uma profundidade de até 10cm, o que impede o escoamento superficial e evita a volatilização do N (BARROS et al., 2019, p. 19).

No que concerne à fertirrigação com as águas residuárias da suinocultura, faz-se importante destacar que vem sendo amplamente discutida no cenário científico internacional, pois a despeito da fertirrigação consistir em fontes de nutrientes para plantas e matéria orgânica, e possuir maior precisão e uniformidade na distribuição de pequenas doses de ingredientes em grandes áreas, com a economia de água, que é um recurso escasso, a fertirrigação pode ocasionar poluição ambiental secundária, com a contaminação por produtos químicos e patógenos (CHOJNACKA et. al., 2020, p. 1).

Em artigo científico denominado "Uma transição da irrigação convencional para a fertirrigação com águas residuais recuperadas: Perspectivas e desafios", que trata do tema, aponta que na maioria dos países europeus, ou não existem regulamentos

sobre a utilização de águas residuárias na fertirrigação, ou onde há, são muito rígidos, razão pela qual prescrevem que seria importante padronizar as restrições, para diminuir o uso descontrolado de águas residuárias para fertirrigação (CHOJNACKA et. al., 2020, p. 1).

Neste diapasão, o supracitado artigo menciona que o monitoramento das consequências ambientais da fertirrigação com águas residuárias é imprescindível, especialmente do aumento potencial de compostos biogênicos, elementos tóxicos e micropoluentes no solo e ambiente subterrâneo, inclusive águas subterrâneas, bem como das alterações das características do solo em termos biológicos, químicos e propriedades físicas, inclusive a bioacumulação de poluentes pelas culturas e o potencial fitotoxicidade em plantas. (CHOJNACKA et. al., 2020, p. 11).

Becerra-Castro et al. (2015, p. 617) mencionam que o reaproveitamento de águas residuárias tratadas, em especial para irrigação, é cada vez mais utilizado e incentivado em todo o mundo, contudo, a prática pode ter implicações em dois níveis: alterar as propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo e / ou introduzir e contribuir para o acúmulo de contaminantes químicos e biológicos no solo. O primeiro pode afetar a produtividade e a fertilidade do solo; a segunda pode representar sérios riscos à saúde humana e ambiental. (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p. 117)

Em sendo assim, os autores afirmam que a reutilização sustentável de águas residuais na agricultura deve prevenir ambos os tipos de efeitos, exigindo uma avaliação de risco holística e integrada, com análise dos possíveis efeitos da irrigação com águas residuais tratadas, e com ênfase especial na microbiota do solo. A manutenção de uma rica e diversificada microbiota autóctone do solo e o uso de águas residuais tratadas com níveis mínimos de potenciais contaminantes do solo são propostas como condições *sine qua non* para alcançar um sustentável sistema de reutilização de águas residuais para irrigação (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p. 117).

Ademais, cumpre destacar que a fertirrigação também provoca questionamentos quanto à segurança de fontes alternativas de água e sua utilização em culturas agrícolas para a produção de alimentos e o impacto na saúde pública, visto surtos de *Escherichia coli* (*E. coli*), por exemplo, que nos Estados Unidos ensejaram a publicação de novos regulamentos federais pela “Food and Drug Administration”

(FDA), como parte da implementação da Lei de Modernização da Segurança Alimentar do FDA (FSMA), onde se exige o teste da qualidade da água agrícola para *E. coli* genérico. (ROCK et al., 2019, p. 616)

Nesta toada, vale destacar que no Estado de São Paulo existem normas para aplicação de efluentes e lodos em solo agrícola desde 2010, para indústrias cítricas, como a Norma Técnica P4-002, de Maio/2010, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2010, b), por meio da qual há a necessidade de caracterização dos efluentes e lodos fluidos, inclusive devem ser atendidas condicionantes para a sua disposição no solo, inclusive com a previsão de necessidade de tratamento prévio com o objetivo de reduzir agentes patogênicos, caso efluentes sanitários sejam misturados aos efluentes industriais brutos, vide item 5.3.1. a) da referida norma técnica.

E no mesmo sentido, a Decisão de Diretoria nº 388/2010/P, de 21 de dezembro de 2010, da CETESB, que cuida da “Aprovação de premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo”, estabelece que para a prática da aplicação de efluentes líquidos e resíduos sólidos em solo agrícola deverão ser obedecidas as normas utilizadas pelo órgão, e em não havendo, deverá ser precedida de avaliação em função da tipologia ou do resíduo/efluente, para subsidiar a futura elaboração de norma específica, consoante prescrito nos itens 1.1 e 1.2. da referida norma, e que será melhor detalhado em Capítulo específico (CETESB, 2010, a).

3. OS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS DEJETOS NA SUA UTILIZAÇÃO COMO FERTILIZANTE

A despeito dos dejetos suínos possuírem nutrientes, serem fertilizantes para as plantas e fornecerem matéria orgânica para o solo, podem ocasionar degradação dos recursos naturais se não houver um adequado manejo e uma gestão ambiental eficiente nas granjas, pois se aplicado de forma consecutiva e em doses elevadas por vários anos, podem acarretar diversos impactos ambientais, tais como a contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas, do ar com seus gases nocivos, e inclusive propagar doenças infecciosas, consoante se demonstrará nos próximos tópicos (BARROS et al., 2019, p. 22).

Neste sentido, prescreve Wietholter (2004, p. 111) a respeito da utilização continuada de adubos orgânicos e seus impactos:

A utilização continuada de adubos orgânicos pode melhorar as propriedades físicas do solo (porosidade, capacidade de retenção de água) e aumentar alguns atributos químicos (CTC, teor de P e de matéria orgânica, etc). Porém o uso excessivo de adubos orgânicos proporcionará os mesmos problemas que os decorrentes do uso excessivo de fertilizantes minerais, principalmente aqueles devidos à lixiviação de nitrato e o transporte de P para cursos d'água. Além disso, muitos adubos orgânicos, especialmente os derivados de animais alimentados com ração, apresentam teor elevado de alguns micronutrientes (Fe, Zn, Cu), que são acrescentados à ração na forma de sais. Por outro lado, os adubos derivados de lodo de esgoto ou de resíduos industriais podem apresentar metais pesados indesejáveis na cadeia alimentar (Tabela 9.2). Ainda é importante lembrar que os resíduos orgânicos incompletamente compostados podem ser fonte de organismos patogênicos (fungos, bactérias, vírus, helmintos). (WIETHOLTER et al., 2004, p. 111).

3.1. NO SOLO

Os dejetos aplicados como insumos agrícolas podem se tornar fonte de poluição ambiental de Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mg), inclusive de medicamentos - antibióticos, produtos sanitários - acaricidas, germicidas, entre outros.

Nesta toada, Seganfredo (1999, p.129) preleciona seu artigo intitulado “Os dejetos suínos são um fertilizante ou um poluente do solo?”, a respeito do uso dos dejetos

como fertilizante, que apesar de ser a forma de destinação de mais fácil operacionalização nas granjas e que gera produtividade das culturas, se houver desequilíbrio entre a composição dos dejetos e a demanda de nutrientes das plantas, pode se dar acúmulo de nutrientes no solo, que em excesso ocasionarão poluição ao meio ambiente.

O supracitado autor menciona que se os laudos de análises de solo acusam excesso de nutrientes, faz-se essencial avaliar os impactos negativos para as plantas, solo, ar e águas dos riachos, rios, e camadas mais profundas do solo, com o objetivo de se evitar problemas de danos ambientais nas regiões suinícolas brasileiras, em virtude da aplicação de dejetos no solo em altas quantidades e por longos períodos como outros países⁵ possuíram (SEGANFREDO, 1999, p. 133-134).

Neste diapasão, quanto ao método de fertirrigação, Chojnacka et al. (2020, p. 11) mencionam que o monitoramento das consequências ambientais de fertirrigação com águas residuárias é imprescindível, especialmente do aumento potencial de compostos biogênicos, elementos tóxicos e micropoluentes no solo e ambiente subterrâneo, bem como das alterações das características do solo em termos biológicos, químicos e propriedades físicas, inclusive a bioacumulação de poluentes pelas culturas e o potencial fitotoxicidade em plantas. (CHOJNACKA et. al., 2020, p. 11).

E na mesma toada, consoante disposto no Capítulo 1, Becerra-Castro et al. (2015, p. 117) mencionam que o reaproveitamento de águas residuárias tratadas, em especial para irrigação, é cada vez mais utilizado e incentivado em todo o mundo, contudo, a prática pode ter implicações em dois níveis: alterar as propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo e / ou introduzir e contribuir para o acúmulo de contaminantes

⁵ Na Alemanha, principalmente na região da Baixa Saxônia, a poluição ambiental motivou a implantação de medidas restritivas muito rígidas quanto à aplicação de dejetos animais, na tentativa de preservação e recuperação do solo e das águas de superfície e subsuperfície (Hahne et al., 1996; Federal Environmental Agency, 1998). Nesse país, relata-se, em publicação do Ministério do Ambiente (Federal Environmental Agency, 1998), que para uma estratégia global de agricultura sustentável, a produção intensiva de animais terá que ser diminuída e, se necessário, eliminada. Na Bélgica, a região de Flandres está em situação igualmente crítica. É importantíssimo destacar que naquela região, reconhecidamente de alta densidade suinícola, as quantidades de dejetos produzidos são de apenas 50 t/ha/ano (Vlassak, 1994). Na Holanda, por sua vez, os níveis de danos ambientais chegaram a tal ponto, que diretrizes extremamente severas foram estabelecidas, incluindo a diminuição do plantel de suínos (Ketelaars & Meer, 1998). (SEGANFREDO, 1999, p. 134).

químicos e biológicos no solo. O primeiro pode afetar a produtividade e a fertilidade do solo; a segunda pode representar sérios riscos à saúde humana e ambiental.

Alterações, como o aumento de poças de matéria orgânica, salinidade e acúmulo de contaminantes no solo são os efeitos mais comumente relatados, com vários exemplos sendo encontrados na literatura. Também as respostas da microbiota do solo à irrigação de águas residuais são variadas e incluem o aumento de biomassa e atividade e diferentes tipos de alterações na microbiota. No entanto, o resultado mais evidente da literatura pesquisa é que os efeitos na microbiota do solo são negligenciados na maioria dos estudos sobre irrigação com águas residuais. Esta é uma grande lacuna no conhecimento, dada a importância da microbiota do solo na saúde do solo e fertilidade. Uma revisão crítica do conhecimento atual sobre solo e microbiologia de águas residuais dá indicações inequívocas de que as águas residuais da irrigação, apesar dos benefícios inquestionáveis, podem ter efeitos adversos impactos nas propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo. Estes irão influenciar a fertilidade e produtividade do solo, aumentando preocupações sobre a sustentabilidade da reutilização contínua de águas residuais tratadas na agricultura. Estudos sobre os efeitos da irrigação de águas residuais no solo são desafiadores, uma vez que relações diretas de causa e efeito dificilmente podem ser encontradas. Sugere-se que análises multi-paramétricas e holísticas com mais estudos podem trazer percepções adicionais e confiáveis sobre este problema.

Para uma reutilização de águas residuais sustentável e segura, parâmetros que afetam a saúde e a segurança do solo devem ser incluídas nos padrões de qualidade, evitando a perturbação das propriedades do solo e a disseminação de contaminantes químicos e biológicos emergentes. Simultaneamente, acessíveis soluções tecnológicas com mínimo impacto ambiental devem ser desenvolvidas, a fim de garantir que os processos de tratamento e utilização de águas residuais sejam compatíveis com usos sustentáveis. (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p. 131)

Ademais, Seganfredo (1999, p. 134-135) ressalta que a prática de aplicar dejetos no solo como insumo agrícola, pode implicar em prejuízos econômicos aos agricultores, tais como menor possibilidades de diversificação de culturas, em função dos desequilíbrios provocados no solo, a diminuição da produtividade de cereais, devido ao excesso de nitrogênio, intoxicação de animais em razão de acúmulo de nutrientes na forragem, assim como perda do valor econômico dos produtos, como hortaliças, em virtude do excesso de metais pesados e assimetrias ocasionadas pelo acúmulo de nitrogênio no solo .

A despeito da delonga para perceberem as consequências nocivas da utilização dos dejetos como insumo agrônômico, alguns fatores são passíveis de destaque, tais como: 1. Atualidade dos sistemas de produção de suinocultura de larga escala; 2. Tempo para constatação dos impactos desde o começo da aplicação dos dejetos no

solo; 3. Conceitos antigos de adubações orgânicas que tinham como referência animais alimentados com pastagens ou silagens; 4. Evolução da tecnologia nas análises laboratoriais mais precisas; 5. Critérios usados em planos de adubação de solo que visavam a máxima produtividade e lucratividade (SEGANDREDO, 1999, p. 134-135).

Nesta senda, este autor assinala que são imprescindíveis estudos e pesquisas de longo prazo para uma conclusão precisa a respeito dos limites, quantidades, quais seriam as dosagens necessárias para haver um equilíbrio entre a composição dos dejetos que será aplicada e o que efetivamente necessário para as plantas de nutrientes, consoante se verifica no excerto abaixo reproduzido extraído de seu artigo (SEGANDREDO, 1999, p. 137).

Qual é o limite? Quanto aplicar, e por quanto tempo?

Considerando-se que os dejetos suínos contém elementos químicos que, se por um lado podem promover o desenvolvimento das plantas (Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC, 1995), também podem, pelo outro, causar danos ambientais (Brandjes et. Al., 1996), a pergunta natural que se faz é a seguinte: qual a quantidade de dejetos que se pode adicionar ao solo, e por quanto tempo, sem que haja consequências negativas ao solo (desequilíbrios), plantas (fitotoxicidade), atmosfera (poluição) e às águas de superfície e subsuperfície (contaminação)?

São necessárias pesquisas de longo prazo, desenvolvidas dentro dos critérios de sustentabilidade do sistema, para responder adequadamente à questão acima formulada. Inicialmente, é imprescindível considerar, no entanto, que o sistema solo/planta é incapaz de reciclar os dejetos de suínos, enquanto persistir o desequilíbrio entre a sua composição química e as quantidades de nutrientes requeridas pelas plantas. Além disso, tem-se a oportunidade de aprender com a experiência acumulada em outros países, pois é bastante amplo o número de registros de problemas havidos, pelos mesmos motivos, especialmente na Holanda, Alemanha, Bélgica e Dinamarca. Independentemente do tipo de solo e região (Fageria, 1989), o ponto de partida para tornar autossustentáveis os sistemas agrícolas adubados com dejetos de suínos é a diminuição de sua carga poluente, destacando-se a quantidade de matéria orgânica e de nutrientes. Várias são as alternativas para atingir tal objetivo, especialmente, a utilização de dietas melhor balanceadas, melhor manejo do rebanho, medidas gerais de higiene e linhagens de suínos com melhor aproveitamento dos nutrientes fornecidos. Esses aspectos não são, entretanto, o escopo deste artigo.

CONCLUSÕES

Enquanto persistir o desequilíbrio entre a composição química dos dejetos de suínos e as quantidades de nutrientes requeridas pelas plantas, recomenda-se um alerta quanto à sustentabilidade dos sistemas agrícolas adubados com tais detritos, porque eles podem resultar em acúmulo de nutrientes no solo, que, em excesso, poderão causar danos ambientais.

A continuidade da prática dos sistemas agrícolas adubados com dejetos de suínos dependerá da capacidade de suporte de nutrientes do solo e, do grau de degradação ambiental admissível em cada região específica. (SEGANFREDO, 1999, p. 137).

Em sendo assim, importante apresentar alguns artigos científicos que cuidam do estudo de possíveis impactos ambientais que podem ocasionar ao solo a utilização dos dejetos da suinocultura como insumo agrícola, pelo excesso de suplementos nas rações, tanto de metais, como Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Potássio (K), como de elementos orgânicos, Fósforo (P) e Nitrogênio (N).

3.1.1. Estudos sobre os impactos nas plantas e no solo do uso de dejetos como fertilizantes

Barros et al. (2019, p. 25) descrevem três estudos que foram realizados por longo prazo, em torno de 10 (dez) anos, que tratam do uso dos dejetos como insumo agrônomo em solos catarinenses, que foram realizados por pesquisadores das seguintes universidades: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc) e Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), e seguem abaixo descritos.

Um experimento foi conduzido por 10 anos por um grupo de pesquisa da UFSC e avaliou diferentes aspectos da adubação com dejetos de suínos. O experimento foi conduzido sob sistema plantio direto em um solo com 33% de argila no município de Braço do Norte, SC, com cultivo de milho no verão e cobertura de aveia preta no inverno. Os tratamentos testados foram ureia, dejetos líquidos de suíno e composto de dejetos de suínos com o objetivo de suprir a necessidade de N das culturas. Nos 10 anos de condução do experimento, de maneira geral, observou-se que a substituição da ureia por uso de dejetos de suínos ou composto de dejetos de suínos acarretou em produtividades equivalentes ou superiores quando foram utilizados os dejetos em relação ao uso da ureia. No período, observou-se que o uso de composto de dejetos de suínos aumentou o teor de carbono (C) do solo, melhorou a agregação e diminuiu a densidade do solo, havendo um ambiente mais favorável para o crescimento radicular (Comin et al., 2013). No entanto, esses benefícios não foram observados quando do uso de dejetos líquidos de suínos. O uso dos fertilizantes orgânicos, principalmente o composto, aumentou a atividade microbiana do solo (Morales et al., 2016). O uso de dejetos líquidos ou composto durante 10 anos aumentou a matéria orgânica do solo e a CTC do solo em até 30 cm de profundidade, e o composto também provocou elevação do pH e diminuição da saturação de alumínio (Al) até a

mesma profundidade. Por sua vez, o uso de dejetos líquidos não afetou o pH nem o alumínio do solo (Brunetto et al., 2012). Contudo, o uso dos fertilizantes orgânicos, baseado na necessidade de N das culturas, provocou grande acúmulo de outros nutrientes no solo (os quais têm demanda menor pelas culturas). Foram observados teores de P no solo de 5 a 13 vezes maiores que os valores adequados para as culturas (Guardini et al., 2012a), o que deixou esses solos com alto potencial de poluição do ambiente (Guardini et al., 2012b). Além disso, constatou-se acumulação de cobre (Cu) e zinco (Zn) no solo com o uso dos fertilizantes orgânicos (Tiecher et al., 2013), embora os altos teores desses nutrientes não tenham causado efeito tóxico para o milho (Benedet et al., 2016).

Um grupo de pesquisa da Udesc conduziu um experimento por 15 anos e avaliou diferentes aspectos da adubação com dejetos de suínos. O experimento foi conduzido sob sistema plantio direto em um solo com 68% de argila no município de Campos Novos, SC, com cultivo de milho no verão e cobertura de aveia preta no inverno. Os tratamentos testados foram a adubação mineral segundo recomendações técnicas, e a aplicação de dejetos e doses de dejetos líquidos de suínos até 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Nos 15 anos de condução do experimento, observou-se que a substituição da adubação mineral por dejetos líquidos de suínos acarretou em produtividades de milho equivalentes ou superiores ao uso de adubação mineral (Cassol et al., 2012), evidenciando a efetividade dos dejetos como fornecedores de nutrientes para as plantas. Semelhantemente ao relatado anteriormente para solo arenoso, a aplicação continuada de dejetos de suínos não provocou alterações de pH (Cassol et al., 2012), mas houve manutenção da qualidade física (Arruda et al., 2010) e da matéria orgânica do solo (Mafra et al., 2014), enquanto o uso da adubação mineral provocou maior reacidificação do solo (Cassol et al., 2011). Houve elevação dos teores de N, cálcio (Ca), magnésio (Mg), P, e K no solo (Cassol et al., 2012; Gorskopf et al., 2015), aumentando também a perda desses nutrientes por lixiviação, exceto o P (Gorskopf et al., 2016; Sacomori et al., 2016).

Também na região de Campos Novos, SC, um grupo de pesquisadores da Epagri, representado no trabalho de Pandolfo et al. (2008), avaliou um experimento conduzido por 10 anos em um solo muito argiloso, testando vários sistemas de preparo do solo e fontes de nutrientes. Os autores mostraram que o melhor desempenho técnico foi obtido quando o solo foi manejado sob plantio direto e não houve diferença entre o uso de adubação mineral, dejetos líquidos de bovinos e dejetos líquidos de suínos; porém o uso de cama aviária teve desempenho superior em aspectos relacionados aos atributos químicos do solo e desempenho das plantas.

Pelo exposto nos exemplos descritos anteriormente, os fertilizantes orgânicos podem substituir os fertilizantes industrializados sem prejuízos para a produtividade das culturas. Além disso, o uso dos fertilizantes orgânicos retarda a reacidificação do solo e melhora sua qualidade química e biológica, com aumento de matéria orgânica, dos teores de macro e micronutrientes e elevação da atividade microbiana. Também são observadas melhorias na qualidade física do solo, como aumento de porosidade, diminuição da densidade e melhoria da agregação, principalmente quando são usados fertilizantes orgânicos na forma sólida, como cama aviária ou composto de dejetos. Por sua vez, alguns nutrientes como P, Cu e Zn são acumulados no solo e podem aumentar seu risco ambiental. (BARROS et. al., 2019, p. 26-27).

Do exposto, infere-se que os problemas ambientais que podem ser gerados se referem ao acúmulo excessivo de metais, como cobre, zinco manganês, e

macronutrientes essenciais para as plantas, como nitrogênio, fosforo e potássio, razão pela qual se faz necessário maior aprofundamento a respeito dessas substâncias nos próximos tópicos.

3.1.2. Teores de Cobre (Cu) e Zinco (Zn)

Dos estudos realizados no Brasil, especificamente no Estado de Santa Catarina e de Minas Gerais, foram constatados o acúmulo excessivo no solo dos nutrientes Cobre (Cu) e Zinco (Zn), que são utilizados como suplemento mineral em rações e na formulação de antibióticos, sendo que os excessos são eliminados nas fezes, e, assim, verificam-se em grande concentração nos dejetos, e em consequência, no solo, quando da aplicação continuada como insumo agrícola.

Destaque-se que o acúmulo dos supramencionados elementos em elevadas concentrações no solo, pode ocasionar a movimentação no perfil, atingir camadas mais profundas, inclusive água subterrânea, ou ainda escoar e atingir as águas superficiais, de modo que é importante retratar a literatura existente e as conclusões dos experimentos realizados até o momento, consoante se verifica nos excertos abaixo reproduzidos.

Em artigo científico intitulado “Evolução dos teores de cobre e zinco em um solo com histórico de aplicação de dejetos líquido e sólido de suínos” de FREITAS NETO et al. (2011, p. 1), avaliou-se o incremento dos metais Zinco (Zn) e Cobre (Cu) nas camadas superficiais do solo onde foram dispostos dejetos de suínos como insumo agrônomico, sendo que os resultados que concluíram pela possibilidade de contaminação do solo, seguem abaixo transcritos:

Aplicações continuadas de dejetos de suínos na forma líquida ou sólida incrementam os teores de cobre (Cu) e zinco (Zn) ao longo dos anos nas camadas mais superficiais do solo. O trabalho objetivou avaliar a evolução dos teores de Cu e Zn ao longo dos anos em um solo Argissolo submetido à aplicação de dejetos de suínos na forma líquida e sólida.

(...)

Conclusões

As aplicações de cama sobreposta de suínos durante oitenta e oito meses aumentaram os teores de cobre e zinco na camada superficial do solo, sendo

parte distribuída para as camadas mais profundas, indicando a saturação parcial de grupos funcionais de partículas reativas do solo, o que é um indicador de contaminação ambiental. (FREITAS NETO et al., 2011, p. 1 e 3).

Em outro artigo científico denominado “Acúmulo e distribuição de cobre, zinco e manganês no perfil de um solo argissolo com histórico de aplicação de dejetos líquidos e sólidos de suínos” de MORAES et al. (2011), verifica-se que em um estudo de 180 meses também se constatou acúmulo dos metais Cobre e Zinco até a camada de 20cm do solo, o que potencializa a contaminação de águas subsuperficiais, consoante excertos que seguem abaixo reproduzidos:

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Mn até a profundidade de 30 cm não diferiram entre os tratamentos testemunha, DLS1⁶ e CS1 (Figura 1a). Por outro lado, os maiores teores de Cu (Figura 1b) e Zn (Figura 1c), até a camada de 15 cm, foram encontrados no solo adubado com CS1. Isso pode ser atribuído ao fato de que a cama sobreposta de suínos possui um maior teor de matéria seca e, provavelmente, de Cu e Zn, quando comparado, por exemplo, aos dejetos líquidos de suínos. No entanto, convém destacar que os maiores teores de Cu e Zn no solo com a adição de CS1 foram encontrados nas camadas superficiais do solo, como 0-2,5 e 2,5-5 cm, provavelmente pela deposição do resíduo na superfície do solo sem incorporação, uma vez que o sistema era sob plantio direto. Porém, os dois elementos migraram no perfil, o que pode ser atribuído à saturação parcial dos grupos funcionais de partículas reativas do solo. Isso pode potencializar a contaminação de águas subsuperficiais, especialmente, no solo do presente trabalho, que possui uma textura arenosa (apud Giroto et al., 2010).

CONCLUSÕES

A aplicação de cama sobreposta de suínos durante oitenta e oito meses promoveu o acúmulo de Cu e Zn até a camada de 20 cm, indicando a saturação parcial dos sítios de adsorção de partículas reativas, potencializando a contaminação de águas subsuperficiais. (MORAES et al., 2011, p. 2).

No mais, em estudo de BUENO et al. (2011) que consta do artigo “Teor do Zinco no solo após a aplicação de esterco líquido de suíno”, concluiu-se que a aplicação por vários anos consecutivos dos dejetos como insumo agrônômico no solo resulta no

⁶ DLS -dejeito líquido suíno. É um subproduto da criação de suínos, constituído de fezes, urina, restos de ração e água de lavagem das instalações e sua composição química se assemelha a ração de suínos e contém nutrientes essenciais (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn e B) para plantas. (MIYAZAWA; BARBOSA; RUIZ, 2011, p. 1).

acúmulo zinco em diferentes camadas do solo, que podem percolar e atingir altas profundidades, vide excerto abaixo reproduzido:

CONCLUSÃO

A aplicação de dejetos líquidos de suínos por vários anos proporciona um grande acúmulo de zinco nas camadas de 0-2,5, 2,5-20 e 20-40 cm de profundidade, mostrando ainda uma tendência de percolação do elemento no perfil do solo, podendo chegar a grandes profundidades. (BUENO et al., 2011, p. 2).

A tabela abaixo extraída do artigo de Seganfredo (1999) denota a desproporção entre os nutrientes adicionados e extraídos do solo com a aplicação de dejetos como insumo agrícola em uma cultura de milho, quais sejam Cu, Zn e Mn, e os gráficos em sequência retratam os diversos experimentos com a aplicação de forma continuada em diferentes culturas e tipos de solo, extraídos do artigo “Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo” (CORRÊA et al., 2011).

Tabela 5 – Quantidade de nutrientes adicionados por meio de dejetos de suínos e quantidades extraídas pelo milho (*Zea mays*) para uma produtividade de grãos de 9.000 kg/ha, num solo argiloso contendo 3,5% de matéria orgânica.

nutriente	Konzen (1980)	Seganfredo (1998)	Comissão (1995)	nutrientes ¹ extraídos
Nutrientes adicionados ² em kg/ha				
N	140	140	140	125
P ₂ O ₅	129	168	124	119
K ₂ O	46	37	50	37
Ca	131	89	-	4
Mg	22	31	-	10
Nutrientes adicionados em g/ha				
Cu	271	1133	-	24
Zn	1665	4371	-	224
Mn	1132	1031	-	69

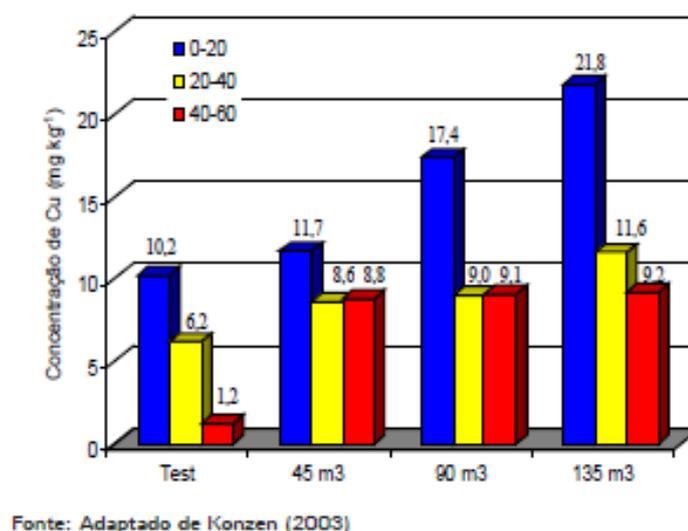
¹ A extração de N, P₂O₅, K₂O, Cu, Zn e Mn foi calculada com base em Embrapa (1991) e as de Ca e Mg, com base em Embrapa (1993).

² Os nutrientes adicionados foram calculados considerando-se uma demanda de N de 140 kg/ha (Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC, 1995) e a composição química dos dejetos apresentada nas referências Konzen (1980); Seganfredo (1998); Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995).

Fonte: SEGANFREDO (1999).

Konzen em três anos de aplicações de dejetos líquidos de suínos (DSL) na quantidade entre 45 e 135 m³, em Latossolo Vermelho de cerrado cultivado com milho, demonstrou a movimentação do Cu e o pequeno deslocamento do Zn até a profundidade de 60 cm, consoante se verifica nas Figuras 2 e 3 que seguem abaixo reproduzidas (KONZEN, 2003 apud CORRÊA et al., 2011, p. 09).

Figura 2 – Concentração de Cobre (Cu) no perfil do solo após três anos sucessivos de aplicação de dejetos de suínos, por carga aplicada.



Fonte: CORRÊA et al. (2011).

Figura 3 – Concentração de Zinco (Zn) no perfil do solo após três anos sucessivos de aplicação de dejetos de suínos, por carga aplicada

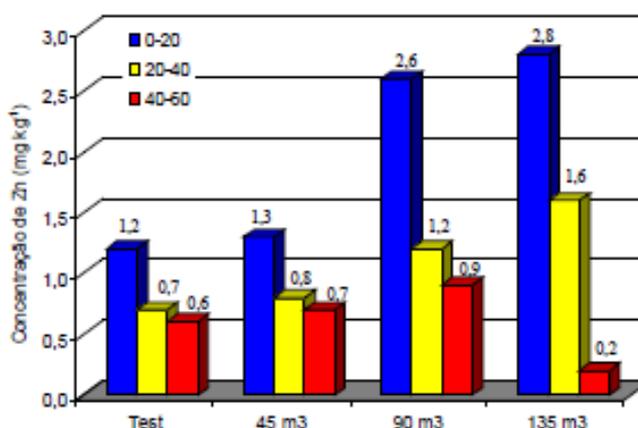
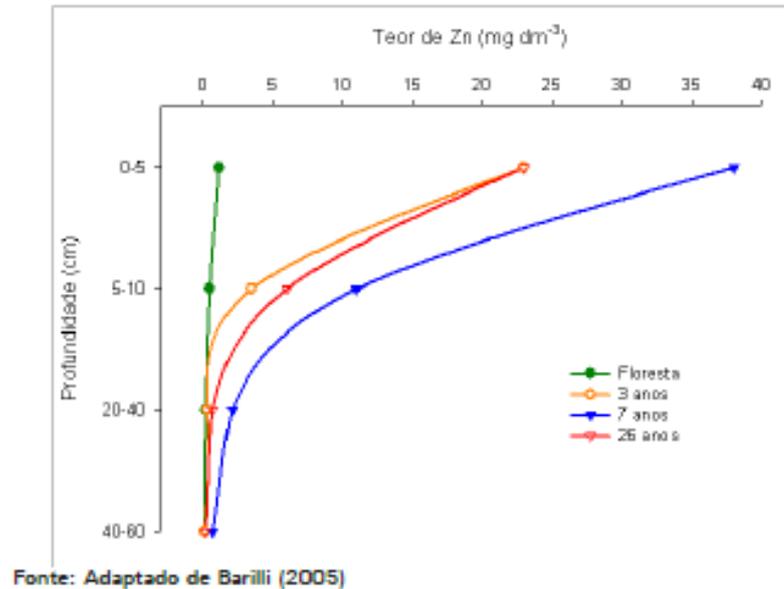
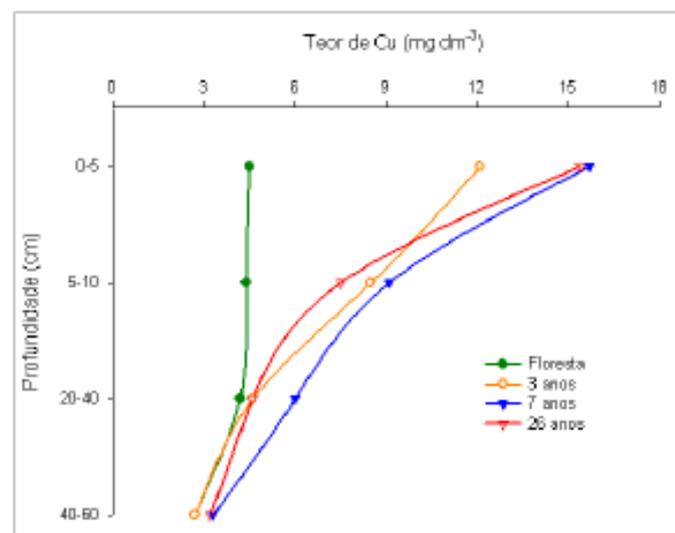


Figura 4 – Teores de Zinco (Zn) no perfil do solo em floresta (referência) e em sistema de produção de café entre 3 a 26 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos



Fonte: CORRÊA et al. (2011).

Figura 5 – Teores de Cobre (Cu) no perfil do solo em floresta (referência) e em sistema de produção de café entre 3 a 26 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos



Fonte: CORRÊA et al. (2011).

Destarte, resta claro que os estudos verificaram que existe um acúmulo excessivo ao longo dos anos dos teores de Cobre e Zinco nos solos em que são dispostos os

dejetos de suínos como insumo agronômico, e que podem impactar e ocasionar contaminação do solo, águas subterrâneas e superficiais, razão pela qual é importante que sejam realizados mais estudos, uma gestão ambiental eficiente nas granjas e das dosagens utilizadas.

3.1.3. Nitrogênio

O nitrogênio em suas diferentes formas - orgânico, amoniacal e nítrico, apesar de ser um macronutriente essencial ao desenvolvimento das plantas, pode ocasionar contaminações em virtude de suas características físicas, como mobilidade e volatilidade, na utilização dos dejetos como insumo agronômico.

O nitrogênio é o macronutriente que possui percentual mais baixo de aproveitamento pelos suínos, pois independentemente do sistema de produção, 65 a 70% do nitrogênio que compõem as rações, são eliminados nas fezes e urina, e depositados em biodigestores ou esterqueiras, nos quais pela ação biológica ocorre a mineralização do nitrogênio orgânico em amônia assimilável pelas plantas, volátil, que pode provocar impactos ambientais. (BARROS et al., 2019, p. 10).

Como destacado na introdução deste tópico que trata sobre o solo, a Europa enfrenta problema sério, tanto que existe a Diretiva do Conselho da Europeia nº 97/676/CEE que regulamenta o tema e será melhor tratada no capítulo a seguir, países como Alemanha, Bélgica e Holanda foram muito prejudicados, em decorrência do excesso de nitrato no solo, consoante excerto que segue abaixo reproduzido (SEGANFREDO, 1999, p. 134).

Nesses países, alguns dos principais problemas hoje existentes, como o acúmulo de nutrientes no solo e o excesso de nitratos nas águas (Federal Environmental Agency, 1998), serão de difícil solução, pois advêm, em grande parte, do efeito retardado da aplicação de grandes quantidades de dejetos por longos períodos (Ham & Zee, 1994). Por conseguinte, mesmo após a rígida legislação implantada para disciplinar o uso de dejetos como fertilizante, a recuperação de águas e de solos poluídos deverá ser um processo lento, de alto custo (Federal Environmental Agency, 1998) e apenas paliativo, pois o retorno aos teores originais de alguns nutrientes no solo é praticamente inatingível (Kabata-Pendias, 1995). (SEGANFREDO, 1999, p. 134).

Em artigo intitulado “Determinação de N-Orgânico, Amônio e Nitrato do Dejeto Líquido de Suíno”, Miyazawa, Barbosa e Ruiz (2011, p. 1) apresentam o desenvolvimento de método para que seja possível precisar as formas diferentes de nitrogênio – orgânico, amoniacal e nítrico do dejetos líquido de suíno, em virtude de alterações do N após a aplicação do solo, o que dificulta na obtenção de uma fórmula precisa na dosagem ideal de N para as culturas.

Segue abaixo excerto que melhor elucida o objeto do supracitado artigo:

As doses de DLS podem ser definidas conforme a necessidade de nutrição das plantas, transporte de nutrientes através da planta e dos grãos ou deficiência dos solos nos teores de N, P e K. As quantidades (massas) de P e K totais existentes no DLS não variam com a manipulação, transporte e nem após aplicação na lavoura, enquanto que, o N altera após aplicação no solo (Basso et al., 2004). No material de origem (fezes, ração e urinas), o N é estável, não se perde por volatilização, no entanto, durante o tempo de repouso na esterqueira, cerca de 3 meses, o N orgânico é decomposto por microrganismos anaeróbicos, transforma-se em NH_4^+ e uma fração desse é volatilizada para atmosfera na forma de NH_3 (Scherer et al, 1995). Porém, na superfície (cerca de 5 cm) da esterqueira o NH_4^+ é oxidado por microrganismos aeróbicos formando-se NO_2^- e NO_3^- .

Além disso, quando DLS é aplicado na superfície do solo, como em plantio direto, pastagem e culturas perenes, uma fração do N mineral é volatilizada na forma de NH_3 (Schilke-Gartley e Sims, 1993; Basso et al., 2004; Stevens e Laughlin, 1997) enquanto que, quando incorporado no solo há redução da volatilização (Bless et al., 1991; Schilke-Gartley e Sims, 1993).

Os métodos analíticos utilizados para quantificar os fertilizantes orgânicos, incluindo os esterco de animais, compostos orgânicos e outros resíduos orgânicos, são secos a 60-650 °C para determinação de massa seca e/ou teores de umidade e do N total (MAPA, 2005; Ciancio, 2010; Arns, 2004; Seidel et al. 2010). Neste procedimento, uma fração do NH_4^+ também é volatilizada para atmosfera, como observada nas lavouras.

Para evitar perda da NH_3 do DLS por volatilização durante secagem (Miranda et al., 1999), recomenda-se determinar N total na amostra líquida, sem secar.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método de determinação das diferentes formas de nitrogênio (orgânico, amoniacal e nítrico) do dejetos líquido de suíno. (MIYAZAWA; BARBOSA; RUIZ, 2011, p. 1).

Do exposto, a conclusão residiu na necessidade de determinação das três formas do nitrogênio para haver mais precisão nos cálculos da dosagem deste elemento para as culturas, quando da utilização dos dejetos líquidos suínos, a fim de evitar superdosagens, consoante se verifica abaixo:

Conclusões

1. A secagem direta do DLS na estufa a 60 °C pode perder até metade do N-total.
2. O procedimento da combinação de secagem direta a 60 °C, acidificação e redução com Zn pode determinar N-orgânico, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ do DLS.
3. A determinação de três formas de N do DLS aumenta exatidão na recomendação da dose de N para lavoura.” (MIYAZAWA; BARBOSA; RUIZ, 2011).

O artigo denominado “Alteração de atributos físicos em solo submetido à aplicação de dejetos de suínos” de Schmitt et al. (2011, p. 1) também trata de estudo que teve como objeto a análise de solo em que houve a disposição de dejetos de suínos nas formas líquida e sólida e respectivos atributos físicos, sendo que as dosagens de dejetos líquidos tiveram como referência no experimento as recomendações de nitrogênio (N) para as culturas de milho e aveia preta, consoante abaixo descrito.

Em dezembro de 2002 foi instalado um experimento em uma propriedade suinícola no município de Braço do Norte (SC) e onde os tratamentos foram: testemunha, dejetos líquidos equivalente à recomendação de N (DL1) e o dobro da recomendação (DL2), aplicação com cama sólida de suínos equivalente a recomendação de N (CS1) e o dobro da recomendação (CS2) conforme o manual de adubação e calagem CQFS-RS/SC (2004). No período de 2003 até 2010 foram cultivados em sucessão milho (*Zea mays*) e aveia preta (*Avena strigosa*), sob sistema plantio direto. Em março de 2010, foi aberta uma trincheira no centro de cada parcela e coletado amostras de solo em anéis volumétricos nas camadas de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-25 cm para determinação da densidade do solo (Ds), porosidade: macro (Mp), micro (mp) e porosidade total (Pt), distribuição de tamanho e estabilidade dos agregados (AE) e resistência à penetração (Rp). (SCHMITT et al., 2011, p. 1)

Constatou-se que os teores de carbono orgânico total (COT) em todos os experimentos diminuíram em profundidade, a densidade do solo foi menor nas camadas superficiais de 0-5 e 5-10cm, microporosidade e resistência à penetração não sofreram alterações, macroporos em altos valores, tendo resultado o estudo nas seguintes conclusões:

A aplicação de dejetos de suínos na forma sólida, com cama sobreposta duas vezes a recomendação de N, promoveu os maiores teores de carbono orgânico total no solo da camada superficial de 0-5 cm, e diminuiu os valores de densidade do solo, propiciando condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. (SCHMITT et al., 2011)

No que concerne a estudos de escoamento superficial, há artigo de Cosmann et al. (2011, p. 4, b) que destaca o comportamento de concentrações de nitrogênio e suas formas em experimentos, nos quais as concentrações de nitrogênio e suas formas em todas as parcelas coletadas, que sofreram o escoamento superficial, foram diretamente proporcionais às doses aplicadas de águas residuárias de suinocultura.

Ademais, destaque-se que o referido artigo demonstra a influência da climatologia também no comportamento das substâncias no solo, vez que os impactos das precipitações pluviométricas em sequência à aplicação de fertilizantes, ou altos índices pluviométricos nesses períodos, impactarão na poluição difusa que será ocasionada, consoante será melhor tratado em tópico específico sobre escoamento superficial. (COSMANN et al., 2011, p. 4, b)

Nesta pesquisa foi possível concluir que: as concentrações de nitrogênio e suas formas, fósforo total e potássio nas frações escoadas superficialmente foram diretamente proporcionais às doses de ARS aplicadas. A ocorrência de precipitação vinte e quatro horas após a aplicação de ARS no solo interfere na amplitude da poluição ocasionada pela disposição destes resíduos. (COSMANN et al., 2011, p. 4, b).

Ainda, a respeito do tema do nitrato e sua lixiviação no solo, é importante ressaltar o estudo retratado no artigo científico “Transporte de nitrato via percolação e escoamento superficial em nabo forrageiro fertirrigado com água residuária da suinocultura” de PEGORARO et al. (2011), que constatou a necessidade de mais estudos sobre o manejo de água residuária da suinocultura no solo, em especial ao tratar do ânion NO_3 e demais nutrientes presentes no seu efluente:

A aplicação de ARS no cultivo de nabo forrageiro em uma taxa de $450 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ aumentou os níveis de $\text{NO}_3\text{-N}$ no material coletado oriundo do escoamento superficial e da lixiviação em solo Latossolo Vermelho Distroférico típico. Entretanto, em concentrações médias inferiores ao limite máximo determinado pela resolução 357 do CONAMA. Maiores estudos se fazem necessários a fim de otimizar o manejo da ARS no solo, especialmente quando se trata do ânion NO_3 e outros nutrientes presentes no efluente, sobretudo com o a espécie *Raphanus sativos* L., cujas pesquisas quando irrigada são ainda incipientes. (PEGORARO et. al, 2011, p. 3).

No mesmo sentido da necessidade de estudos adicionais, Yagüe; Quílez (2010, p. 694) apontam que somente após o terceiro ano de aplicação dos fertilizantes de dejetos suínos é que se faz possível ter resultados seguros a respeito de concentrações e dosagens ideais de nitrato.

Para obter informações confiáveis sobre os efeitos de estratégias de fertilização PS na concentração de nitrato e massa em drenagem são recomendados experimentos de pelo menos 3 anos.

Concentrações de nitrato de pico alto ($> 350 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$) foram detectados em todos os anos na primeira ou segunda irrigação após a primeira aplicação de cobertura lateral de N mineral. Após este período, o nitrato estará disponível no solo e poderá ser facilmente lixiviado pelas águas de drenagem, razão pela qual uma gestão de irrigação eficiente é importante neste momento para controlar ou minimizar a contaminação por nitrato dos cursos d'água.

(...)

A maioria da lixiviação de nitrato (73% do total) ocorreu durante a estação de crescimento. Portanto, a melhoria da gestão da irrigação nas áreas do Mediterrâneo é essencial para controlar a lixiviação de nitrato. No entanto, se as doses de N forem excessivas, altas precipitações podem lixiviar o N residual do solo conforme ocorreu neste estudo nos anos de 2001 e 2003. (YAGÜE; QUÍLEZ, 2010, p. 694-695).

3.1.4. Teores de Fósforo (P) e Potássio (K)

O Fósforo (P) e o Potássio (K) são como o nitrogênio macronutrientes imprescindíveis ao desenvolvimento das plantas, porém em suas características se diferem, em virtude do fósforo ser praticamente imóvel e se acumular com facilidade na camada superficial do solo, sendo que o potássio a despeito de mais móvel, também adere facilmente a estas camadas, e são adsorvidos pelas partículas do solo (SCHERER, 2020, p. 96).

Nesta senda, em estudos como o de SCHERER et. al. (2002, p. 96), constatou-se que em função destas características verificam-se esses macronutrientes em baixas concentrações nas águas de drenagem, e conseqüentemente, também não são as fontes maiores de contaminação de corpos hídricos. Em oposição, verifica-se que na União Europeia após a Diretiva do Conselho nº 97/676/CEE, alguns países, como Espanha, tiveram que impor metas quanto ao fósforo que também tinha se tornado

grande poluidor dos corpos hídricos e águas subterrâneas, consoante será melhor detalhado nas normas analisadas no próximo Capítulo.

Contudo, em largos espaços de tempo, o excesso desses nutrientes pode impactar o meio ambiente, inclusive o solo e as plantas, motivo pelo qual deve haver atenção quanto à redução desses elementos nas rações, bem como quanto à necessidade dos sistemas de produção de suinocultura protegerem o solo e os recursos hídricos de contaminações ambientais, consoante se verifica no parágrafo abaixo reproduzido (SCHERER, 2002, p. 96).

Em resumo pode se dizer que a melhoria da fertilidade do solo e o aumento da produtividade das culturas não devem ser os únicos objetivos dos programas de reciclagem de esterco e resíduos agroindustriais na agricultura, entre outros devem ser incluídos a proteção ambiental do solo e dos recursos hídricos (SCHERER, 2002, p. 96).

Nota-se, entretanto, em estudos mais atuais, como de BARROS et al. (2019, p. 28), que há cientistas que inclusive entendem o principal problema ambiental da utilização dos dejetos reside no uso de doses excessivas de fósforo, conforme as seguintes considerações:

Uma das maiores dificuldades do uso racional é o ajuste das dosagens de dejetos conforme a necessidade de nutrientes das culturas, já que a proporção entre os nutrientes no dejetos nem sempre coincide com a demandada pelas culturas. Sobre esse último aspecto, enquanto para os fertilizantes industrializados pode-se escolher entre dezenas de formulações com diversas concentrações e proporções entre os nutrientes, nos dejetos líquidos de suínos, por exemplo, a proporção média de N:P₂O₅:K₂O é de 1,9:1,6:1,0, embora essa proporção possa variar muito conforme as condições de geração e armazenamento do dejetos. Se considerarmos que as plantas necessitam muito mais N do que P, como, por exemplo, as necessidades da cultura do milho, que exporta uma proporção aproximada de 2,7:1,3:1,0 de N:P₂O₅:K₂O para os grãos (Bona et al., 2016), é nítido concluir que, se o dejetos for aplicado no solo para suprir a demanda de N, certamente estará sendo aplicado P além do necessário para a planta. Com isso, haverá aumento do teor desse nutriente no solo, o que se constitui no principal problema ambiental relacionado ao uso de dejetos: a aplicação de doses excessivas de P. (BARROS et al., 2019, p. 28).

Portanto, o fósforo pode migrar tanto para as camadas mais profundas do solo, via drenagem vertical, por erosão, e por escoamento superficial, sendo que este

elemento nos ambientes aquáticos é extremamente danoso, pois causa a eutrofização, e torna a água imprópria para os principais usos, motivo pelo qual vários países têm controlado o uso de fertilizantes no solo e limitado as dosagens nas quantidades de fósforo que podem atingir os ambientes aquáticos (BARROS et al., 2019, p. 28).

Embora o P seja fortemente fixado às partículas do solo, as perdas em relação a esse nutriente ocorrem principalmente pelo escoamento superficial e pela erosão do solo, os quais transportam água e partículas do solo e o P ligado a elas (Gatiboni et al., 2015a, 2015b). A aplicação continuada de dejetos na camada superficial do solo provoca seu enriquecimento. Quando isso ocorre, o P pode ser transferido para os sistemas aquáticos com maior intensidade. A saturação desse nutriente na camada superficial também ocasiona maior liberação de P para a solução do solo e, conseqüentemente, a migração do elemento via drenagem vertical do solo (Gatiboni et al., 2015a, 2015b). O aumento de P nos sistemas aquáticos é extremamente danoso para o ambiente, pois, da mesma maneira que ele é naturalmente pobre no solo e essencial para as plantas, ele também é naturalmente pobre nas águas e essencial para as algas. Quando há aumento da concentração de P nas águas, ocorre rápido crescimento de algas nos sistemas aquáticos (afloramento de algas), fenômeno conhecido como eutrofização das águas, o que torna a água imprópria para seus principais usos. Dessa maneira, um dos principais impactos ambientais do uso de dejetos em doses inadequadas é a poluição com P. Por isso, muitos países limitam o uso de fertilizantes nos solos, baseando suas recomendações na quantidade de P que potencialmente pode ser liberada para os sistemas aquáticos. (BARROS et al., 2019, p. 28).

Por fim, Barros et al. (2019, p. 29-30) ressaltam que a legislação que regulamenta o licenciamento ambiental da suinocultura em Santa Catarina determinou classes de prevenção e intervenção no que concerne ao risco de poluição por fósforo com base no Limite Crítico Ambiental do Fósforo (LCA-P), que estipulam que se os teores deste elemento se verificarem até 20% acima do LCA-P (classe de prevenção), a adubação fosfatada terá que se limitar a 50% da dosagem de manutenção para a cultura a ser adubada, já para solo com teores de fósforo enquadrados na classe de intervenção, mais de 20% acima do LCA-P, a adubação com dejetos ou fertilizantes que possuam P será proibida.

Destaque-se que em quaisquer das situações, os agricultores terão de adotar medidas mitigantes, para que não haja mais perdas de fósforo no solo, com a elaboração de um plano de manejo de nutrientes que reduza os valores de fósforo para abaixo do LCA-P (BARROS et al., 2019, p. 29-30)

Assim, em um sistema racional de uso de dejetos como fertilizantes, deve-se evitar a aplicação de doses excessivas de P por duas razões. Primeiro, porque doses elevadas de P, acima do teor crítico no solo para as plantas, não se traduzem em aumento no rendimento das culturas; e, segundo, porque doses excessivas de P acarretam maior quantidade de P perdido para a água. (...)

O Limite Crítico Ambiental de P (LCA-P) é o teor de P disponível no solo a partir do qual o risco ambiental aumenta muito, pois o nutriente começa a ser liberado para a água em maior intensidade. Nesse sentido, um grupo de pesquisadores da Udesc e colaboradores (Gatiboni et al., 2015a; Gatiboni et al., 2015b) constataram que o LCA-P para solos do estado de Santa Catarina era dependente do teor de argila, ou seja, solos mais arenosos são saturados mais rapidamente com P e começam a liberá-lo para a água em doses mais baixas, enquanto solos mais argilosos são mais resistentes, suportando doses maiores. Segundo os autores, o LCA-P é dependente do teor de argila e pode ser calculado pela Equação 3:

$$LCA-P = 40 + \%Arg \text{ (Equação 3)}$$

em que:

LCA-P = teor máximo de P, (em mg dm⁻³) no solo, medido por Mehlich-1

40 = constante adimensional

%Arg = teor de argila do solo, (em porcentagem)

Assim, o risco ambiental de um solo que recebeu dejetos pode ser facilmente calculado por meio apenas de uma análise de solo. Se o teor de P disponível do solo for inferior ao valor calculado do LCA-P para aquele solo (Equação 3), há baixo risco de o solo ser fonte de poluição ambiental com P. Por sua vez, se o teor de P disponível for superior ao LCA-P calculado, o solo é fonte de poluição ambiental e a adição de P, de qualquer fonte (fertilizantes minerais ou orgânicos), deve ser restrita ou suspensa. (BARROS et al., 2019, p. 29).

3.1.5. Micropoluentes

As águas residuais podem conter micropoluentes, vários compostos tóxicos, que podem consistir em metais, produtos farmacêuticos, hormônios, detergentes, industriais e agrícolas compostos que têm um impacto negativo nos organismos vivos, e que são de difícil monitoramento, em razão de serem necessárias técnicas analíticas avançadas, razão pela qual é raro o controle da concentração desses compostos (CHOJNACKA et al., 2020, p. 7).

As drogas podem ser uma ameaça ao solo ambiente, acumulando-se no solo por muitos anos pode afetar os microrganismos, mesofauna do solo, também ocasionando o crescimento de microrganismos resistentes a antibióticos (CHOJNACKA et al., 2020, p. 7).

No mais, os produtos farmacêuticos podem ser transportados do solo às plantas e, assim, entrar na cadeia alimentar, sendo potencialmente perigoso para os humanos, consoante se elucidará melhor em tópico próprio, e, ainda, é possível que estes compostos sejam liberados do solo para as águas subterrâneas ou superficiais água, o que significa um risco para a biocenose dos organismos aquáticos (CHOJNACKA et al., 2020, p. 7).

Nesta senda, é importante destacar que a detecção de baixas concentrações de produtos farmacêuticos é difícil, de alto custo e requer o uso de técnicas analíticas especiais (CHOJNACKA et al., 2020, p. 7-8).

3.1.6. pH

O pH do solo impacta na oferta de nutrientes e metais, a capacidade de troca catiônica, assim como na mineralização da matéria orgânica, razão pela qual há que ser atenção após irrigações de longo prazo com águas residuais (4 a 60 anos), em solos com manejo distinto (aráveis ou em solos pastoris com pastejo) e irrigados com diferentes tipos de águas residuais (águas residuais municipais com tratamento secundário e água residual de laticínios), consoante observa Becerra-Castro et al. (2015, p.121).

Embora o autor não mencione fertirrigação de origem na suinocultura, vale ressaltar que o referido parâmetro parece ser um fator importante de determinação de riqueza (número de espécies diferentes) e diversidade (variedade de organismos) de comunidades bacterianas do solo, consoante excerto que segue abaixo reproduzido (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p.121).

Em um estudo abrangente comparando comunidades bacterianas do solo de ecossistemas distintos, foi observado que as comunidades de locais com valores de pH idênticos compartilham índices semelhantes da diversidade e riqueza bacteriana, independentemente de outros fatores, como condições climáticas ou propriedades edáficas (Fierer e Jackson, 2006). E, habitats de solo com valores de pH na faixa de neutralidade tendem a apresentar uma diversidade bacteriana mais alta do que aquelas mais ácidas ou alcalinas (Fierer e Jackson, 2006; Lauber et al., 2009). Em contraste, comunidades de fungos podem não ser tão vulneráveis a variações de pH (Rousk et al., 2010). Variações no pH também pode influenciar a solubilidade de diferentes

componentes do solo, tais como metais (Bloom, 2000; Sparks, 2003) (Tabela 3). O aumento de metais livres no solo irrigado com águas residuais foi relacionado com uma diminuição do pH do solo (Rattan et al., 2005). Por sua vez, a concentração e a disponibilidade de metais têm o potencial de afetar as comunidades microbianas (Bååth, 1989; Brookes, 1995; Chander e Brookes, 1991; Müller et al., 2002). solo (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p.121).

3.1.7. Salinidade

O clima quente em virtude de ocasionar evaporação intensiva, gera um aumento nas concentrações de sais inorgânicos nas águas residuais, as estações de tratamento de águas residuais geralmente não incluem a remoção de salinidade, por serem de alto custo, porém o uso a longo prazo de águas residuais recuperadas como meio de irrigação pode promover a salinização da camada superficial do solo. (CHOJNACKA et al., 2020, p. 8).

O aumento da concentração de sal na zona da raiz altera a pressão osmótica da solução do solo e atrapalha a absorção de água de plantas, e pode ser fitotóxico, em sistemas fechados onde se tem uma maior salinidade, pois esta ocasiona a deterioração das propriedades físico-químicas do solo, através da redução da capacidade de retenção de água no solo e sua compactação (CHOJNACKA et al., 2020, p. 8).

O aumento da salinidade impacta no rendimento da colheita, ocasiona estresse fisiológico, pelo desequilíbrio de nutrientes, o que enseja a interrupção da fotossíntese, respiração, destruição de organelas celulares, motivo pelo qual há que se dar atenção a riscos de hiper salinidade e toxicidade de sódio, especialmente durante longo prazo irrigação (CHOJNACKA et al., 2020, p. 8).

3.1.8. Organismos Edáficos

Os impactos sobre os organismos edáficos da aplicação no solo dos dejetos como fertilizantes são hipóteses possíveis, porém não há muitas pesquisas e estudos sobre o tema que possuam conclusões precisas sobre o excesso de metais e nutrientes em seus habitats naturais. (SEGAT et al., 2012, p. 066)

Em artigo científico intitulado “Comportamento de fuga de *Folsomia candida* em solos naturais tratados com dejetos de suínos” de Segat et al. (2012, p. 066), verifica-se que foi realizado estudo para análise das consequências da disposição dos dejetos de suínos no solo, sobre o comportamento de colêmbolos da espécie *Folsomia cândida*, através de testes toxicológicos de fuga, consoante descrito no excerto abaixo extraído do referido documento:

(...) O experimento foi instalado conforme as especificações da ISO 17512-2 (ISO, 2008), com delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos consistiram em doses de dejetos de suínos coletados na fase de crescimento, a saber: T1) 0 m³ ha⁻¹ (controle), T2) 10 m³ ha⁻¹, T3) 15 m³ ha⁻¹, T4) 20 m³ ha⁻¹ e T5) 25m³ ha⁻¹. Para os ensaios foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Argissolo Vermelho eutrófico (AVe), obtidos da camada de 0-0,20 m e Solo Artificial Tropical (SAT). Os resultados obtidos para testes com *Folsomia candida* mostraram que no SAT ocorreu preferência dos organismos pelo solo tratado com dejetos de suíno e para AVe inicialmente houve preferência dos indivíduos pelo solo contaminado, nas doses 10 m³ ha⁻¹ e 15 m³ ha⁻¹, com posterior fuga nas doses mais elevadas (20 m³ ha⁻¹ e 25 m³ ha⁻¹). No LVd houve fuga do solo contaminado em todas as doses avaliadas. (...) (SEGAT et al., 2012, p. 066)

Do referido estudo, concluiu-se que os dejetos provocaram mudanças comportamentais na *Folsomia candida*, posto terem se dado fugas dos solos contaminados nas doses mais elevadas tanto nas amostras de Latossolo Vermelho distrófico, quanto de Argissolo Vermelho eutrófico (SEGAT et al., 2012, p. 066), vide conclusão do artigo que segue abaixo reproduzida:

Os resultados mostram que o dejetos de suínos altera o comportamento de *F. candida*, e que seu uso como fertilizante agrícola merece mais estudos, principalmente, sobre organismos da fauna do solo. (SEGAT et al., 2012, p. 066)

Diante do exposto, resta claro que o tema dos impactos ambientais da utilização dos dejetos como insumo agrícola sobre os organismos da fauna do solo necessita de mais estudos e aprofundamento, a fim de se verificar as dosagens necessárias para evitar a contaminação do solo e os impactos sobre os seres edáficos. (SEGAT et al., 2012, p. 066)

3.2. NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A aplicação dos dejetos no solo como insumo agronômico pode ocasionar com o seu escoamento superficial: poluição de águas superficiais, solo e cadeia alimentar, pois através da escoação são carreados nutrientes, patógenos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas, o que, conseqüentemente, pode causar empobrecimento gradativo dos solos, processos de assoreamento, eutrofização e poluição dos corpos d'água (COSMANN et al., 2011, p. 2, b).

O escoamento superficial pode se dar em virtude de grandes quantidades aplicadas de água residuária da suinocultura, em se verificando relevos acidentados, ou em decorrência de grandes precipitações pluviais em solos de baixa permeabilidade e pouca cobertura (COSMANN et al., 2011, p. 2, b).

Com já mencionado a disposição dos dejetos no solo pode se dar por aplicações aéreas com distribuidores para essa finalidade, por injeção no solo ou fertirrigação, sendo a aérea a mais comum, na qual os dejetos são succionados da estrumeira e distribuídos no solo pelo distribuidor de esterco (BARROS et al., 2019, p. 18).

Entretanto, há que se destacar que como os dejetos são depositados na superfície do solo nesta hipótese, ficam sujeitos às intempéries climáticas, de modo que em havendo uma precipitação pluviométrica de alta intensidade, ocorrerá o escoamento superficial, que ensejará no arrastamento dos resíduos, solo, fertilizantes, para as áreas de maior declive, onde normalmente se localizam os corpos d'água, o que pode gerar danos ambientais ao meio aquático e seus organismos (BARROS et al., 2019, p. 18).

O artigo científico intitulado "Transporte de nutrientes por escoamento superficial devido à aplicação de água residuária da suinocultura no solo" teve como objeto o estudo do potencial poluidor difuso da disposição de água residuária da suinocultura em um Latossolo Vermelho Distroférrico (COSMANN et al., 2011, p. 1, b).

COSMANN et al. (2011, p. 1, b) no referido artigo prescrevem que apesar da destinação da água residuária de suinocultura no solo ser atrativa sob as óticas

ambiental e agronômica, a fim de evitar a contaminação de recursos hídricos com o aporte de nutrientes para águas superficiais, faz-se essencial mensurar as doses e características edáficas do local onde será disposta.

Em sendo assim, o trabalho realizado pelos supramencionados autores consistiu em usar cinco doses de águas residuárias da suinocultura (0, 25, 50, 75 e 100 m³/ha) e simulação de precipitação pluviométrica de 60 mm/h para o escoamento superficial de cada parcela experimental, sendo que os parâmetros analisados foram: nitrogênio total (N), nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nitrato+nitrito (NO₃⁻+ NO₂⁻), fósforo (P) e potássio (K⁺) (COSMANN et al., 2011, p. 1, b).

No que concerne aos resultados, vale reproduzir o que foi constatado quanto ao escoamento superficial no item “Resultados e Discussão”, no artigo em comento:

Nesse sentido, relacionou-se a proporção de N aplicado ao solo através da ARS com a proporção de N escoada do solo, e observou-se que ocorreu um aumento gradativo na concentração de N, N-NH₄⁺, NO₃⁻ + NO₂⁻, bem como de P e K⁺ nas frações escoadas, à medida que se aumentaram as doses de ARS aplicadas (Figura 1 a e b). Visto que a concentração média de N presente na ARS foi de 3.729,5 mg/L e a perda média entre todos os tratamentos por escoamento superficial foi de 76,96 mg/L, considera-se que as perdas deste nutriente via escoamento superficial são altas, capazes de causar impactos aos corpos receptores, pois ultrapassam os limites determinados na Resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2008).

Seguindo esta legislação, o parâmetro NO₃⁻ não deve exceder a concentração de 10 mg/L e o NO₂⁻ de 1 mg/L para qualquer classe de águas. Os valores obtidos nas frações escoadas para estes parâmetros conjuntamente avaliados foram de 10,9, 15,1, 16,5 e 16,8 mg/L para as doses de 25, 50, 75 e 100 m³/ha respectivamente, podendo representar riscos aos corpos hídricos, inclusive aos subterrâneos, visto que o NO₃⁻ é facilmente lixiviado (Anami et al., 2008).

As concentrações de N-NH₄⁺ obtidas nas frações escoadas variaram de 21,5 a 80 mg/L e podem ser consideradas elevadas e prejudiciais aos corpos receptores se os alcançarem, pois a legislação descreve como limite máximo a concentração de 13,3 mg/L para águas com pH ≤ 7,5 (BRASIL, 2008).

As concentrações de fósforo observadas nas frações escoadas deste estudo foram de 0,3, 0,6, 0,6 e 0,8 mg/L respectivamente para as doses 25, 50 75 e 100 m³/ha. Estes valores ultrapassam várias vezes o padrão de manutenção da qualidade da água exigida pelo CONAMA, onde concentrações acima de 0,15 mg/L são consideradas críticas às águas das classes 3 e 4 (BRASIL, 2008).

As concentrações médias de K^+ nas frações escoadas variaram de 3,6 a 10,1 mg/L entre as doses de ARS aplicadas. Considerando as concentrações médias obtidas deste elemento na ARS de 9,4 mg/L e no solo 2,16 mg/L (Tabela 1), verifica-se que houve uma perda significativa de K^+ por escoamento superficial para todas as doses aplicadas. O K^+ em solos com maiores teores de argila, como o do NEEA, apresenta menor mobilidade no perfil do solo se comparado ao NO_3^- , sendo portanto, facilmente transportado devido à baixa valência do íon (Van Raij, 1981). (COSMANN et al., 2011, p. 3, b).

Por fim, o artigo concluiu que foram diretamente proporcionais às doses aplicadas de águas residuárias de suinocultura, as concentrações de nitrogênio e suas formas, fósforo total e potássio em todas as parcelas coletadas, que sofreram o escoamento superficial (COSMANN et al., 2011, p. 4, b).

Ademais, verificou-se que a climatologia interfere diretamente na dinâmica do escoamento, vez que a precipitação pluviométrica dentro de 24 horas da aplicação da água residuária, interferirá diretamente na poluição que se dará em decorrência da disposição dos resíduos (COSMANN et al., 2011, p. 4, b).

Na mesma toada, o artigo científico “Transporte de bactérias indicadoras por escoamento superficial devido aplicação de água residuária da suinocultura no solo” de COSMANN et. al (2011, p. 1, a), teve como objeto o estudo do escoamento superficial, porém a investigação se deu a respeito do aporte de patógenos.

Do mesmo modo que no estudo anterior, a metodologia consistiu em quatro doses de água residuária da suinocultura: 25, 50, 75 e 100 m^3/ha , precipitação pluviométrica simulada de 60 mm/h para propulsionar o escoamento superficial, para análise do transporte de micro-organismos indicadores: coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (representando *E. coli* - EC) e enterococos (ENT), no escoamento em Latossolo Vermelho Distroférico fertirrigado (COSMANN et al., 2011, p. 1, a).

Do ponto de vista ambiental, a resolução CONAMA 274/2000 contempla os coliformes totais, *E. coli* e *Enterococcus* como parâmetros indicadores de balneabilidade. Nesse sentido, o aporte de cargas microbianas nos corpos d'água das concentrações observadas no escoamento superficial pode promover alterações no padrão de balneabilidade do local, dependendo do grau de autodepuração do recurso hídrico. A resolução CONAMA 357/2005 que dispõe sobre o padrão de lançamento de efluentes e classificação dos corpos d'água traz a *E. coli* como organismo indicador dos demais usos da

água além da balneabilidade. Os resultados da análise do transporte bacteriano por escoamento superficial deste estudo indicam que o efluente apresenta um grande potencial na contribuição de cargas de bactérias termotolerantes em corpos hídricos, excedendo os padrões das legislações brasileiras para a qualidade das águas. Na Tabela 3 estão apresentados os modelos potenciais obtidos para as concentrações de CT, EC e ENT nas frações escoadas em função dos tratamentos com ARS. (COSMANN et al., 2011, p. 3, a).

Em sendo assim, concluiu-se que as concentrações de coliformes totais e termotolerantes e enterococos nas frações escoadas foram relacionadas diretamente às doses de águas residuárias da suinocultura aplicadas, de modo que por estes parâmetros possuem alto potencial de poluição difusa, imprescindível que sejam inseridos em estudos científicos de avaliações ambientais (COSMANN et al., 2011, p. 4, a).

Ainda, a respeito do tema do escoamento superficial, é importante ressaltar o estudo retratado no artigo científico “Transporte nitrato via percolação e escoamento superficial em nabo forrageiro fertirrigado com água residuária da suinocultura” de PEGORARO et al. (2011), que constatou o seguinte:

A aplicação de ARS no cultivo de nabo forrageiro em uma taxa de 450 m³.ha⁻¹ aumentou os níveis de NO₃-N no material coletado oriundo do escoamento superficial e da lixiviação em solo Latossolo Vermelho Distroférico típico. Entretanto, em concentrações médias inferiores ao limite máximo determinado pela resolução 357 do CONAMA. Maiores estudos se fazem necessários a fim de otimizar o manejo da ARS no solo, especialmente quando se trata do ânion NO₃ e outros nutrientes presentes no efluente, sobretudo com o a espécie *Raphanus sativos* L., cujas pesquisas quando irrigada são ainda incipientes. (PEGORARO et. al, 2011, p. 3).

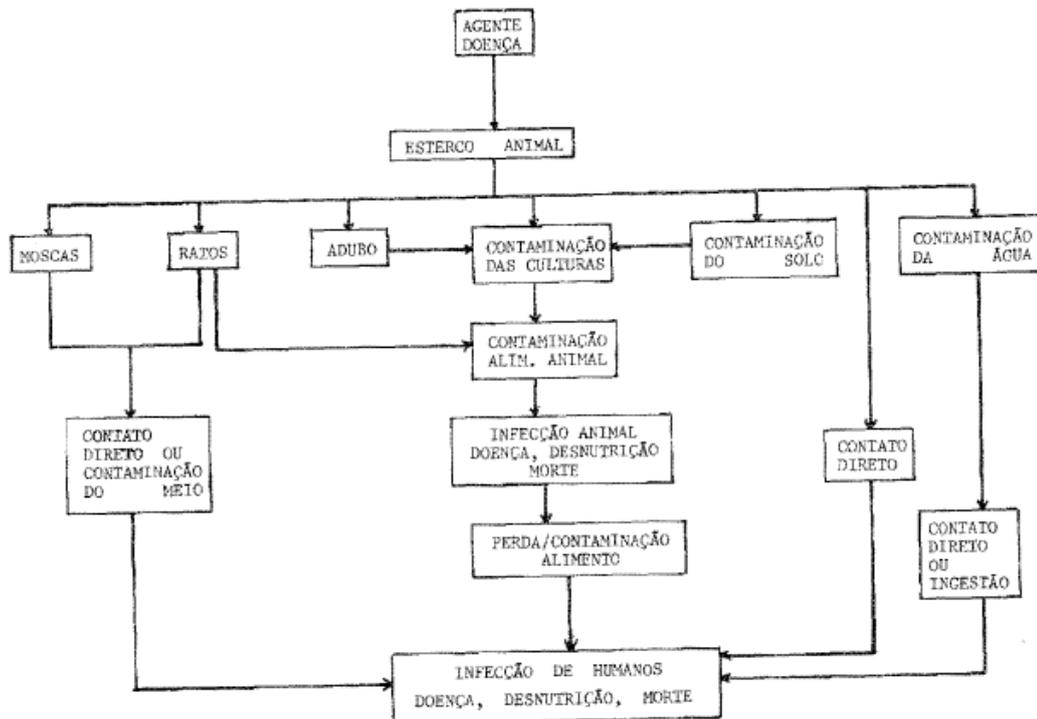
BARROS et al. (2019, p. 18) também destacam o problema do escoamento superficial, pois à medida que alguns nutrientes são muito móveis, outros não são, a título de exemplo, mencionam o fósforo (P), que a despeito de imprescindível ao solo para as culturas, na água juntamente ao nitrogênio (N), impactam no meio ambiente, pois ocasionam a eutrofização de corpo d'água, razão pela qual há que ter cautela e prevenção quanto ao escoamento superficial desses nutrientes.

3.3. NA SAÚDE HUMANA

As doenças infecciosas que geram problemas epidemiológicos em sistemas de confinamento relacionam-se diretamente com o manejo do esterco animal, posto a eliminação dos agentes patogênicos pelos animais infectados se dar pela urina, fezes e outros meios, de modo que os microrganismos são depositados nos pisos das granjas, e se aplicados no solo, podem se tornar fonte de contaminação das culturas através das quais os alimentos entram em contato e contaminam os seres humanos (OLIVEIRA, 1993, p. 30).

A Figura 6 abaixo demonstra os modos diretos e indiretos que o esterco pode impactar nos seres humanos e nas unidades de produção, sendo que existem muitos modos de transmissão, razão pela qual há que se ter uma forma de prevenção eficaz nos sistemas de produção, a fim que seja possível adotar medidas epidemiológicas antes que os microrganismos sejam liberados no meio ambiente (OLIVEIRA, 1993, p. 30).

Figura 6 – Interação entre os dejetos de animais e as doenças infecciosas nos homens e animais



Fonte: OLIVEIRA, 1993, p. 31.

A utilização de águas residuais tratadas para fertirrigação também possui desvantagens, em razão da presença de microrganismos patogênicos, tais como bactérias patogênicas, vírus, protozoários comuns (*Giardia* e *Cryptosporidium*) e os helmintos que podem representar uma ameaça direta à saúde humana. Portanto, faz-se necessário garantir que não representem epidemiologia sanitária e um perigo ao solo (CHOJNACK et al., 2019, p. 7).

Não suficiente, a presença de produtos farmacêuticos nas águas residuais utilizadas para irrigação pode ocasionar uma série de consequências, não só no solo, onde podem afetar os microrganismos, vermes do solo, e nas águas subterrâneas e superficiais, onde representam risco à biocenose dos organismos aquáticos, também causando o crescimento de resistentes a antibióticos microrganismos, pois quando transportados às plantas e, entram na cadeia alimentar, são potencialmente perigoso para os humanos (CHOJNACK et al., 2019, p. 7).

A utilização de águas residuárias também provoca questionamentos quanto à segurança e sua utilização em culturas agrícolas para a produção de alimentos e o impacto na saúde pública, visto surtos de *Escherichia coli* (*E. coli*), por exemplo, que nos Estados Unidos ensejaram publicação de novos regulamentos federais pela Food and Drug Administration (FDA), como parte do implementação da Lei de Modernização da Segurança Alimentar do FDA (FSMA), onde se exige o teste da qualidade da água agrícola para *E. coli* genérico (ROCK et al, 2019, p. 616).

Em artigo científico de Rock et al. (2019), denominado “Review of water quality criteria for water reuse and risk-based implications for irrigated produce under the FDA Food Safety Modernization Act, produce safety rule”, foi realizada uma Avaliação Quantitativa de Risco Microbiano (QMRA) para estimar riscos de contaminação por patógenos de culturas alimentares in natura no contexto dos regulamentos da FDA para se ter uma perspectiva sobre os regulamentos atuais de reutilização de água nos Estados Unidos da América.

Os resultados do estudo apontaram que a água de irrigação contendo 126 UFC/100 mL de *E. coli* correspondem a um risco de doença gastrointestinal (diarreia) de 9 casos em 100 milhões de pessoas (um risco de 0,000009%) para irrigação subterrânea, 1,1 casos em 100.000 pessoas (um risco de 0,0011%) para irrigação por sulco, e 1,1

casos em 1000 pessoas (um risco de 0,11%) para irrigação por aspersão de alface, sendo este o de maior risco (ROCK et al., 2019, p. 616).

Na mesma senda, Becerra-Castro et al. (2015, p. 617) mencionam que o reaproveitamento de águas residuárias tratadas, em especial para irrigação, é cada vez mais utilizado e incentivado em todo o mundo, contudo, a prática pode ter implicações em dois níveis: alterar as propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo e / ou introduzir e contribuir para o acúmulo de contaminantes químicos e biológicos no solo. O primeiro pode afetar a produtividade e a fertilidade do solo; a segunda pode representar sérios riscos à saúde humana e ambiental (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p. 117).

Neste sentido, afirmam que os riscos para a saúde humana representam questão importante no centro de qualquer discussão sobre a reutilização de águas residuais, pois apesar de não poderem ser estimados com precisão, não podem ser ignorados, sendo que as evidências relatadas na literatura, bem como as análises críticas sobre as limitações de algumas abordagens experimentais destacam a importância da necessidade de atenção com a acumulação e propagação de contaminantes biológicos nos solos devido à irrigação com água residual (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p. 131).

Patógenos humanos e animais, fitopatógenos e bactérias resistentes a antibióticos e seus genes são biológicos importantes e contaminantes que podem ser transportados por águas residuais e / ou ser enriquecido em solo. E no mais, numerosos contaminantes químicos, incluídos nas categorias como xenobióticos, produtos farmacêuticos e metais, podem ameaçar a saúde ambiental e humana. A mistura desses contaminantes pode ter consequências imprevisíveis tanto no ambiente e saúde humana (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p. 131).

Em sendo assim, os autores afirmam que a reutilização sustentável de águas residuais na agricultura deve prevenir ambos os tipos de efeitos, exigindo uma avaliação de risco holística e integrada, com análise dos possíveis efeitos da irrigação com águas residuais tratadas, e com ênfase especial na microbiota do solo. A manutenção de uma rica e diversificada microbiota autóctone do solo e o uso de águas residuais tratadas com níveis mínimos de potenciais contaminantes do solo são propostas como condições *sine qua non* para alcançar um sustentável sistema de

reutilização de águas residuais para irrigação (BECERRA-CASTRO et al., 2015, p. 117).

3.4. POLUIÇÃO DO AR - GASES NOCIVOS E ODOR

A disposição dos dejetos no solo pode ocasionar incômodos à comunidade em razão da emissão de substâncias odoríferas, que podem gerar inclusive problemas de saúde e morte de pessoas e animais (OLIVEIRA, 1993, p. 30).

Note-se que existem gases nocivos em sistemas de produção por confinamento, tais como amônia, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e metano, sendo que os geram os odores são a amônia, sulfeto de hidrogênio e inúmeros compostos orgânicos intermediários que são originados da decomposição biológica do esterco (OLIVEIRA, 1993, p. 32).

Em sendo assim, há que se ter cuidado quando aplicados os dejetos na camada superficial do solo, a fim de que não haja seu acúmulo, e a possível emissão de substâncias odoríferas e gases nocivos.

4. NORMAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

Neste item serão abordadas normatizações nacionais, estaduais e estrangeiras que guardam relação com o tema.

4.1. FEDERAL BRASILEIRA

Em nível federal, apesar do meio ambiente ser tutelado no artigo 225 Constituição Federal, pela Política Nacional do Meio Ambiente – Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, assim como os resíduos sólidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, ainda não há legislação ou norma específica para a aplicação de dejetos da suinocultura como forma de insumo agronômico que trate do tema com a determinação dos controles ambientais necessários.

Contudo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em seu artigo 6º, preconiza como alguns de seus princípios: a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; e, o desenvolvimento sustentável; de forma que albergue a prática da disposição dos dejetos da suinocultura no solo como insumo agronômico (BRASIL, 2010).

E no mais, dentre os objetivos que constam do artigo 7º da PNRS se verificam relacionados ao presente estudo: a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, observada a respectiva ordem de prioridade, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; e, adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais (BRASIL, 2010).

4.1.1. Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, consoante definido no artigo 6º, inciso II, da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente – Lei nº 6.938/1981, cujo objetivo é assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida (BRASIL, 1981).

A Lei da PNMB define em seu artigo 8º, inciso VII, que compete ao CONAMA: estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos, razão pela qual se faz necessário apresentar algumas resoluções que se correlacionam ao tema objeto do presente estudo (BRASIL, 1981).

4.1.1.1. Resolução CONAMA nº 420/2009

A Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, foi publicada pelo CONAMA frente à necessidade de instituição de procedimentos e critérios integrados entre os órgãos da União, Estados, Distrito Federal e Municípios em conjunto com a sociedade civil organizada, para o uso sustentável do solo, a fim de se evitar danos e a perda de sua funcionalidade (BRASIL, 2009).

A supracitada Resolução CONAMA disciplina critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabeleceu diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (BRASIL, 2009).

A Resolução CONAMA nº 420/09 estipula em seu artigo 3º que a proteção do solo deverá ser realizada de forma preventiva, com o objetivo de assegurar a sua funcionalidade, ou de modo corretivo, com o fulcro de restauração ou recuperação de sua qualidade de forma compatível com os usos previstos (BRASIL, 2009).

Para efeito da supramencionada Resolução, em seu artigo 4º, nos incisos XXI, XXII, XXIII e XXIV, são adotados os seguintes conceitos de Valores Orientadores, Valor de Referência de Qualidade -VRQ, Valor de Prevenção-VP e Valor de Investigação-VI, que são de fundamental importância para avaliação da necessidade de realização de uma investigação de passivo ambiental:

XXI - Valores Orientadores: são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea;

XXII - Valor de Referência de Qualidade-VRQ: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;

XXIII - Valor de Prevenção-VP: é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais de acordo com o art. 3o.

XXIV - Valor de Investigação-VI: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado. (BRASIL, 2009).

A avaliação da qualidade de solo no que concerne à presença de substâncias químicas, será realizada sempre com base nos Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação (Tabela 6).

Os Valores de Referência de Qualidade para substâncias químicas naturalmente presentes são estabelecidos pelos órgãos ambientais dos Estados e Distrito Federal.

Os Valores de Prevenção – VP foram estipulados no Anexo II da Resolução CONAMA nº 420/2009, que segue abaixo reproduzido, com base em ensaios de fitotoxicidade ou avaliação de risco ecológico, ao passo que os Valores de Intervenção – VI que foram determinados no mesmo anexo, originaram-se de estudo de avaliação de risco à saúde humana, em decorrência de cenários de exposição padronizados para diversos usos e ocupação do solo.

Tabela 6 – Lista de valores orientadores para solos e para águas subterrâneas

Substâncias	CAS nº	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (I)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Inorgânicos							
Alumínio	7429-90-5	E	-	-	-	-	3.500**
Antimônio	7440-36-0	E	2	5	10	25	5*
Arsênio	7440-38-2	E	15	35	55	150	10*
Bário	7440-39-3	E	150	300	500	750	700*
Boro	7440-42-8	E	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	E	1,3	3	8	20	5*
Chumbo	7440-43-9	E	72	180	300	900	10*
Cobalto	7439-92-1	E	25	35	65	90	70
Cobre	7440-50-8	E	60	200	400	600	2.000*
Cromo	7440-47-3	E	75	150	300	400	50*
Ferro	7439-89-6	E	-	-	-	-	2.450**
Manganês	7439-96-5	E	-	-	-	-	400**
Mercúrio	7439-97-6	E	0,5	12	36	70	1*
Molibdênio	7439-98-7	E	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	E	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	E	-	-	-	-	10.000*
Prata	7440-22-4	E	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	E	5	-	-	-	10*
Vanádio	7440-62-2	E	-	-	-	1000	-
Zinco	7440-66-6	E	300	450	1.000	2.000	1.050**
Hidrocarbonetos aromáticos voláteis							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	5*
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	20*
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	300**
Tolueno	108-88-3	na	0,14	30	30	75	700**
Xilenos	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	500**
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos							
Antraceno	07-12-20	na	0,039	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	1,75
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7*
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18

Substâncias	CAS nº	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade de	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMáx	Residencial	Industrial	
Fenantreno	85-01-8	na	3,3	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na	0,031	2	25	130	0,17
Naftaleno	91-20-3	na	0,12	30	60	90	140
Benzenos clorados							
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	na	0,41	40	45	120	700**
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	na	0,73	150	200	400	1000
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	na	0,39	-	-	-	-
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	na	0,39	50	70	150	300
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	na	0,01	5	15	35	(a)*
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	na	0,011	7	20	40	(a)*
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	na	0,5	-	-	-	(a)*
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	na	0,16	-	-	-	-
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	634-90-2	na	0,01	-	-	-	-
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	na	0,01	-	-	-	-
Hexaclorobenzeno	118-74-1	na	0,003(3)	0,005	0,1	1	1*
Etanos clorados							
1,1-Dicloroetano	75-34-2	na	-	8,5	20	25	280
1,2-Dicloroetano	107-06-2	na	0,075	0,15	0,25	0,50	10*
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	na	-	11	11	25	280
Etenos clorados							
Cloreto de vinila	75-01-4	na	0,003	0,005	0,003	0,008	5*
1,1-Dicloroetano	75-35-4	na	-	5	3	8	30*
1,2-Dicloroetano - cis	156-59-2	na	-	1,5	2,5	4	(b)
1,2-Dicloroetano - trans	156-60-5	na	-	4	8	11	(b)
Tricloroetano – TCE	79-01-6	na	0,0078	7	7	22	70*
Tetracloroetano – PCE	127-18-4	na	0,054	4	5	13	40*
Metanos clorados							
Cloreto de Metileno	75-09-2	na	0,018	4,5	9	15	20*
Clorofórmio	67-66-3	na	1,75	3,5	5	8,5	200
Tetracloroetano de carbono	56-23-5	na	0,17	0,5	0,7	1,3	2*
Fenóis clorados							
2-Clorofenol (o)	95-57-8	na	0,055	0,5	1,5	2	10,5
2,4-Diclorofenol	120-83-2	na	0,031	1,5	4	6	10,5
3,4-Diclorofenol	95-77-2	na	0,051	1	3	6	10,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	na	0,11	-	-	-	10,5
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	na	1,5	3	10	20	200*
2,3,4,5-Tetraclorofenol	4901-51-3	na	0,092	7	25	50	10,5
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	na	0,011	1	3,5	7,5	10,5
Pentaclorofenol (PCP)	58-90-2	na	0,16	0,35	1,3	3	9*

Substâncias	CAS nº	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Fenóis não clorados							
Cresóis	-	na	0,16	6	14	19	175
Fenol	108-95-2	na	0,20	5	10	15	140
Ésteres ftálicos							
Dietilxil ftalato (DEHP)	117-81-7	na	0,6	1,2	4	10	8
Dimetil ftalato	131-11-3	na	0,25	0,5	1,6	3	14
Di-n-butil ftalato	84-74-2	na	0,7	-	-	-	-
Pesticidas organoclorados							
Aldrin	309-00-2	na	0,015	0,003	0,01	0,03	(d)*
Dieldrin	60-57-1	na	0,043	0,2	0,6	1,3	(d)*
Endrin	72-20-8	na	0,001	0,4	1,5	2,5	0,6*
DDT	50-29-3	na	0,010	0,55	2	5	(c)*
DDD	72-54-8	na	0,013	0,8	3	7	(c)*
DDE	72-55-9	na	0,021	0,3	1	3	(c)*
HCH beta	319-85-7	na	0,011	0,03	0,1	5	0,07
HCH – gama (Lindano)	58-89-9	na	0,001	0,02	0,07	1,5	2*
PCBs							
TOTAL	-	na	0,0003 (3)	0,01	0,03	0,12	3,5

(1) – Para comparação com valores orientadores, utilizar as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da USEPA–SW–846 ou outro procedimento equivalente, para digestão ácida de amostras de solos na determinação das substâncias inorgânicas por técnicas espectrométricas.

E - a ser definido pelo Estado.

na - não se aplica para substâncias orgânicas.

(a) somatória para triclorobenzenos = 20 µg.L-1.

(b) somatória para 1,2 dicloroetenos; = 50 µg.L-1.

(c) somatória para DDT-DDD-DDE = 2 µg.L-1.

(d) somatória para Aldrin e Dieldrin = 0,03 µg.L-1.

* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 3).

** Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 5) e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Adaptado de: CETESB, SP. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. DOE, Poder Executivo, SP, 3/12/2005, seção 1, v.115, n.227, p.22-23. Retificação no DOE, 13/12/2005, v.115, n.233, p.42.

Fonte: BRASIL, 2009.

Nesta senda, vale destacar que os procedimentos para a avaliação das concentrações de substâncias químicas e controle da qualidade do solo envolvem as seguintes etapas, consoante prescreve o artigo 16 da Resolução CONAMA nº 420/09, que segue reproduzido.

Art. 16. São procedimentos para avaliação das concentrações de substâncias químicas e controle da qualidade do solo, dentre outros:

I - realização de amostragens e ensaios de campo ou laboratoriais, de acordo com os artigos 17, 18 e 19;

II - classificação da qualidade do solo conforme artigo 13; e,

III - adoção das ações requeridas conforme estabelecido no artigo 20. (BRASIL, 2009).

Nesta senda, em seu artigo 13, a supracitada Resolução estipula as seguintes classes de qualidade dos solos, de acordo com as concentrações das substâncias químicas, a fim de poder posteriormente determinar os procedimentos de prevenção e qualidade do solo a serem adotados, e avaliar a necessidade de realização de gerenciamento de áreas contaminadas.

Art. 13. Ficam estabelecidas as seguintes classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas:

I - Classe 1 - Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;

II - Classe 2 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;

III - Classe 3 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI; e,

IV - Classe 4 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI. (BRASIL, 2009).

Em sequência ao enquadramento do solo na referida classificação, poderão ser verificados os procedimentos de prevenção e qualidade do solo que deverão ser adotados, vide artigo 20 da Resolução em comento, que segue reproduzido.

Art. 20. Após a classificação do solo deverão ser observados os seguintes procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo:

I - Classe 1: não requer ações;

II - Classe 2: poderá requerer uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos de ações preventivas de controle, quando couber, não envolvendo necessariamente investigação;

III - Classe 3: requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea;

IV - Classe 4: requer as ações estabelecidas no Capítulo IV. (BRASIL, 2009).

Em sendo assim, conclui-se que em havendo concentrações no solo de quaisquer substâncias acima do Valor de Investigação, haverá que se realizar o procedimento de gerenciamento de áreas contaminadas, que possui os objetivos de eliminação ou redução do risco à saúde humana e ao meio ambiente, evitar danos ambientais e ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação, assim como possibilitar o uso declarado ou futuro da área, em consonância com o planejamento de uso e ocupação do solo.

Ainda, há que se destacar que o artigo 15 da supramencionada Resolução preconiza que se houver a disposição de resíduos e aplicações de efluentes no solo, as concentrações químicas no solo não poderão ultrapassar os respectivos Valores de Prevenção (BRASIL, 2009).

A forma de prevenir e controlar a qualidade de solo em empreendimentos que desenvolvam atividades com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas, consistirá na implementação de programas de monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento, e quando constatada necessidade em sua área de influência direta e nas águas superficiais, vide redação do artigo 14, inciso I (BRASIL, 2009).

Art. 14. Com vista à prevenção e controle da qualidade do solo, os empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas deverão, a critério do órgão ambiental competente:

I - implantar programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento e, quando necessário, na sua área de influência direta e nas águas superficiais; e,

II - apresentar relatório técnico conclusivo sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas, a cada solicitação de renovação de licença e previamente ao encerramento das atividades.

§ 1º Os órgãos ambientais competentes publicarão a relação das atividades com potencial de contaminação dos solos e das águas subterrâneas, com fins de orientação das ações de prevenção e controle da qualidade do solo, com base nas atividades previstas na Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000.

§ 2º O programa de monitoramento para as águas subterrâneas, bem como o relatório técnico, mencionados nos incisos I e II, deverão ser estabelecidos observadas as ações implementadas no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH. (BRASIL, 2009).

Portanto, no caso de uma Granja que desenvolve atividade de suinocultura com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas, o recomendável é que possua programas de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas, nos termos do supracitado artigo 14 da Resolução CONAMA nº 420/09, principalmente se houver utilização dos dejetos como insumo agrônomico e sua disposição em áreas agrícolas (BRASIL, 2009).

Cabe observar ainda que a CETESB publicou em 2016 a DD nº 256 (CETESB, 2016), que contém a atualização dos Valores Orientadores para o Estado de São Paulo, que são apresentados no Anexo A. Neste Estado, os valores de investigação são denominados de valores de intervenção, conforme definido na Lei nº 13577/09 (São Paulo, 2009).

4.1.1.2. Resolução CONAMA nº 481/2017

A Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017, tem como objeto estabelecer critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dar outras providências (BRASIL, 2017).

A supracitada Resolução não se aplica a processos de compostagem de baixo impacto ambiental, desde que o composto seja para uso próprio ou quando comercializado diretamente com o consumidor final, independentemente do cumprimento do disposto na legislação específica quanto às exigências relativas ao

uso e à aplicação segura, sendo que o órgão ambiental competente que definirá os limites de baixo impacto ambiental consideração parâmetros mínimos como origem dos resíduos, segregação prévia, quantidade de resíduos compostados por dia (escala), tipo de processo, dentre outros, vide §1º e §2º do seu artigo 1º (BRASIL, 2017).

No mais, a Resolução em comento menciona em seu artigo 3º que no processo de compostagem, poderão ser usados resíduos orgânicos *in natura* ou posteriormente a algum tratamento, sendo que o seu §1º autoriza a adição de lodos de estações de tratamento de esgoto sanitário, desde que com autorização prévia do órgão ambiental competente e respeitada a legislação pertinente (BRASIL, 2017).

Na Seção II da Resolução CONAMA nº 481/17 que trata “Da Qualidade Ambiental do Processo”, os artigos 7º e 8º determinam critérios para caso o composto seja utilizado no solo como insumo agrícola, inclusive com o destaque da necessidade de atendimento aos parâmetros de qualidade ambiental, consoante se verifica abaixo:

Art. 7º O composto, para ser produzido, comercializado e utilizado no solo como insumo agrícola deverá, além de atender o previsto nesta Resolução, o que estabelece a legislação pertinente.

§1º O composto que não for comercializado nos termos da legislação pertinente também deverá atender aos padrões de qualidade estabelecidos pelo MAPA.

§2º Os lotes de composto que não atenderem aos parâmetros de qualidade ambiental estabelecidos na legislação pertinente, à exceção das substâncias inorgânicas, poderão ser reprocessados para que se adequem aos requisitos mínimos exigidos.

§3º Quando não for possível o reprocessamento, os lotes deverão ser encaminhados para destinação final ambientalmente adequada.

Art. 8º O composto deverá ser peneirado com malha de abertura máxima de 40 mm, com exceção do composto destinado à fabricação de substratos para plantas, condicionadores de solos e como matéria-prima para a fabricação de fertilizantes organominerais. (BRASIL, 2017)

A Seção III que cuida “Do Controle Ambiental” estipula em seu artigo 10º requisitos mínimos de prevenção e controle ambiental, que seguem abaixo reproduzidos, dos quais merece destaque a recomendação de monitoramento ambiental das águas

subterrâneas na área ocupada pelo empreendimento, a ser estipulado a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2017).

Art. 10. As unidades de compostagem devem atender aos seguintes requisitos mínimos de prevenção e controle ambiental:

I - adoção das medidas de controle ambiental necessárias para minimizar lixiviados e emissão de odores e evitar a geração de chorume;

II - proteção do solo por meio da impermeabilização de base e instalação de sistemas de coleta, manejo e tratamento dos líquidos lixiviados gerados, bem como o manejo das águas pluviais;

III - implantação de sistema de recepção e armazenamento de resíduos orgânicos in natura garantindo o controle de odores, de geração de líquidos, de vetores e de incômodos à comunidade;

IV - adoção de medidas de isolamento e sinalização da área, sendo proibido o acesso de pessoas não autorizadas e animais;

V - controle dos tipos e das características dos resíduos a serem tratados;

VI - controle da destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e líquidos gerados pela unidade de compostagem.

Parágrafo único. Quando aplicável, a critério do órgão ambiental competente, deverá ser realizado o monitoramento ambiental da água subterrânea da área ocupada pelo empreendimento.

Portanto, verifica-se que as Granjas que realizem a compostagem como método de tratamento anterior à disposição dos dejetos de suínos no solo como insumo agrônomico, aplicam-se as disposições da Resolução CONAMA nº 481/2017 (BRASIL, 2017).

4.1.1.3. Resolução CONAMA nº 498/2020

A Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020, que trata de critérios de aplicação de biofóssido em solos, pode ser utilizada como referência para criação de critérios e parâmetros para monitoramento e caracterização do material a ser aplicado no solo, bem como do monitoramento deste para prevenção de impactos.

A Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020, que define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biofóssido em solos, revogou as de nº

375/2006 e a de nº 380/2006, que estipulavam critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

Destaque-se que bioossólido pela definição constante do inciso XIV do artigo 2º da supracitada Resolução consiste no produto do tratamento do lodo de esgoto sanitário que atenda aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos no referido regulamento, e que esteja apto, portanto, a ser aplicado em solos, sendo que o conceito de lodo de esgoto disposto no inciso XIII, do supracitado regulamento, reside no “resíduo sólido gerado no processo de tratamento de esgoto sanitário, por processos de decantação primária, biológico ou químico, não incluindo resíduos sólidos removidos de desarenadores, de gradeamento e peneiramento” (BRASIL, 2020).

Por esta Resolução, em uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente, será realizado o gerenciamento para a transformação do lodo gerado por uma ou mais Estações de Tratamento de Esgoto – ETE em bioossólido, com o objetivo de utilização em solos, de acordo com estipulados no regulamento em comento, consoante prescrito em seu inciso XXVII, do artigo 2º (BRASIL, 2020).

O artigo 7º⁷ da Resolução estipula os requisitos do Plano de Gerenciamento da UGL que terá de possuir descrição minuciosa do processo de gerenciamento do lodo de

⁷ Art. 7º O Plano de Gerenciamento da UGL deve conter a descrição do processo de gerenciamento do lodo de esgoto sanitário, desde a etapa de geração do lodo, de tratamento até à de aplicação do bioossólido em solos, incluindo o seguinte conteúdo:

- I - método de redução de patógenos e de atratividade de vetores;
- II - frequência de monitoramento e indicação dos parâmetros de controle operacional dos processos de redução de patógenos e de atratividade de vetores;
- III - plano e método de amostragem para obtenção de amostras representativas de bioossólido;
- IV - frequência de formação de lotes ou frequência de monitoramento de qualidade do bioossólido;
- V - qualidade prevista do bioossólidos a ser destinado para uso em solos;
- VI - métodos de análises laboratoriais de lodo, bioossólido e solo;
- VII - região e/ou área(s) prioritária(s) de aplicação;
- VIII - método e a forma de prestação de informação à população da localidade receptora sobre:
 - a) benefícios ao solo e às plantas;
 - b) riscos de contaminação ambiental e à saúde humana;
 - c) tipo e classe de bioossólido empregado;
 - d) critérios de aplicação do bioossólido;
 - e) procedimentos para evitar a contaminação do meio ambiente e do ser humano por organismos patogênicos; e
 - f) controle de proliferação de animais vetores.
- IX - descrição do conteúdo dos projetos das áreas de aplicação;

esgoto sanitário, desde a etapa de geração do lodo de esgoto sanitário até a sua aplicação no solo, do qual merece destaque a exigência do método de redução de patógenos e de atratividade de vetores, frequência de monitoramento e indicação dos parâmetros de controle operacional dos processos de redução de patógenos e de atratividade de vetores, plano e método de amostragem para obtenção de amostras representativas de bio sólido; frequência de formação de lotes ou frequência de monitoramento de qualidade do bio sólido; qualidade prevista do bio sólidos a ser destinado para uso em solos, métodos de análises laboratoriais de lodo, bio sólido e solo (BRASIL, 2020).

Nesta senda, a Seção II da Resolução CONAMA nº 498/2020 denominada “Da Qualidade do Bio sólido a ser Destinado para Uso em Solos”, estipula em seu artigo 8º quais os aspectos que deverão ser incluídos para a caracterização do bio sólido a ser usado em solos, quais sejam: potencial agrônômico; redução de atratividade de vetores; substâncias químicas; e, qualidade microbiológica (BRASIL, 2020).

Há que se ressaltar que a Resolução CONAMA nº 498/2020 dividiu em classes A e B o bio sólido, e varia o seu enquadramento em função dos limites máximos de *Escherichia coli* por grama de sólidos totais ou de processos de redução de patógenos, vide artigo 9º abaixo reproduzido, o que impactará na definição do seu uso permitido, consoante se verifica na Seção IV “Das Restrições de Usos de Bio sólidos em Solos” (BRASIL, 2020).

Art. 9º O bio sólido a ser destinado para uso, em solos, será classificado em Classe A ou Classe B, de acordo com os requisitos definidos neste artigo.

§ 1º Para que o bio sólido seja classificado como Classe A, deverá atender ao limite máximo de 103 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais (g-1 de ST) e ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos descritos na Tabela 1, com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais.

§ 2º Para que o bio sólido seja classificado como Classe B, deverá atender ao limite máximo de 106 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais (g-1 de ST) ou ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos descritos na Tabela 2, com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais. (BRASIL, 2020).

X - descrição dos procedimentos de carregamento, transporte e aplicação do bio sólido nas áreas de aplicação (BRASIL, 2020).

.Ademais, os bioossólidos para uso em solos será classificado em Classe 1 ou Classe 2, em função dos valores máximos de substâncias químicas a serem monitoradas, apresentadas na Tabela 3 do artigo 10º da Resolução CONAMA nº 498/2020, que segue abaixo reproduzida, que não poderão exceder os limites impostos em quaisquer das amostras analisadas (BRASIL, 2020).

Tabela 7 – Valores máximos permitidos de substâncias químicas no bioossólido a ser destinado para uso, em solos.

Substâncias Químicas	Valor Máximo permitido no bioossólido (mg/kg ⁻¹ ST)	
	CLASSE 1	CLASSE 2
Arsênio	41	75
Bário	1300	1300
Cádmio	39	85
Chumbo	300	840
Cobre	1.500	4.300
Cromo	1.000	3.000
Merúrio	17	57
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	36	100
Zinco	2.800	7.500

Fonte: BRASIL, 2020.

Quanto ao bioossólido Classe 2, haverá restrição para sua aplicação em solo, que será condicionada à taxa máxima anual e à carga máxima acumulada não excederem os limites apresentados na Tabela 4, que segue abaixo reproduzida, do artigo 10º, parágrafo único da Resolução em comento (BRASIL, 2020).

Tabela 8 – Taxa máxima anual e carga máxima acumulada de substâncias químicas em solos quando do uso do bioossólido Classe 2

Substâncias químicas	Taxa máxima anual (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Carga máxima acumulada (kg ha ⁻¹)	
		Solos de áreas degradadas	Solos de áreas não degradadas
Arsênio	2	20	41
Bário	13	130	260
Cádmio	1,9	19	39
Cromo	150	1500	3000
Cobre	75	750	1500
Chumbo	15	150	300
Merúrio	0,85	8,5	17
Molibdênio	0,65	6,5	13
Níquel	21	210	420
Selênio	5	50	100
Zinco	140	1400	2800

Fonte: BRASIL, 2020.

Ademais, para uso em solos o bioossólido deverá atender a pelo menos um dos critérios de redução de atratividade de vetores que constam da Tabela 5 do artigo 11 da Resolução CONAMA em pauta, com a comprovação do atendimento dos respectivos parâmetros operacionais ou de variáveis de controle de qualidade do bioossólido tratado, sendo que no não atendimento de quaisquer dos limites e critérios, o lodo de esgoto de esgoto sanitário deverá ter outra forma de destinação final ambientalmente adequada, consoante artigo 12 do referido regulamento (BRASIL, 2020).

O órgão ambiental competente também poderá incluir por prazo determinado substâncias químicas orgânicas potencialmente tóxicas no monitoramento ou na caracterização dos lotes de bioossólido, com a determinação de frequência de monitoramento, de acordo com as características específicas da bacia de esgotamento sanitário e dos efluentes recebidos nas ETEs que destinam lodo de esgoto à UGL, vide artigo 13 da referida Resolução (BRASIL, 2020).

A frequência de monitoramento das substâncias químicas, qualidade microbiológica e parâmetros de controle operacional dos processos de redução de patógenos e atratividade de vetores do bioossólido, a ser destinado de forma contínua para utilização em solos, será feita de acordo com a quantidade de bioossólido, sem quantificar a adição de outros materiais, em regra, de acordo com a Tabela 6 do artigo 17 da Resolução CONAMA nº 498/2020, que segue abaixo reproduzida (BRASIL, 2020).

Tabela 9 - Frequência de monitoramento de bioossólido a ser destinado para uso em solos, em termos de sólidos totais (t ano⁻¹ ST).

Quantidade de bioossólido a ser destinado para uso em solos (t ano ⁻¹ ST)	Frequência de monitoramento
Até 60	Anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo bioossólido
De 60 a 240	Semestral, preferencialmente anterior aos períodos de maior demanda pelo bioossólido
De 240 a 1.500	Trimestral
De 1.500 a 15.000	Bimestral
Acima 15.000	Mensal

Fonte: BRASIL, 2020.

A Seção IV denominada “Das Restrições de Usos de Bio sólido em Solos” listam os usos permitidos respectivas restrições para as Classes A e B em seus artigos 20 a 22 que seguem abaixo reproduzidos (BRASIL, 2020).

Art. 20. O bio sólido Classe A poderá ser aplicado em solos para os usos listados na Tabela 7, observadas as respectivas restrições.

§ 1º. Não há restrição no que se refere ao tempo entre a aplicação do bio sólido Classe A e o cultivo ou colheita nas seguintes situações:

I - Produtos alimentícios que não têm contato com o solo;

II - Produtos alimentícios que não são consumidos crus;

III - Produtos não alimentícios.

§ 2º. Não há restrição para aplicação de bio sólido Classe A em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas.

Tabela 7. Usos permitidos e respectivas restrições para bio sólido Classe A.

Tabela 7. Usos permitidos e respectivas restrições para bio sólido Classe A.

Uso	Restrição
Cultivo de alimentos consumidos crus e cuja parte comestível tenha contato com o solo	Não aplicar o bio sólido 1 mês antes do período de colheita.
Pastagens e Forrageiras	Não aplicar o bio sólido 1 mês antes do período de colheita de forrageiras e do pastejo.

Art. 21. O bio sólido Classe B poderá ser aplicado em solos para os usos listados na Tabela 8, observadas as respectivas restrições.

§ 1º É proibida a utilização de bio sólido Classe B no cultivo de produtos alimentícios que possam ser consumidos crus.

§ 2º Em áreas que tenham recebido a aplicação de bio sólido classe B deverá ser observado o prazo mínimo de 6 meses antes do cultivo, com bio sólido classe A ou sem uso de bio sólido, de produtos alimentícios que possam ser consumidos crus.

§ 3º Não há restrição para aplicação de bio sólido Classe B em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas.

Tabela 8. Usos permitidos e respectivas restrições para bio sólido Classe B.

Tabela 8. Usos permitidos e respectivas restrições para biofóssido Classe B.

Uso	Restrição
Cultivo de produtos alimentícios que não sejam consumidos crus e produtos não alimentícios.	Não aplicar o biofóssido 4 meses antes do período de colheita.
Pastagens e forrageiras	Não aplicar o biofóssido 2 meses antes do pastejo. Não aplicar o biofóssido 4 meses antes do período de colheita de forrageiras.
Árvores frutíferas	Aplicação deve ser realizada após a colheita.

Art. 22. Fica autorizado o uso de biofóssido de qualquer classe e em quaisquer culturas, para fins de pesquisa, bem como uso em solos para o cultivo de cortinas verdes, jardins e gramados em áreas de ETEs ou UGLs, desde que cumpram os preceitos de segurança desta norma e demais legislações aplicáveis. (BRASIL, 2020)

No mais, é importante destacar que existem restrições locais para a aplicação do biofóssido que constam dispostas no artigo 23 da supracitada Resolução, que apesar de autorizar a aplicação em áreas degradadas e protegidas, permite para Unidade de Conservação Integral apenas do tipo Classe A1, e proíbe em Áreas de Preservação Permanente, ao passo que no artigo 24 possibilita que os órgãos ambientais definam áreas específicas como inadequadas, mediante decisão motivada (BRASIL, 2020).

O artigo 25 da referida Resolução prescreve que para o uso de biofóssido em solos deverá ser apresentado projeto para as áreas de aplicação, firmado por profissional devidamente habilitado, que atenda aos critérios e procedimentos determinados no referido regulamento (BRASIL, 2020).

Quanto ao monitoramento das áreas de aplicação do biofóssido veja que o artigo 31 da Resolução CONAMA nº 498/2020 prescreve que o solo também deverá ser caracterizado antes da sua aplicação no que concerne aos seguintes quesitos:

Seção IX

Do Monitoramento das Áreas de Aplicação do Biofóssido

Art. 31. O solo que receberá o biofóssido deverá ser caracterizado antes da sua aplicação no que se refere a:

- I - parâmetros de fertilidade do solo;

II - teor de sódio trocável e condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação do solo em regiões que apresentem solos salinos, salino-sódicos e sódicos, e para estes casos, o órgão ambiental competente estabelecerá um limite acima do qual não será permitida a aplicação do biossólido;

III – substâncias químicas, a cada aplicação, sempre que estas forem consideradas limitantes da dose de aplicação do biossólido no solo. (BRASIL, 2020)

Sobremais, o artigo 32 da supracitada Seção da Resolução também prescreve que em sendo constatados danos ambientais ou à saúde pública, a aplicação de biossólido em solos deverá ser obrigatoriamente interrompida nos locais em que forem verificados (BRASIL, 2020).

4.2. ESTADO DE SÃO PAULO

A atividade de suinocultura é licenciável no Estado de São Paulo desde 20 de março de 2018, quando o Decreto Estadual nº 63.119/17 passou a vigorar, a despeito de ainda não haver diretrizes específicas para o setor no que concerne ao aproveitamento dos dejetos como insumo agrônomo, desde 2010 existem normas na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para aplicação de efluentes e lodos em solo agrícola, que podem ser utilizadas como referência para a prevenção de impactos ambientais e monitoramento da qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

A Norma Técnica P4-002, de Maio/2010, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), tem como objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para armazenamento, transporte e aplicação, em solo agrícola, de efluentes líquidos e lodos fluidos gerados pela atividade de processamento de frutas cítricas no Estado de São Paulo, a fim de minimizar o risco de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas (CETESB, 2010, p. 2, a).

Vale destacar que nas considerações gerais, no item 4.1. da referida norma, o órgão ambiental menciona que as principais preocupações com o uso de efluentes e lodos fluidos da indústria cítrica para aplicação no solo referem-se ao risco de salinização

do solo, contaminação de águas subterrâneas e veiculação de doenças (CETESB, 2010, p. 7, a).

Veja que são muitos os critérios de caracterização e condicionantes dos efluentes e lodos fluidos, para que seja possível a sua disposição no solo, consoante item 5 da Norma Técnica P4-002, de Maio/2010, e que inclusive exige tratamento prévio com o objetivo de reduzir agentes patogênicos, caso efluentes sanitários sejam misturados aos efluentes industriais brutos (CETESB, 2010, p. 8, a).

5 Caracterização e Condicionantes dos Efluentes e Lodos Fluidos

5.1 Caracterização dos efluentes

5.1.1 Deverá ser realizada a caracterização qualitativa e quantitativa do efluente, por meio de, no mínimo, três campanhas de amostragens: no início, meio e final da safra.

5.1.1.1 Cada campanha deverá ser realizada por meio de coleta de uma amostra composta no período de 24 horas com alíquotas proporcionais à vazão e coletadas a cada hora.

5.1.2 Em campo deverão ser mensurados:

a) condutividade elétrica, pH, temperatura do efluente e do ar e vazão do efluente no momento da coleta de cada alíquota; e

b) resíduo sedimentável em, no mínimo, 2 alíquotas de cada amostra.

5.1.3 Em laboratório deverão ser determinados nas amostras compostas: sólidos dissolvidos totais, série nitrogenada completa (N-Kjeldahl, N-Amoniacal, N-Nitrato, N-Nitrito), alumínio, sódio, cálcio, potássio, magnésio, bário, boro, fluoreto, carbono orgânico total – COT, sulfeto, sulfato, cloreto, fósforo total, ferro, zinco, níquel, manganês, cobre, cádmio, chumbo, crômio e mercúrio. Os resultados de metais deverão ser expressos em teores totais.

5.1.3.1 No caso de haver mistura de efluente sanitário com o efluente industrial, deverão ser determinados também coliformes termotolerantes e contagem de ovos viáveis de helmintos.

5.1.4 Os requisitos para análises laboratoriais e apresentação de resultados estão especificados no **item 11** desta norma.

5.1.5 No caso de indústrias novas, poderão ser aceitos, para fins de projeto inicial, dados de caracterização de efluentes de indústrias com processos semelhantes.

5.2 Caracterização dos lodos fluidos

5.2.1 A caracterização deverá ser baseada nos resultados de, no mínimo, três amostras compostas, coletadas em datas diferentes, de modo a representar as características de variabilidade do lodo. O procedimento de amostragem deverá obedecer ao especificado na norma da ABNT, NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos.

5.2.2 A caracterização do Lodo Fluido deverá contemplar:

5.2.2.1 Carbono orgânico, fósforo total, série nitrogenada completa (N-Kjeldahl, N-Amoniacal, N-Nitrato, N-Nitrito), pH, potássio, sódio total, enxofre, cálcio, magnésio, teor de sólidos, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, crômio, mercúrio, níquel, zinco e, ainda, caso haja mistura com esgoto sanitário, coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e Salmonellas. Os resultados de metais deverão ser expressos em teores totais.

5.2.3 Os requisitos para análises laboratoriais e apresentação de resultados estão especificados no item 11 desta norma. (CETESB, 2010, p. 8-9, a).

Neste diapasão, o item 5.3.1., da Norma Técnica em pauta, denominado “Condicionantes dos Efluentes e dos Lodos Fluidos” estabelece quais os requisitos para a aplicação dos efluentes em solo agrícola, inclusive as concentrações médias anuais máximas permitidas de substâncias no seu item 5.3.2. (CETESB, 2010, p. 9-10, a), vide Tabela 9 que segue abaixo reproduzida.

Tabela 10 – Concentrações medidas anuais máximas permitidas no efluente a ser aplicado em solo agrícola

SUBSTANCIAS	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
Boro	0,5
Cádmio	0,01
Chumbo	0,5*
Cloreto	100 – 700**
Cobre	0,2
Crômio	0,1
Fluoreto	1,0***
Mercúrio	0,002
Níquel	0,2
Zinco	2,0
Nitrogênio-Nitrato	10,0 ****
Sódio	69,0 ***

Fonte: Resolução CONAMA 396/08 para água de irrigação

Fonte: CETESB, 2010, p. 10, a.

Destaque-se que caso haja mistura de esgotos sanitários da unidade industrial, os efluentes tratados deverão atender aos limites microbiológicos constantes da Tabela acima da “Orientação para apresentação de projeto visando à aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura” da CETESB, conforme item 5.3.3. da Norma Técnica P4002/2010 da CETESB (CETESB, 2010, p. 10, a).

Quanto ao lodo fluido gerado de tratamento de efluentes brutos que possuam esgotos sanitários da unidade industrial, o item 5.3.5. da supramencionada Norma Técnica dispõe que necessitará obedecer os critérios mínimos de qualidade para reciclagem na agricultura, para densidade dos indicadores de patogenicidade Coliformes Termotolerantes, Ovos Viáveis de Helmintos e *Salmonellas*, expressos com base no teor de sólidos secos, estabelecidos pela Tabela 3 da Seção III, Art. 11 da Resolução CONAMA 375, de 29/08/2006, que foi revogada (CETESB, 2010, p. 10, a).

Ademais, há que se ressaltar que o item 6.3. trata apenas dos “Critérios para a seleção de áreas de aplicação” e veda a disposição no solo dos efluentes e lodo fluido em áreas de Preservação Permanente, reserva legal, Área de Proteção Ambiental – APA, Área de Proteção e Recuperação de Mananciais – ARPM, não ser área de domínio de rodovias federais ou estaduais, ou de proteção de poços, ou ao menos com o mínimo de 100 metros de distância do poço, exige afastamento mínimo de 500 (quinhentos) metros do perímetro urbano para não gerar incômodos à vizinha, estar a no mínimo 06 metros de distância de APPs e com proteção por terraços de segurança; declividade máxima de 15% para aplicação com medidas protetivas para erosão, distância dos tanques de armazenamento de pelo menos 200 metros de coleções hídricas ou cursos d’água, profundidade de nível de aquífero livre, medido no final da estação das chuvas, terá de ser de no mínimo 2 (dois) metros, e, por fim, as áreas de aplicação de efluentes não poderão ser as mesmas que de lodo fluido (CETESB, 2010, p. 11, a).

O item 6.4. da supracitada norma que tem como tema “Critérios relativos à geologia e hidrogeologia” determina os critérios para realização das amostragens nos poços de monitoramento que deverão ser instalados, bem como os parâmetros de monitoramento das águas subterrâneas, consoante itens que merecem destaque abaixo elencados:

6.4.1 A água subterrânea, nas áreas pretendidas para aplicação de efluente deverá apresentar concentrações de nitrogênio nitrato, calculadas com base no 3º quartil dos resultados das análises químicas das amostras dos diferentes poços de monitoramento, inferiores a 5mg/L. Para as demais substâncias químicas, detectadas no efluente, as concentrações na água subterrânea deverão ser inferiores aos respectivos valores de intervenção estabelecidos pela Decisão de Diretoria nº 0195-2005- E da CETESB, exceto alumínio, ferro e manganês.

(...)

6.4.3 O número de poços a serem instalados e das sondagens, suas localizações e a posição dos filtros dependerá da geologia local, do estudo hidrogeológico e do modelo conceitual desenvolvido para a área, devendo possibilitar a obtenção de informações representativas da qualidade da água antes e após o início das aplicações. As amostras devem ser caracterizadas para os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, dureza total, resíduo filtrável, sólidos totais dissolvidos, carbono orgânico total, alumínio, arsênio, boro, cádmio, cálcio, chumbo, cloreto, cromo, ferro total, fósforo total, fluoreto, magnésio, manganês, mercúrio, série nitrogenada completa (N-Kjeldahl, N-Amoniacal, N-Nitrato, NNitrito), potássio, sódio e sulfato. (CETESB, 2010, p. 11-12, a).

No que tange aos “Critérios relativos ao solo” dispostos no item 6.5. da norma em comento, são estipulados critérios para as amostragens, assim como os parâmetros a serem analisados tanto da ótica da fertilidade do solo, quanto das substâncias químicas que podem ocasionar impactos ambientais, consoante excertos que seguem reproduzidos:

d) Executar nas amostras coletadas as análises padrão de fertilidade de solo conforme rotina do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC): [pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%)], incluindo Na trocável, sulfato, e condutividade elétrica e determinar a granulometria para classificação da textura.

e) Determinar nas amostras coletadas as seguintes substâncias químicas: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, crômio, mercúrio, níquel, selênio e zinco, utilizando as metodologias de extração 3050 ou 3051, descritas no manual SW846 online (UNITED STATES, 1980-2009). (CETESB, 2010, p. 12-13, a).

Haverá de ser elaborado um Projeto de Aplicação de Efluentes e dos lodos fluidos em Solo Agrícola, que deverá conter a caracterização dos efluentes, área de aplicação, planta do sistema de aplicação de efluentes, memória de cálculo do manejo da aplicação, com atenção especial às concentrações de nitrogênio nitrato e restrição de sua aplicação por aspersão, assim como para uso somente em pomares, culturas que não são consumidas cruas, forrageiras (exceto para pastejo direto), áreas de reflorestamento e plantações florestais, quando haja mistura com efluentes sanitários, vide item 7 da Norma Técnica P4002/2010 (CETESB, 2010, p. 13-14, a).

Ainda, terão de ser previstas no referido Plano medidas de manejo para épocas de chuvas prolongadas ou de alta intensidade, a fim de prevenir impactos ambientais, consoante disposto no item 7.3. da supracitada norma (CETESB, 2010, p. 14-15, a), e há limitação no item 7.2.5. para a aplicação anual de lodos fluidos, consoante segue abaixo reproduzido:

7.2.5 A aplicação de lodos fluidos, conforme definido abaixo, fica limitada a taxa máxima anual de 500 m³ por hectare, 50mm de lâmina de molhamento do solo, desde que o seu valor equivalente em sólidos secos não seja maior do que o valor calculado de acordo com Resolução CONAMA375, de 29/08/2006:

- a) A aplicação máxima anual de sólidos secos não deverá exceder o quociente entre quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha), segundo recomendação agronômica oficial do Estado de São Paulo, e o teor de nitrogênio disponível no lodo fluido calculado de acordo com o Anexo III da Resolução CONAMA 375, de 29/08/2006;
- b) O cálculo da taxa de aplicação máxima anual deverá levar em conta resultados de ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo fluido, constante do Anexo II, item 6 da Resolução CONAMA 375 de 29/08/2006, no solo predominante da região de aplicação, de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo fluido não ultrapasse o limite de 7,0; e
- c) Observância dos limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas, considerando a Tabela 4 da Seção VII, Artigo 17 da Resolução CONAMA 375 de 29/08/2006. (CETESB, 2010, p. 14-15).

No que concerne ao Plano de Monitoramento, o item 8 da Norma Técnica P4004-2010 prevê as frequências em que deverão ser realizadas as amostragens tanto da composição química do efluente e do lodo fluido, dos solos, águas subterrâneas, nos seguintes parâmetros, consoante se observa abaixo:

8.1 Efluente e lodo fluido

8.1.1 Monitoramento anual da composição química do efluente e do lodo fluido de acordo com o **item 5** desta Norma.

8.2 Solos

8.2.1 Áreas de aplicação de efluentes

8.2.1.1 Monitoramento semestral (início e final de safra) de fertilidade de solo conforme rotina do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) ([pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sulfato, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%)], Sódio trocável e condutividade elétrica. Deverão ser observados os procedimentos descritos no **item 6.4.3** desta Norma.

8.2.1.2 Se em amostras de solo das seguintes substâncias: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, crômio, mercúrio, níquel e zinco, utilizando as metodologias de extração 3050 ou 3051, seguindo o manual SW-846 on line (UNITED STATES, 1980-2009), (seguindo o plano de amostragem constante do **item 6.4.3** e conforme a seguinte frequência:

a) A cada 3 anos de aplicação, ou **b)** Anualmente, caso os resultados obtidos, na caracterização da área ou no monitoramento, para qualquer uma das substâncias acima, apresentem concentrações igual ou superior a 80% do valor de prevenção publicados pela CETESB.

8.2.2 Áreas de aplicação de lodo fluido

8.2.2.1 O solo deverá ser monitorado conforme descrito abaixo:

a) O monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo deverá ser realizado, no mínimo, a cada 3 ciclos anuais de aplicação, considerando a taxa máxima anual em cada ciclo.

b) O monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo deverá ser realizado antes de cada aplicação, no caso de lodo fluido com estabilização alcalina.

c) O monitoramento de substâncias inorgânicas no solo deverá ser realizado nos seguintes casos: I - a cada aplicação, sempre que essas substâncias inorgânicas forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação;

II - quando a carga acumulada teórica adicionada para qualquer uma das substâncias inorgânicas monitoradas alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida, estabelecida na Tabela 4, do art. 17 da Resolução CONAMA 375/2006, para verificar se as aplicações subseqüentes são apropriadas; e

III - a cada 5 ciclos anuais de aplicação, considerando a taxa anual permitida para cada ciclo, nas camadas de 0-20 e 20-40cm de profundidade do solo.

8.2.2.2 No caso de haver mistura de efluente líquido gerado no evaporador da fábrica de ração (águas pretas) nos efluentes líquidos a serem aplicados, o solo deverá ser monitorado, a cada 3 ciclos anuais de aplicação, para os Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos: Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo(k)fluoranteno; Indeno(1,2,3-c,d)pireno; Naftaleno; Fenantreno, Lindano, seguindo o manual SW-846 on line (UNITED STATES, 1980-2009).

8.2.3 Deverá ser realizada a comparação dos resultados com os valores orientadores de prevenção publicados pela CETESB, a fim de subsidiar o manejo da aplicação futura.

8.3 Águas subterrâneas

8.3.1 Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, realizado com freqüência semestral (junho/julho e janeiro/fevereiro), no entorno de tanques de armazenamento de efluentes e nas áreas de aplicação dos efluentes, onde a profundidade do nível de água for inferior a 20 (vinte) metros, demonstrada por sondagens, atendendo o **item 6.4.3** desta Norma.

8.3.1.1 A implantação de sistema de detecção de vazamento dos tanques de armazenamento dispensa a instalação de poços de monitoramento no entorno destes.

8.3.2 Monitoramento das águas subterrâneas nas áreas de aplicação de lodo deverá ser executado quando:

a) As concentrações de substâncias detectadas no monitoramento do solo forem iguais ou superiores aos valores de prevenção;

b) A carga acumulada teórica adicionada ao solo, para qualquer uma das substâncias inorgânicas monitoradas, alcançar 100% da carga acumulada teórica permitida.

c) A porcentagem de sódio na Capacidade de Troca Catiônica do solo alcançar 15%.

8.3.3 Os parâmetros a serem mensurados ou determinados em amostras de água subterrânea são: nível da água, pH, condutividade elétrica, dureza total, residuo filtrável, sólidos totais dissolvidos, turbidez, carbono orgânico total, bário, boro, cádmio, cobre, crômio, mercúrio, cálcio, chumbo, cloreto, fluoreto, série nitrogenada completa (amoniacal, nitrito, nitrato, Kjeldahl total), potássio, sódio e sulfato.

8.3.4 Deverá ser realizada a comparação dos resultados analíticos com os:

a) Resultados de amostras coletadas em poços de monitoramento de montante; e **b)** Valores orientadores publicados pela CETESB.

8.4 Em função dos resultados históricos das campanhas de amostragens ou dos resultados dos estudos a que se refere o **item 10** nesta norma, ou ainda de eventuais mudanças de processo, a CETESB aceitará, desde que aprovadas, as justificativas técnicas apresentadas pelo empreendedor, que as freqüências de monitoramento sejam alteradas, bem como que parâmetros mensurados sejam suprimidos.

8.5 A critério da CETESB, poderão ser solicitadas análises específicas para outras substâncias, bem como a caracterização do efluente quanto aos aspectos de toxicidade, desde que justificados tecnicamente. (CETESB, 2010, p. 15-16, a).

Por fim, vale destacar que a Norma Técnica P4002-2010 ainda prevê a necessidade do Acompanhamento da Aplicação que está descrito no seu item 9., no qual são

estipuladas importantes condicionantes para a aplicação e para a sua interrupção, que seguem abaixo reproduzidas, com o fulcro de se evitar danos ambientais.

9.2 Condicionantes para aplicação

9.2.1 As concentrações de substâncias limitantes nos efluentes e lodos fluidos deverão atender às condicionantes descritas no **item 5.3** desta norma.

9.2.2 As concentrações máximas de sódio e potássio no solo não poderão exceder, respectivamente, 6% e 5% da Capacidade de Troca Catiônica – CTC, considerando os resultados obtidos até a profundidade máxima de 2 (dois) metros.

9.2.2.1 Quando esse limite para potássio for atingido, a aplicação de efluentes e lodos fluidos ficará restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura e desde que os teores de potássio não ultrapassem a somatória dos teores de cálcio mais magnésio.

9.2.2.2 Quando esse limite para sódio for atingido, o manejo da área de aplicação de efluentes e lodos fluidos deverá ser modificado, visando à redução da PST no solo e, aumentada a frequência de monitoramento, a critério da CETESB.

9.2.2.3 Quando forem observadas concentrações de nitrogênio nitrato nas águas subterrâneas acima de 5 miligramas de N por litro, o manejo integrado da aplicação de efluente e outras práticas agrícolas deverá ser modificado, visando à redução do nitrogênio.

9.3 Condicionantes para interrupção da aplicação

9.3.1 A aplicação de efluentes e lodos fluidos no solo em cada gleba de manejo deverá ser suspensa quando:

a) A concentração de sódio ultrapassar 15% da Capacidade de Troca Catiônica – CTC nos resultados obtidos, até a profundidade máxima de 2 (dois) metros;

b) As substâncias presentes no efluente ou lodo fluido apresentarem concentrações, no solo, acima dos Valores de Prevenção para solo estabelecidos pela CETESB;

c) Ocorrerem concentrações de substâncias nas águas subterrâneas estatisticamente comprovadas acima dos respectivos Valores de Intervenção. Nestes casos, a CETESB comunicará o fato à Vigilância Sanitária para ações pertinentes daquele órgão, quando existirem poços de abastecimento no entorno, em consonância com a articulação prevista no Decreto Estadual nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991, sem prejuízo de suas atribuições legais.

9.3.2 A retomada da atividade de aplicação de efluentes e lodos fluidos dependerá de parecer técnico da CETESB, mediante comprovação, por parte do interessado, de que foi superado o fato que determinou a suspensão da aplicação, conforme **item 9.3.1**. (CETESB, 2010, p. 17-18, a).

E no mesmo sentido, a Decisão de Diretoria nº 388/2010/P, de 21 de dezembro de 2010, da CETESB, que cuida da “Aprovação de premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo”, estabelece que para a prática da aplicação de efluentes líquidos e resíduos sólidos em solo agrícola deverão ser obedecidas as normas utilizadas pelo órgão, e em não

havendo, deverá ser precedida de avaliação em função da tipologia ou do resíduo/efluente, para subsidiar a futura elaboração de norma específica, consoante prescrito nos itens 1.1 e 1.2. da referida norma (CETESB, 2010, b).

Do supracitado documento (CETESB, 2010, b), faz-se importante destacar as seguintes premissas estabelecidas para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo que se relacionam ao objeto do presente trabalho:

1.6) Os efluentes das indústrias alimentícias, de bebidas e do setor sucroalcooleiro não tratados, não podem ser aplicados em solo agrícola quando misturados com outros tipos de efluentes, tais como: oleosos, domésticos não tratados, águas de mancais, e quando houver a presença de substâncias contaminantes em concentrações tais que levem a ultrapassar os valores orientadores de prevenção e substâncias odoríferas que possam ser perceptíveis fora dos limites da propriedade onde houver a aplicação.

1.7) As culturas aptas a receberem lodos e efluentes indústrias são as definidas na Seção IV da Resolução CONAMA 375/06.

1.8) Não deve ser permitida a aplicação de efluentes e lodos em áreas que apresentem substâncias em concentrações superiores aos valores orientadores de prevenção para solos, mesmo que essas não sejam diretamente relacionadas às características do lodo/efluente.

1.9) Não deve ser permitida a aplicação de efluentes e lodos em áreas que apresentem substâncias em concentrações superiores aos valores orientadores de intervenção para águas subterrâneas e solos, mesmo que essas não sejam diretamente relacionadas às características do lodo/efluente.

1.10) Além da legislação ambiental pertinente, a aplicação de efluentes e lodos deverá estar de acordo com os regulamentos das legislações de áreas especialmente protegidas, tais como Áreas de Preservação Permanente (APP), Áreas de Proteção Ambiental (APA) ou de Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM).

1.11) No licenciamento de empreendimentos que apresentem como solução a aplicação de efluentes ou lodos em solo agrícola devem ser previstas alternativas para atender às situações de interrupção da prática de aplicação.

1.12) Áreas já utilizadas para receber efluentes líquidos ou lodos específicos não poderão receber aplicações de outros tipos de lodos ou efluentes, a menos que estudos específicos demonstrem sua viabilidade ambiental.

1.13) A aplicação em solo agrícola de resíduos ou efluentes que possuam registro do MAPA como fertilizante não depende de manifestação da CETESB uma vez que resíduos ou efluentes registrados no MAPA são enquadrados como produto agrônomico. (CETESB, 2010, b).

Ainda no Estado de São Paulo, a CETESB inovou na Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017 (CETESB, 2017, p. 6), ao vincular ao licenciamento ambiental a exigência da implementação do Programa de Monitoramento Preventivo da Qualidade do Solo e da Água Subterrânea, quando da solicitação da Licença de Instalação ou renovação da Licença de Operação, onde

ocorre o lançamento de efluentes ou resíduos no solo como parte de sistemas de tratamento ou disposição final, que é classificada como Área com Potencial de Contaminação (AP), vide Item 1, que segue abaixo reproduzido, do Anexo I, que cuida Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas.

ANEXO 1: PROCEDIMENTO PARA A PROTEÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.

(Capítulo II do Decreto nº 59.263/2013, artigos 11 a 17)

1. INTRODUÇÃO

Conforme §1º, do artigo 17 do Decreto nº 59.263/2013, os Responsáveis Legais pelas seguintes Áreas com Potencial de Contaminação (APs) deverão implementar Programa de Monitoramento Preventivo da Qualidade do Solo e da Água Subterrânea, a ser apresentado para a CETESB, em arquivo digital, no formato pdf, por ocasião da solicitação da Licença de Instalação ou da renovação da Licença de Operação:

a) Nas Áreas com Potencial de Contaminação (AP) onde ocorre o lançamento de efluentes ou resíduos no solo como parte de sistemas de tratamento ou disposição final. (CETESB, 2017, p. 6).

Note-se que para elaborar o Programa de Monitoramento Preventivo, o item 2 da DD nº 038/2017 (CETESB, 2017) prescreve a necessidade de realização de diversas atividades, que seguem elencadas, e também aponta que os resultados do Monitoramento Preventivo das áreas de aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola deverão estar contidos nos relatórios anuais dos planos de aplicação:

- a) Caracterizar a pedologia, a geologia e a hidrogeologia local;
- b) Caracterizar a Área com Potencial de Contaminação (AP), por meio da identificação das áreas fonte e, nelas, as fontes potenciais de contaminação, conforme estabelecido no item 4.1.3 - Avaliação Preliminar, do ANEXO 2 desta Decisão de Diretoria;
- c) Elaborar mapas contendo a potenciometria e a direção do fluxo da água subterrânea, a hidrografia, a localização das áreas fonte e das fontes potenciais de contaminação, dos poços de monitoramento, das nascentes e dos poços de captação utilizados para de abastecimento de água;
- d) Localizar os pontos e as profundidades de amostragem de solo, justificando-as em função da localização das fontes potenciais de contaminação e das características das substâncias químicas de interesse (SQI) e da pedologia e geologia local;
- e) Especificar a localização e as características dos poços de monitoramento (para amostragem de água subterrânea e do ar da zona não saturada), justificando-as em função da localização das fontes potenciais de contaminação e das características das substâncias químicas de interesse e da hidrogeologia local;
- f) Definir as substâncias químicas de interesse (SQI) para o monitoramento preventivo, embasada na realização do item "b";

- g) Especificar os métodos de amostragem e de preservação das amostras, bem como o programa de controle de qualidade para a amostragem e transporte das amostras;
- h) Especificar os métodos analíticos a serem empregados;
- i) Definir cronograma do monitoramento preventivo, incluindo a frequência da realização de campanhas de amostragem para solo, águas subterrâneas e outros meios possíveis (por exemplo, ar da zona não saturada, ou ar ambiente) e duração;
- j) Realizar amostragem de solo na caracterização inicial da área. Nas áreas que utilizem o solo como meio de tratamento o monitoramento do solo deverá ser continuado devendo ser proposto cronograma para novas amostragens;
- k) Interpretar os resultados pela comparação com os Valores Orientadores de Prevenção e Intervenção para Solo e de Intervenção para Águas Subterrâneas, estabelecidos pela CETESB, por meio da Decisão de Diretoria nº 256/2016/E, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo em 24.11.2016, e com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, ou com os valores decorrentes de processos de atualização dessas fontes, devidamente aprovados. Para substâncias ou meios não contemplados nas referidas normas legais deverão ser utilizados os valores a serem indicados pela CETESB ou estabelecidos em normas específicas.
- l) Definir a frequência de apresentação de relatórios a serem entregues para a CETESB. (CETESB, 2017, p. 7).

Insta salientar que a Decisão de Diretoria nº 38/2017 da CETESB aponta que caso ultrapassados os Valores de Intervenção (VI), para o solo e/ou para a água subterrânea, a Agência Ambiental da CETESB deverá ser informada, por meio de mensagem eletrônica, sendo que independentemente da manifestação da CETESB, o Responsável Legal deverá adotar as ações necessárias à identificação do fato causador da alteração da qualidade do meio e realizar a Investigação Detalhada e Avaliação de Risco, consoante itens 4.1.5 e 4.1.6 do ANEXO 2 desta Decisão de Diretoria (CETESB, 2017, p. 8).

Por fim, vale ainda mencionar a Resolução SIMA nº 69, de 08 de setembro de 2020, da Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente, que foi publicada no Diário Oficial do Estado de 09/09/2020, que dispõe sobre a dispensa de licenciamento ambiental das atividades de compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos compostáveis de baixo impacto ambiental, e que se aplica aos resíduos das atividades de avicultura, bovinocultura e suinocultura, consoante disposto em seu artigo 3º, inciso II, desde que atendam aos critérios elencados no artigo 4º que segue reproduzido (ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

Artigo 4º - As atividades de compostagem e vermicompostagem dos resíduos orgânicos compostáveis, especificados no artigo 3º, estão

dispensadas de licenciamento ambiental desde que enquadradas nos seguintes critérios:

I - seja realizada em empreendimentos que recebam e processem no máximo 500 kg de resíduos/dia;

II – sejam processados resíduos orgânicos compostáveis previamente segregados na fonte geradora como aqueles provenientes da coleta seletiva ou outra forma de separação na origem, isentos de despejos e contaminações sanitárias;

III - não utilizem resíduos de processos industriais, lodos de estações de tratamento de efluentes de processos industriais, e lodos de estações de tratamento de esgoto sanitário;

IV – não processem animais mortos, inclusive os provenientes das atividades de avicultura, bovinocultura e suinocultura;

V - sejam adotadas medidas de proteção ambiental adequadas em todas as etapas do processo;

VI - não faça uso de aditivos químicos e biológicos de qualquer natureza;

VII – sejam garantidas no processo as condições mínimas de tempo de residência e temperatura necessários para higienização dos resíduos, a saber: 55°C, por 14 dias, ou 65°C, por 3 dias, em sistemas abertos; e 60°C, por 3 dias, em sistemas fechados;

VIII – o composto não seja misturado com outros resíduos para formulação de produtos de uso em solo;

IX – o composto seja para uso próprio ou de terceiros em atividades domésticas, de jardinagem, hortas e paisagismo, excetuando outras aplicações em solo agrícola.

§ 1º - O critério estabelecido no inciso VII não se aplica à atividade de vermicompostagem.

§ 2º - A dispensa do licenciamento ambiental não isenta os responsáveis pela atividade da compostagem ou vermicompostagem do cumprimento da legislação municipal, estadual e federal, bem como da obtenção dos demais documentos legalmente exigidos, em especial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. (ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

Note-se que a supracitada Resolução em seu artigo 4º, IX, permite que o composto seja para uso próprio ou de terceiros em atividades domésticas, de jardinagem, hortas e paisagismo, contudo, excetua outras aplicações em solo agrícola (ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

4.3. ESTADO DO PARANÁ

O Estado Paraná que possui a suinocultura como uma das matrizes econômicas do Estado, em sua Resolução da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e do Turismo - Sedest nº 015, de 06 de março de 2020, estabelece condições e critérios e adota outras providências, para o licenciamento ambiental de Empreendimentos de Suinocultura no Estado do Paraná (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

Para fins de licenciamento ambiental, o artigo 4º da Resolução estabelece que o porte dos empreendimentos de suinocultura será definido pelo sistema de criação, número de animais e volume de dejetos gerados, sendo que apenas os empreendimentos de suinocultura de porte micro e mínimo são passíveis da Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual – DLAE, conforme disposto em seu artigo 6º (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

A supracitada Resolução estabelece em seu artigo 13 critérios para a implantação de empreendimentos que desenvolvam a atividade de suinocultura de acordo com a localização, para a proteção dos recursos ambientais e da população do entorno.

13. A implantação de empreendimentos de suinocultura quanto à localização, deverá atender, no mínimo, os seguintes critérios:

I as áreas devem ser de uso rural e estar em conformidade com as diretrizes de zoneamento do município;

II a área do empreendimento, incluindo armazenagem, tratamento e disposição final de dejetos, deve situar-se a uma distância mínima de corpos hídricos, de modo a não atingir áreas de preservação permanente, conforme estabelecido no Código Florestal;

III a(s) área(s) de criação, bem como de armazenagem, tratamento e disposição final de dejetos, deve(m) estar localizada(s), de acordo com o Decreto Estadual no 5.503, de 21 de março de 2002, no mínimo, nas seguintes distâncias e condições:

a) 50 (cinquenta) metros das divisas de terrenos vizinhos, podendo esta distância ser inferior quando da anuência legal dos respectivos confrontantes, exceto se houver unidade residencial;

b) 12 (doze) metros de estradas municipais;

c) 15 (quinze) metros de estradas estaduais;

d) 55 (cinquenta e cinco) metros de estradas federais; e

e) 50 (cinquenta) metros de distância mínima em relação a frentes de estradas, em áreas de disposição final dos dejetos;

IV na localização das construções para criação dos animais, armazenagem, tratamento e disposição final de dejetos, devem ser consideradas as condições ambientais da área e do seu entorno, bem como a direção predominante dos ventos na região, de forma a impedir a propagação de odores para cidades, núcleos populacionais e habitações mais próximas. (SEDEST, 2020).

A Resolução SEDEST nº 015/2020, em seu artigo 14 permite que sejam lançados efluentes líquidos gerados, direta ou indiretamente em corpo receptor, desde que atendidas as seguintes condições: pH entre 5 e 9; temperatura inferior a 40°C, sendo que a elevação máxima de temperatura do corpo receptor não poderá ultrapassar 3°C; materiais sedimentáveis até 1mL/L em teste de uma hora em Cone Imhoff; óleos minerais até 20 mg/L e óleos vegetais e gorduras animais de até 50 mg/L; ausência de materiais flutuantes; a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) deverá ser a outorgada; e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) deverá ser a outorgada (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

No mais, o artigo 15 determina que os sistemas de armazenagem de dejetos líquidos gerados pela atividade obrigatoriamente deverão ser revestidos, e o artigo 16 preconiza que as propriedades de suinocultura deverão obrigatoriamente implantar medidas para controle do consumo de água e aumento do volume de geração de dejetos, tais como instalação de hidrômetros, redução do consumo de água de limpeza, reúso de água, assim como evitar a entrada de água da chuva nas instalações e no sistema de tratamento de dejetos (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

A Resolução em comento prescreve expressamente em seu artigo 17 que os dejetos gerados pela atividade de Suinocultura “devem obrigatoriamente ser armazenados e/ou possuir tratamento primário, e posteriormente devem ser encaminhados para tratamento secundário e/ou aplicação no solo para fins agrícolas” (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

E no que concerne ao Projeto de Controle de Poluição Ambiental a ser apresentado pelo empreendimento no âmbito do seu licenciamento ambiental, o Anexo II da Resolução estipula diretrizes, sendo que merece atenção o seu item “5. Disposição de Resíduos no Solo”, que estabelece a necessidade de especificação da forma de disposição, do uso agrícola, a descrição geral do local, a caracterização do solo, a descrição técnica da metodologia de disposição dos dejetos no solo, a justificativa do sistema proposto e o monitoramento que deverá ser realizado em frequência mínima de a cada 02 (dois) anos (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

5. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO SOLO

5.1 DISPOSIÇÃO DE DEJETOS NO SOLO

5.2 USO AGRÍCOLA

Considera-se a disposição de dejetos de suínos no solo para uso agrícola quando o mesmo for aplicado em solo para fins agrícolas e florestais, como condicionador ou fertilizante, de modo a proporcionar efeitos benéficos para o solo e para as espécies nele cultivadas.

5.3 DESCRIÇÃO GERAL DO LOCAL

Descrever as características gerais do local que contém a área destinada para a disposição do despejo denominada "área propriamente dita".

* localização;

* clima - clima predominante na região, podendo seguir a classificação de KÖEPPEN, precipitação média dos meses de disposição do despejo no solo;

* área - a escolha da área para disposição dos dejetos de suínos deve considerar os aspectos ambientais das terras, sua classe de risco ambiental e as características físico-químicas do solo. a definição de áreas aptas deverá seguir os critérios estabelecidos no ANEXO III.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

* tipo de solo;

* profundidade do lençol freático;

* análise de solo - análise de rotina de fertilidade e granulometria.

5.5. DESCRIÇÃO TÉCNICA DA METODOLOGIA DE DISPOSIÇÃO DE DEJETOS NO SOLO

* Técnicas ou práticas de uso, manejo e conservação do solo compatíveis com a Classificação de risco da área em questão;

* Procedimento de aplicação: Época de aplicação, forma de aplicação, culturas, frequência, técnica de aplicação;

* Taxa de aplicação, conforme anexo III.

5.6. JUSTIFICATIVA DO SISTEMA PROPOSTO

Justificar através de dados e/ou estudos já existentes da viabilidade da utilização proposta do despejo, quanto à resposta agrônômica e o não comprometimento dos recursos hídricos e do solo.

5.7. MONITORAMENTO

Realizar no mínimo a cada 2 anos. Através de análise do solo (rotina) antes da aplicação do resíduo. (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

Ainda, o artigo 18 da Resolução estabelece que critérios para a aplicação dos dejetos no solo para fins agrícolas determinados no ANEXO III deverão ser atendidos para a realização da referida prática (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

O Anexo III que cuida dos “Critérios para utilização agrícola de dejetos de suínos”, prescreve que deverão ser observados os seguintes aspectos: 1. Área para Aplicação; 2. Taxa de Aplicação; 3. Caracterização do Dejeito; 4. Análise de solo para fins de recomendação de adubação e monitoramento (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

O item 1 do Anexo III que tem como objeto a área para aplicação aponta que esta será avaliada em consonância com a classe de risco ambiental e do teor de fósforo disponível no solo, conforme se verifica abaixo (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

1. ÁREA PARA APLICAÇÃO

A área para aplicação de dejetos de suínos deve ser avaliada de acordo com a classe de risco ambiental e do teor de fósforo disponível no solo.

1.1 Classificação do risco ambiental

A aplicação de dejetos pode ser realizada nas classes de risco ambiental I, II, III e IV. Para áreas de classe IV, aplicação somente em culturas perenes.

1.1.1 Descrição das classes de risco ambiental

As classes de risco ambiental das terras para uso agrônômico de dejetos de suínos e bovinos são as seguintes:

CLASSE I - Terras sem risco ambiental aparente - são terras sem limitações, ou seja, todos os fatores com grau de risco nulo, portanto, são terras que se manejadas adequadamente não correm risco de degradação ambiental com a disposição final de dejeito no solo. Não apresentam desvios em relação ao solo ideal.

CLASSE II • Terras de baixo risco ambiental - são terras com um ou mais fatores com grau de risco ligeiro, portanto, práticas simples de manejo do solo deverão ser utilizadas para reduzir o risco de degradação ambiental com a disposição final de dejeito no solo. Apresentam desvios ligeiros em relação ao solo ideal.

CLASSE III - Terras de médio risco ambiental - são terras com um ou mais fatores com grau de risco moderado, portanto, práticas complexas de manejo do solo deverão ser utilizadas para reduzir o risco de degradação ambiental com a disposição final de dejeito no solo. Apresentam desvios moderados em relação ao solo ideal.

CLASSE IV- Terras de alto risco ambiental -são terras com um ou mais fatores com grau de risco forte. Disposição final de dejeito do solo somente em culturas perenes.

CLASSE V- Terras inaptas -são terras com um ou mais fatores com grau de risco muito forte. Inaptas para disposição final de dejeito no solo.

1.1.2. Determinação da classe de risco ambiental das terras

A determinação da classe deve considerar os fatores ambientais e seus respectivos graus de risco ambiental apresentados na Tabela 4. A classe de risco ambiental da gleba será aquela de maior limitação, ou seja,

enquadramento pelo método paramétrico. Detalhes sobre o sistema de classificação de risco ambiental das terras para uso agrônômico de dejetos podem ser obtidos em Souza et al. (2004).

1.2 Classificação do teor de fósforo disponível no solo

O dejetos poderá ser aplicado em áreas cuja classe de P disponível (extrator Mehlich 1) na profundidade de 0-20 cm for inferior a classe de interpretação 'Condição a evitar' apresentada no Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017) de acordo com a textura do solo, da seguinte forma: > 120 mg dm³ de P disponível para teor de argila menor que 250 g kg⁻¹; > 90 mg dm³ de P disponível para teor de argila entre 250 a 400 g kg⁻¹; > 60 mg dm³ de P disponível para teor de argila maior que 400 g kg⁻¹ (TABELA 1).

Para classe de interpretação de P disponível (extrator Mehlich 1) muito alto, de acordo com o Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017) somente poderão ser aplicados dejetos nas classes de risco ambiental I, II ou III. (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

TABELA 1 - Interpretação para fósforo disponível no solo (extraído por Mehlich-1) para o Estado do Paraná.

CLASSE DE INTERPRE- TAÇÃO	P DISPONÍVEL (MG DM ⁻³)		
	ARGILA (G KG ⁻¹)		
	<250	250-400	>400
Muito baixo	< 6	< 4	< 3
Baixo	6 - 12	4 - 8	3 - 6
Médio	13-18	9 - 12	7 - 9
Alto	19-24	13-18	10 - 12
Muito Alto	> 24	> 18	> 12
Condições a evitar	> 120	> 90	> 60

FONTE: (SBCS-NEPAR, 2017)

O item 2 da Resolução que trata “Taxa de aplicação” estipula que esta será calculada em função da concentração de nutrientes no dejetos, isto é, nitrogênio, fósforo e potássio, do índice de eficiência do dejetos pela análise do solo e da recomendação de adubação para as culturas utilizadas de acordo com o Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017 apud ESTADO DO PARANÁ, 2020), consoante se verifica do excerto que segue abaixo reproduzido.

Considera-se os elementos limitantes para o uso agrícola dos dejetos, o nitrogênio, fósforo e potássio, efetuando-se uma adubação baseada no princípio de equilíbrio, ou seja, a taxa de aplicação deverá ser em função do elemento que exigir menor quantidade de dejetos, realizando a complementação quando necessário. Para reduzir o risco de poluição dos recursos hídricos via escoamento superficial recomenda-se aplicar o dejetos líquido no mínimo 5 dias antecedente a evento de precipitação pluviométrica e se a dose a ser aplicada, de acordo com a recomendação, for maior que 60 m³ ha⁻¹, recomenda-se dividir esta aplicação mantendo um intervalo de no mínimo 15 dias. Ainda, considerando a redução de risco ambiental,

recomenda-se a utilização de técnicas adequadas de injeção no solo de dejetos líquidos. (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

Ainda, o item 3 cuida da “Caracterização do Dejeto”, aponta que deverão ser realizadas análises em laboratório das concentrações de nutrientes e de matéria seca dos dejetos, ou no caso de dejeto líquido suíno poderá ser estimada pela sua densidade, conforme descrito no Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017 apud ESTADO DO PARANÁ, 2020).

A frequência a ser adotada para o monitoramento da concentração de nutrientes nos dejetos deverá ser de no mínimo uma vez por ano, sendo que após cinco anos de monitoramento em laboratório, pode-se utilizar o valor médio do período para os próximos cinco anos. Há que se destacar que a amostra deve ser coletada após o dejeto ser homogeneizado na esterqueira para obtenção de densidade volumétrica (ESTADO DO PARANÁ, 2020).

Por fim, o item 4 que tem como tema a “Análise de solo para fins de recomendação de adubação e monitoramento”, prescreve que fertilidade do solo deverá ser objeto de análise a cada dois anos e o procedimento de coleta de solo, assim como a profundidade de amostragem deve seguir a recomendação do Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017 apud ESTADO DO PARANÁ, 2020).

Note-se que a legislação determina também que seja realizado o monitoramento e análises Cu e Zn disponível (extrator DTPA ou Mehlich) no solo nas áreas de aplicação de dejetos de suínos, sendo que para fins de recomendação de adubação e monitoramento, cada gleba agrícola deve conter as seguintes informações que constam das tabelas que seguem abaixo reproduzidas (ESTADO DE PARANÁ, 2020).

Tabela 11 – Informações sobre a área

Número da gleba:	
Coordenadas geográficas:	
Posse (própria ou terceiro):	
Área (ha):	
Culturas implantadas:	
Classe de risco ambiental:	

Fonte: ESTADO DO PARANÁ, 2020.

Tabela 12 – Informações sobre as características do solo

Teor de argila (%):			
Teor de P Mehlich no solo "Condições a evitar (mg dm⁻³)":	() > 120	() > 90	() > 60
Teores de:	Ano de implantação do empreendimento	2° ano	4° ano
P (mg dm⁻³):			
Cu (mg dm⁻³):			
Zn (mg dm⁻³):			

*Verificar em qual "Condição de teor de P a evitar" que o solo se encaixa de acordo com o seu teor de argila (TABELA 1). Para solos com teor de argila menor de que 250 g kg⁻¹, deve-se evitar mais do que 120 mg dm⁻³ de P; para solos com teor de argila entre 250 e 400 g kg⁻¹ deve ser evitado um teor de P maior do que 90 mg dm⁻³ e para solos com teor de argila maior que 400 g kg⁻¹ o teor de P a ser evitado é acima de 60 mg dm⁻³ (SBCS-NEPAR, 2017).

É proibida a aplicação de dejetos nas áreas em que o solo se encaixa na "Condição de teor de P a evitar".

Para classe de interpretação de P disponível (extrator Mehlich I) muito alto, de acordo com o Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017) somente poderão ser aplicados dejetos nas classes de risco ambiental I, II ou III e utilizar os valores de reposição de adubaçã

Fonte: ESTADO DO PARANÁ, 2020.

Tabela 13 – Classificação do risco ambiental

FATORES	GRAU DE RISCO	PARÂMETROS PARA CLASSIFICAÇÃO	CLASSE DE RISCO				
			I	II	III	IV	V
DECLIVE	0-NULO	Plano (0 a 3%)	X	X	X	X	X
	1-LIGEIRO	Suave ondulado (3 a 8%)	-	X	X	X	X
	2-MODERADO	Moderadamente ondulado (8 a 13 %) e Ondulado (13 a 20%)	-	-	X	X	X
	3-FORTE	Forte ondulado (20 a 45%)	-	-	-	X	X
	4-MUITO FORTE	Montanhoso ou Escarpado (>45%)	-	-	-	-	X
RISCO DE INUNDAÇÃO	0-NULO	Sem risco de inundação	X	X	X	X	X
	1-LIGEIRO	Uma a cada mais de 5 anos com duração < que 2 dias	-	-	X	X	X
	2-MODERADO	Uma a cada mais de 5 anos com duração de 2 a 30 dias ou uma a cada 5 anos com duração < 2 dias	-	-	-	X	X
	3-FORTE	Mais de uma vez ao ano e duração < que 2 dias ou uma a cada 5 anos com duração de 2 a 30 dias	-	-	-	-	X
	4-MUITO FORTE	Uma a cada 5 anos e duração > que 30 dias ou mais de uma vez ao ano e duração > que 2 dias	-	-	-	-	X
PEDREGOSIDADE	0-NULO	Sem pedregosidade	X	X	X	X	X
	1-LIGEIRO	Presença de pedras no perfil do solo: < 15% ou Distância entre matacões na superfície do solo: > 30 m	-	X	X	X	X
	2-MODERADO	Presença de pedras no perfil do solo: 15 a 50% ou Distância entre matacões na superfície do solo: 3 a 30 m.	-	-	X	X	X
	3-FORTE	Presença de pedras no perfil do solo: 50 a 70% ou Distância entre matacões na superfície do solo: 1 a 3 m	-	-	-	X	X
	4-MUITO FORTE	Presença de pedras no perfil do solo: > 70% ou Distância entre matacões na superfície do solo: < 1 m	-	-	-	-	X
PROFUNDIDADE EFETIVA	0-NULO	Muito profundo: > 2,00 m	X	X	X	X	X
	1-LIGEIRO	Profundo: 1,00 a 2,00 m	-	X	X	X	X
	2-MODERADO	Moderadamente profundo: 0,50 a 1,00 m	-	-	X	X	X
	3-FORTE	Raso: 0,25 a 0,50 m	-	-	-	X	X
	4-MUITO FORTE	Muito raso: < 0,25 m	-	-	-	-	X
TEXTURA SUPERFÍCIE	0-NULO	Argilosa: 35 a 60 % de argila	X	X	X	X	X
	1-LIGEIRO	Muito argilosa: > de 60 % de argila	-	X	X	X	X
	2-MODERADO	Medi: 15 a 35 % de argila	-	-	X	X	X
	3-FORTE	Siltosa: > 50% de silte e < 35 % de argila e < 15% de areia > 50 % de silte e < 35% de argila e > 15% de areia	-	-	-	X	X
	4-MUITO FORTE	Arenosa: < 15% de argila e > 70 % de areia	-	-	-	-	X
DRENAGEM/ HIDROMORFISMO	0-NULO	Solos sem evidência de mosqueado/gleização com textura argilosa a média	X	X	X	X	X
	1-LIGEIRO	Solos sem evidência de mosqueado/gleização com textura arenosa	-	X	X	X	X
	2-MODERADO	Solos com presença de gleização/ mosqueado entre 0,50 e 1,00 m	-	-	-	X	X
	3-MUITO FORTE	Solos com presença de mosqueado/gleização acima de 0,25 m	-	-	-	-	X

Fonte: ESTADO DO PARANÁ, 2020.

4.4. ESTADO DE SANTA CATARINA

O Estado de Santa Catarina possui normatização específica da suinocultura que é uma das matrizes econômicas do estado, que por meio da Fundação de Meio Ambiente, atual Instituto do Meio Ambiente, editou a Instrução Normativa nº 11, de 2014, que tem como objeto o licenciamento ambiental da atividade de suinocultura (FATMA, 2014).

Do item 5. Instruções Específicas para o Licenciamento da atividade de suinocultura (FATMA, 2014, p. 6-8), verificam-se as seguintes exigências para a aplicação de dejetos como fertilizante orgânico:

- As recomendações técnicas para aplicação de fertilizante orgânico de suínos no solo encontram-se estabelecidos no Anexo 8 desta Instrução Normativa.

(...)

- O sistema de armazenamento de dejetos de suínos deve ser projetado com duas unidades de armazenamento (esterqueiras ou lagoas) manejadas em paralelo e com alimentação intercalada, ou seja, a primeira esterqueira ou lagoa deve ser alimentada até o enchimento total, observando a altura de segurança, em seguida passa-se a alimentar a outra esterqueira ou lagoa. O tempo de armazenamento de cada esterqueira ou lagoa deve ser equivalente ao intervalo entre retiradas do dejetos para distribuição nas áreas agrícolas licenciadas para aplicação do fertilizante orgânico. Por exemplo, para projetos que prevêem duas aplicações de dejetos ao ano, o tempo de armazenamento deve ser de 180 dias para cada esterqueira ou lagoa. Em projetos que prevêem o uso mais freqüente dos dejetos para, por exemplo, aplicações em pastagens a cada 60 dias, o tempo de armazenamento de dejetos em cada esterqueira ou lagoa deve ser também de 60 dias. O mínimo tempo de armazenamento em cada esterqueira ou lagoa não deve ser nunca inferior a 40 dias.

(...)

- O projeto dos sistemas de tratamento de dejetos suínos por compostagem deve atender as recomendações do Anexo 10 desta Instrução Normativa.
- O tratamento de dejetos de suínos de sistemas de camas sobrepostas deve atender ao disposto no Anexo 11 desta Instrução Normativa.
- O projeto de biodigestor para pré-tratamento de dejetos suínos deve atender ao disposto no Anexo 12 desta Instrução Normativa.

(...)

- Para efeito desta Instrução Normativa são adotadas as seguintes definições:

Dejetos de suínos: mistura de fezes, urina e água de lavação, gerados nos diferentes sistemas de produção.

Efluente tratado: água residuária que atinge o padrão de lançamento em corpo d'água fixado pela Resolução CONAMA nº. 430/11.

Fertilizante orgânico de suínos: tratam-se dos dejetos de suínos estabilizados em esterqueiras ou lagoas de armazenamento, ou tratado em lagoas e estruturas equivalentes, dejetos tratados por biodigestão (lodo e/ou efluente líquido), cama sobreposta de suínos ou dejetos tratados por compostagem (composto orgânico), ou ainda, composto de animais mortos.

Cama sobreposta: substrato da mistura de serragem, maravalha, palha ou outro material rico em carbono com dejetos líquidos de suínos. (FATMA, 2014, p. 6-8)

Dos documentos a serem apresentados para o requerimento da Licença Ambiental de Instalação, verifica-se a exigência de projetos de sistemas de armazenamento de dejetos e de tratamento de efluentes e de resíduos sólidos, bem como Planos e Programas ambientais, inclusive de monitoramento da qualidade do solo, consoante excertos da supramencionada Instrução Normativa (FATMA, 2014), que seguem abaixo reproduzidos:

6.4. Licença Ambiental de Instalação

(...)

g. Projeto executivo, com memorial descritivo e de cálculo, plantas e cortes do sistema de armazenamento de dejetos (esterqueiras e lagoas de armazenamento), sistema de compostagem ou de outros sistemas de tratamento dos efluentes líquidos. O cálculo da produção de dejetos deve levar em conta os valores da Tabela 02 constante do Anexo 7 desta Instrução Normativa. O dimensionamento dos sistemas de armazenamento de dejetos deve ser efetuado segundo o Anexo 9. No caso de sistema de compostagem devem ser observadas as recomendações constantes do Anexo 10. O dimensionamento de biodigestor para pré-tratamento de dejetos suínos deve ser efetuado segundo o Anexo 12. No caso do sistema de tratamento com lançamento em corpo receptor indicar: o nome, classe de uso, bacia hidrográfica do corpo receptor.

(...)

j. Planos e Programas Ambientais, detalhados a nível executivo. O Programa de monitoramento da qualidade do solo adubado deve observar o disposto no Anexo 8. (FATMA, 2014, p. 6-8)

Do “Anexo 8º Recomendações técnicas para aplicação fertilizantes orgânicos de suínos e monitoramento da qualidade do solo adubado” (FATMA, 2014, p. 26-31),

Entretanto, verifica-se que por meio de seu órgão ambiental, qual seja Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), foram estipulados “Critérios Técnicos para o Licenciamento Ambiental de Novos Empreendimentos destinados à Suinocultura” (FEPAM, 2014), que dentre os seus itens, prevê objetivos para utilização adequada dos resíduos em solos agrícolas, cujos subitens seguem abaixo reproduzidos:

- 1 Evitar a poluição de mananciais hídricos, considerando o uso das águas superficiais e subterrâneas da região.
- 2 Aproveitamento potencial dos resíduos como fertilizantes, após o tratamento.
- 3 Evitar a contaminação da cadeia alimentar.
- 4 Proporcionar a conservação do solo.
- 5 Minimizar a poluição do ar.
- 6 Garantir o bem estar do empreendedor e vizinhança. (FEPAM, 2014, p. 2)

O item VII do referido documento prevê a forma como deverá o “Tratamento e a utilização dos resíduos”, sendo que estipula em seu item 3), que na utilização de resíduos em pastagens e em olerícolas, além da estabilização, deverá ter o tratamento, com o objetivo de promover a redução de patógenos, e no que concerne às dosagens seguem abaixo as instruções descritas nos itens 4) e 5) (FEPAM, 2014, p. 7).

- As doses a serem aplicadas de esterco líquido estabilizado, devem ser calculadas com base nos teores de nutrientes presentes nestes resíduos, além das necessidades das culturas, considerando-se a resistência a impactos ambientais do tipo de solo, descrita no Quadro 01 (Anexo 01).
- 5 Quando forem utilizados resíduos secos compostados, as quantidades a serem aplicadas devem considerar as recomendações da Comissão de Fertilidade de Solo (1995) que determina a metodologia utilizada pela Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos do Rio Grande do Sul (ROLAS/RS). (FEPAM, 2014, p. 7)

Note-se que o item VII do supracitado documento que trata das “Características da área de aplicação dos resíduos estabilizados”, determina que a área de aplicação deverá ser selecionada com observância à classificação do solo quanto a impactos

ambientais, conforme tabela abaixo, e dentre outros requisitos⁸ não se verificam programas de monitoramento do solo, águas superficiais e subterrâneas, tampouco limitação anual para aplicação (FEPAM, 2014, p. 8).

Tabela 15 – Classificação de Solos Quanto à Resistência a Impactos Ambientais

Classes de resistência	Unidades de Solos RS	Classificação SBCS
ALTA	Alto das Canas, Durox, Erechim, Estação, Farroupilha, Gravataí, Júlio de Castilhos, Matarazo, Passo Fundo, Rio Pardo, Santo Ângelo, São Borja, São Jerônimo e Vacaria	PVd3, LVdf1, LVaf, NVdf1, CHa2, PVd4, PVAA3, PVAd5, LVd3, PVd5, LVdf2, NVdf2, PVd7 e LBA1
MÉDIA	Bom Jesus, Bom Retiro, Caldeirão, Camaquã, Cambai, Cerrito, Cruz Alta, Erval Grande, Livramento, Pituba, Santa Tecla e Vera Cruz	CHa1, PVd1, PVAe2, PVAd4, TCo, LVd1, LVd2, LBA2, PVAa1, PVd6, PVe e PVAa2
BAIXA	Aceguá, Bagé, Bexigoso, Carajá, Carlos Barbosa, Ciriaco, Escobar, Formiga, Itapoã, Oásis, Pirai, Ponche Verde, Ramos, Santa Clara, Santa Maria, São Gabriel, São Pedro, Seival, Tala, Tuia, Tupanciretã, Uruguaiana, Venda Grande e Virginia	VEo1, SXe2, TPO, PVAe1, APo, MTh, VEO2, MTK, PVAd1, PVAa1, MXo2, MTto2, ACT, PVAd2, APt2, SXe1, PVd2, MEo, APt3, PVAd6, PVAa6, MEk, MTto1, TCp
MUITO BAIXA	Banhado, Caxias, Charua, Colégio, Curumim, Dunas, Durasnal, Guaíba, Guaritas, Guassupi, Ibaré, Ibicuí, Itapeva, Lagoa, Lavras, Mangueira, Osório, Pedregal, Pelotas, Pinheiro Machado, Rocinha, Silveiras, Taim, Vacacai e Vila	GXe, RLd1, RLe1, GMe1, RQg1, RQ1, FTe1, RU, RLd2, RLd3, RLe3, RQ2, GMe2, RQg2, RLe2, SGe2, RQo, RLe4, SGe3, RLd4, Cla, RLd5, OJs, SGe1, MXo1

Fonte: KAMPF, N. (2001)

Fonte: FEPAM, 2014, p. 9.

⁸ 1 A área de aplicação deverá ser selecionada observando a classificação do solo quanto à resistência a impactos ambientais, descrita no Quadro 01 (Anexo 01).

2 Os solos devem ter boa drenagem interna e não serem sujeitos a inundações periódicas.

3 Os solos devem ter profundidade igual ou superior a 0,50 metro, excetuando-se a aplicação dos resíduos na forma sólida, mas ainda assim respeitando as recomendações de uso do solo.

4 Usar: patamares, terraceamentos, plantio direto, plantio em curvas de nível, cordões de vegetação permanente, cobertura morta e demais práticas de conservação do solo, impedindo o escoamento superficial, conforme recomendações técnicas da pesquisa agrícola.

5 Aplicar os resíduos líquidos somente em áreas com declividade menor ou igual a 30°, respeitando as práticas conservacionistas, citadas no item 4.

6 Aplicar os resíduos sólidos somente em áreas com declividade menor ou igual a 45°, respeitada a aptidão de uso do solo (fruticultura e silvicultura) e as práticas conservacionistas, citadas no item 4.

7 No caso de plantio direto, quando forem utilizados resíduos líquidos estabilizados e resíduos sólidos compostados, aplicar anteriormente ao tombamento da adubação verde.

8 Quando forem utilizadas outras formas de plantio ou cultivo mínimo, deverá ser feita a incorporação imediata dos resíduos no solo nas faixas adubadas.

9 O lençol freático deve estar a pelo menos 1,5 m da superfície do solo, na situação crítica de maior precipitação pluviométrica. (FEPAM, 2014, p. 8).

4.6. INTERNACIONAL

Da pesquisa efetuada, não se constatou a existência de muitas normas específicas no tocante à disciplina de utilização de dejetos da agropecuária como insumo agrônomo, entretanto, traçou-se um recorte para análise das normas existentes na América do Sul – na Argentina, União Europeia, com aprofundamento na Diretiva do Conselho nº 97/676/CEE, e seus desdobramentos, utilizando-se a Espanha como referência, assim como na América do Norte, o Canadá.

4.6.1. América do Sul - Argentina

A Província de Córdoba na Argentina possui a Resolución N° 29, de 20 de março de 2017, publicada pelo Ministério de Água, Ambiente e Serviços Públicos⁹, que estipula

⁹ MINISTERIO DE AGUA, AMBIENTE Y SERVICIOS PÚBLICOS - Resolución N° 29 Córdoba, 20 de marzo de 2017 VISTO: el Expediente N° 0660- 009654/2017. Y CONSIDERANDO: Que obra nota de la Sra. Secretaria General del Consejo de Desarrollo Sustentable, Dra. Marta Juliá, mediante la cual eleva Dictamen elaborado por la Comisión de “Uso Agronómico de Residuos Agropecuarios” que contiene el “Proyecto de Norma de Gestión y Aplicación Agronómica de Residuos Pecuarios de la Provincia de Córdoba”, tratado y aprobado el día 14 de diciembre de 2016 por el citado Consejo.

Que entre los instrumentos prioritarios de política y de gestión ambiental establecidos en el artículo 8, inciso g de la Ley de Política Ambiental 1 LEGISLACIÓN Y NORMATIVAS a BOLETIN OFICIAL DE LA PROVINCIA DE CORDOBA 6 AÑO CIV – TOMO DCXXVIII – N° 81 CORDOBA, (R.A.), VIERN ES 28 DE ABRIL DE 2017 BOLETIN OFICIAL DE LA PROVINCIA DE CORDOBA “2016 – 2017 Año Brocheriano” Provincial N° 10.208 se establece la fijación de estándares y normas.

Que en la mencionada Ley se reconocen tres tipos de estándares: ambientales, de emisión o de efluentes y tecnológicos.

Que existen un conjunto de actividades que realizan las personas físicas o jurídicas, que deben ajustarse a nuevos estándares y normas que fijan reglas técnicas para evitar efectos perjudiciales sobre el ambiente como consecuencia de su actividad.

Que la trascendencia de una correcta gestión de los Residuos Pecuarios de origen animal, junto a otros aspectos ambientales, es esencial para transmitir a la sociedad en general, y a los consumidores en particular, sobre la producción animal como actividad respetuosa del medio ambiente.

Que la dispersión de normas, criterios y datos, discrepantes en ciertas ocasiones y con imprecisiones en otras, hacen necesario establecer un Protocolo Normalizado de Trabajo para la aprobación de los Planes de Aplicación de Residuos Pecuarios, que en definitiva se convierta en la herramienta común que sirva para unificar criterios en todo el territorio provincial.

Que es necesario dar precisión y fundamento a la gestión de los residuos provenientes de sistemas de producción intensiva de animales, teniendo en cuenta que los residuos pecuarios estabilizados son un recurso de materia orgánica y nutrientes.

Que este Ministerio es la autoridad de aplicación de la Ley Provincial de Política Ambiental N° 10.208, siendo de su competencia la fijación e Decreto Provincial N° 247/2015, Decreto Provincial N° 847/2016, Ley Provincial N° 9.306 y lo dictaminado por el Departamento Jurídico de este Ministerio con el N° 28/2017;

EL MINISTRO DE AGUA, AMBIENTE Y SERVICIOS PÚBLICOS R E S U E L V E:

“Estándares Ambientales, de Emisión o de Efluentes y Estándares Tecnológicos para la Gestión y Aplicación Agronómica de Residuos Pecuarios de la Provincia de Córdoba””, e condiciona a utilização dos dejetos como insumo agrônomico à apresentação ao órgão ambiental de um Plano de Aplicação, que consta do anexo da referida Resolução, e estabelece um conteúdo mínimo de monitoramento de parâmetros e proteção do solo, consoante excertos abaixo colacionados.

Artigo 4. O uso agrônomico requer a caracterização conforme descrito no Anexo 1, como um padrão de emissão. Esta caracterização dos resíduos já estabilizados deve ser apresentada a cada 3 (três) anos, a menos que seja alterado o gerador, tipo de resíduo ou gestão produtiva.

(...)

Art. 9º O protocolo será abordado em duas dimensões bem diferenciadas, a saber:

1. Características do Estabelecimento, Paisagem e Sistema Receptor-Solo.

Aqui devem ser analisadas as variáveis do solo que determinam sua fragilidade ambiental, posição no relevo e características físico-químicas.

Uma análise do solo deve ser realizada antes do início das aplicações de subprodutos da produção animal intensiva para determinar uma linha de base inicial do corpo receptor. As amostras devem ser colhidas de 0 a 20 cm e de 20 a 60 cm de profundidade. Devem ser representativos do (s) lote (s) de aplicação e o monitoramento do solo receptor deve ser repetido a cada 3 (três) anos, sempre nos mesmos pontos georreferenciados. A amostragem deve ser realizada pelo menos 30 dias antes da última aplicação do resíduo. Os parâmetros a serem medidos estão detalhados no Anexo II (Norma Ambiental). Os parâmetros levantados devem ser garantidos pelo profissional que o estabelecimento onde há um Plano de Aplicação, pode receber esses nutrientes sem gerar contaminação química e alterações físicas permanentes do solo.

2. Caracterização do subproduto usado de acordo com o Anexo 1.

Triagem de resíduos:

❖ Resíduos sólidos:

- Guano de aves.
- Cama de aves.
- Camas profundas ou quentes para a produção de suínos.
- Resíduos sólidos de confinamento.
- Resíduos de laticínios sólidos.

Artículo 1º: APROBAR los “Estándares Ambientales, de Emisión o de Efluentes y Estándares Tecnológicos para la Gestión y Aplicación Agronómica de Residuos Pecuarios de la Provincia de Córdoba”, los que como Anexo compuesto de (5) fojas útiles forma parte integrante de la presente.

Artículo 2º: PROTOCOLÍCESE, notifíquese, publíquese en el Boletín Oficial y archívese.

FDO. DR. ING. FABIÁN LOPEZ, MINISTRO DE AGUA, AMBIENTE Y SERVICIOS. (CORDOBA, 2017)

- Resíduos de outras produções previamente secos abaixo de 70% umidade peso / peso determinado a 105 °C acima de 100 gr em 24 horas.
- Outros.

❖ Resíduos líquidos:

- Efluentes líquidos de fazendas leiteiras.
- Efluentes líquidos da produção de suínos.
- Efluentes líquidos de confinamentos gerados pelo escoamento da água da chuva.
- Outras.

ANEXO 1 (Padrão de Emissão)

Caracterização do resíduo estabilizado –

Líquido:

- ✓ pH
- ✓ Condutividade elétrica
- ✓ Sólidos totais (a 105 °C até peso constante)
- ✓ Nitrogênio total (Kjeldhal)
- ✓ Fósforo total
- ✓ Potássio Total
- ✓ Sódio
- ✓ Cálcio
- ✓ Magnésio

Sólido:

- ✓ pH 1: 5 (alteração / água destilada)
- ✓ Condutividade elétrica (alteração/água destilada)
- ✓ Matéria Orgânica a 550 °C (Calcinação)
- ✓ Nitrogênio total (Kjeldhal)
- ✓ N-NO₃⁻ (extração e quantificação de fenol dissulfônico ou eletrodo de íon específico)
- ✓ Fósforo total e extraível
- ✓ Potássio Total
- ✓ MOT / NT
- ✓ Sódio
- ✓ Cálcio

✓ Magnésio

ANEXO II (Padrão Ambiental)

Caracterização do solo (corpo receptor) –

Deve ser determinado:

- Condutividade elétrica 1: 2,5 (solo: água destilada);
- pH 1: 2,5 (solo: água destilada);
- Sódio;
- Potássio;
- Cálcio;
- Magnésio
- Determinação do PSI (Porcentagem de Sódio Trocável);
- Matéria Orgânica Oxidada (Walkey & Black);
- Nitrogênio total (Kjeldhal);
- N-NO₃ · (Método. de fenol-dissulfônico ou extração e determinação por eletrodo de íon específico);
- S-SO₄ "2 (por precipitação por cloreto de bário);
- Fósforo total e extraível.

Nota: Os parâmetros exigidos para as caracterizações previstas nos Anexos I e II atendem ao objetivo de permitir o acompanhamento por parte do Poder Executivo para garantir a sustentabilidade do Plano de Execução. A Autoridade Aplicadora poderá, caso constate desvios que o justifiquem, solicitar outros estudos que complementem os aqui exigidos. (CÓRDOBA, 2017, tradução nossa).

Note-se que no artigo 10 do referido Anexo, que segue abaixo reproduzido, exige-se a estabilização biológica do resíduo, tanto dos efluentes líquidos, como dos sólidos, de modo que os dejetos não podem ser aplicados sem qualquer tipo de tratamento prévio (CÓRDOBA, 2017).

Da Estabilização de Resíduos Pecuários

Artigo 10. Processos para alcançar o saneamento dos resíduos pecuários.

Estabilização biológica ou inativação térmica:

1-Efluentes líquidos pecuários:

O sistema de armazenamento de efluentes líquidos deve cumprir o que é exigido para Uso Agronômico pelo Decreto 847/16 do regulamento de padrões e normas sobre lançamentos para a preservação do recurso hídrico provincial (Art. 10, inciso 2 do Anexo III).

O tempo de armazenamento nas lagoas não deve ser inferior a 120 dias.

Os subprodutos da digestão anaeróbia, para uso agronômico posterior, eles devem ser armazenados por pelo menos 90 dias.

2- Resíduos sólidos pecuários:

Para que um resíduo seja considerado biologicamente estabilizado, pelo menos sua estabilização térmica deve ser garantida.

A evolução da temperatura é um reflexo da atividade metabólica dos microrganismos envolvidos na degradação dos dejetos do gado. É um bom indicador do fim da fase bio-oxidativa, pois a curva de temperatura se estabiliza. Dentre as opções disponíveis em boas práticas, para este fim podem ser consideradas as seguintes:

- Compostagem curta: Ter passado um estágio termofílico acima de 55° C por pelo menos três dias.
- Solarização: Desinfecção de resíduos sólidos por meio do calor gerado pela energia solar:
- Térmico: Aplique uma fonte externa de calor que gere uma temperatura na massa de resíduos superior a 55° C por pelo menos três dias. (CÓRDOBA, 2017, tradução nossa).

Ademais, o artigo 11 do Anexo em comento da Resolução que trata do protocolo do Plano de Aplicação, estabelece restrições de aplicação do resíduo estabilizado, que seguem abaixo elencadas:

- a) Nos locais onde ocorram processos de ressurgência do nível freático ou de abatimento de origem natural ou derivados de atividades antrópicas.
- b) Em áreas cobertas de neve, congeladas, desde que essa situação seja mantida.
- c) Em áreas de captação de água potável (com exceção de poços com perfurações maiores de 10 metros e desde que realizados de acordo com as disposições do Ministério de Recursos Hídricos e Planejamento).
- d) Em áreas localizadas a menos de 30 metros das margens dos cursos d'água superficiais ou abaixo do nível máximo de inundação por um período mínimo de vinte e cinco (25) anos de tempo de recorrência. Neste caso, deve ser considerada a maior distância que ambas as alternativas oferecem.
- e) Em áreas com declividade superior a quinze por cento (15%), com exceção daquelas correspondentes a sítios passíveis de recuperação paisagística e manejo de bacias hidrográficas, para as quais será considerada em cada caso a extensão comprometida no processo.
- f) Em áreas vizinhas a centros povoados ou com grande acesso público, a menos que seja demonstrado para cada situação que o aproveitamento agrônômico de resíduos animais não representa risco para a saúde humana.
- g) Quando houver risco de salinização ou sodificação do solo, bem como possível contaminação de lençóis freáticos.
- h) Os estabelecimentos que não forem saneados pelo SENASA não poderão transferir seus resíduos pecuários até a eliminação da novidade sanitária. (CÓRDOBA, 2017, tradução nossa).

Por fim, vale destacar que o artigo 12 do Anexo da referida Resolução prescreve que terão benefícios dos artigos 76 a 82 Lei 10208, os produtores que fizerem uso agrônômico dos resíduos, demonstrada sustentabilidade em um período de 3 anos (CÓRDOBA, 2017).

4.6.2. Diretrizes da União Europeia

A União Europeia com o objetivo de controlar e reduzir a poluição da água ocasionada pelos altos índices de nitrato, em razão de resíduos da utilização excessiva de fertilizantes, incluindo os dejetos utilizados como insumo agrícola, oriundos da atividade agropecuária, elaborou a Directiva do Conselho 91/676/CEE, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à “protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola” (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

A referida Directiva teve de ser elaborada em virtude do alto teor de nitrato que estava sendo constatado nas águas de algumas regiões dos Estados-Membros, em níveis superiores ao estabelecido nas Diretrizes do Conselho 75/440 / CEE, de 16 de junho de 1975, relativas a à qualidade exigida para as águas superficiais destinadas à produção de água potável nos Estados-Membros, conforme alterada pela Directiva 79/869 / CEE, e 80/778 / CEE, de 15 de julho de 1980, relativa à qualidade da água destinada à consumo humano, modificado pelo Ato de Adesão de 1985 (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

A Directiva estabeleceu a necessidade dos Estados-Membros identificarem as suas áreas vulneráveis e implementarem programas de ação, por meio de códigos de boas práticas agrícolas, que contenham medidas que limitem a aplicação à terra de todos os fertilizantes que possuam nitrogênio e, em particular, que estabeleçam limites específicos para aplicação de dejetos animais, nitrogênio com o objetivo de reduzir a poluição das águas, consoante se verifica dos artigos 1º e 4º da Directiva do Conselho nº 91/676/CEE, de 12 de dezembro de 1991, que seguem reproduzidos (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

Artigo 1

A presente directiva tem por objectivo:

- reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola e
- impedir a propagação da referida poluição. (...)

Artigo 4

1. A fim de assegurar um nível geral de proteção de todas as águas contra a poluição causada ou induzida por nitratos, os Estados-membros deverão, num prazo de dois anos a contar da data de notificação da presente directiva:

a) Elaborar um código ou códigos de boa prática agrícola a aplicar voluntariamente pelos agricultores, e que deverá conter disposições que abranjam, no mínimo, os elementos constantes do anexo II A;

b) Estabelecer, se necessário, um programa que inclua ações de formação e informação dos agricultores, para promover a aplicação do (s) código(s) de boa prática agrícola.

2. Os Estados-membros apresentarão pormenorizadamente o(s) seu(s) código(s) de boa prática agrícola e a Comissão incluirá informações sobre esse(s) código(s) no relatório referido no artigo 11º. A Comissão poderá, em função da informação recebida e se considerar necessário, apresentar propostas adequadas ao Conselho. (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

Nesta toada, o artigo 3º da Diretiva nº 97/676/CEE prescreve que os Estados-Membros determinarão, de acordo com os critérios definidos no Anexo I, que segue reproduzido, as águas afetadas pela poluição e as águas que poderiam ser afetadas por contaminação, se medidas não fossem tomadas (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

ANEXO I

CRITÉRIOS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS ÁGUAS NOS TERMOS DO Nº 1 DO ARTIGO 3º

A. Na identificação das águas referidas no n.º 1 artigo 3º serão aplicados, entre outros, os seguintes critérios:

1. As águas doces superficiais utilizadas ou a destinar à captação de água potável conterem ou poderão conter uma concentração de nitratos superior à definida de acordo com o disposto na Diretiva 75/440/CEE, caso não sejam empreendidas ações nos termos do artigo 5º;

2. As águas subterrâneas conterem ou poderão conter mais do que 50 mg/l de nitratos se não forem empreendidas ações nos termos do artigo 5º;

3. Os lagos naturais de água doce, outras reservas de água doce, os estuários, as águas costeiras e marinhas revelarem-se eutróficos ou poderão tornar-se eutróficos a curto prazo se não forem empreendidas ações nos termos do artigo 5º;

B. Na aplicação destes critérios, os Estados-membros deverão igualmente atender:

1. Às características físicas e ambientais das águas dos solos;
2. Aos conhecimentos disponíveis quanto ao comportamento dos compostos de nitrogênio no ambiente (águas e solos);
3. Aos conhecimentos disponíveis acerca do impacto das ações empreendidas nos termos do artigo 5º (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

O Anexo II da Diretiva prescreve o conteúdo mínimo dos códigos de boas práticas agrícolas a serem elaborados, sendo que estipula diversas condicionantes a serem observadas para prevenção de contaminações das águas superficiais, subterrâneas e solos (UNIÃO EUROPEIA, 1991), consoante rol que segue reproduzido:

ANEXO II

CÓDIGO (S) DE BOAS PRÁTICA AGRÍCOLA

A. Um código ou códigos de boa prática agrícola cujo objetivo seja reduzir a poluição causada por nitratos e que tenha em conta as condições nas diferentes regiões da Comunidade deverá incluir disposições que abranjam as seguintes questões, na medida em que forem relevantes:

1. Períodos em que a aplicação de fertilizantes aos solos não é apropriada;
2. A aplicação de fertilizantes em terrenos de forte inclinação;
3. A aplicação de fertilizantes em terrenos saturados de água, inundados, gelados ou cobertos de neve;
4. As condições de aplicação de fertilizantes nas proximidades de cursos de água;
5. A capacidade e a construção de depósitos de dejetos animal, incluindo medidas que evitem a poluição da água pela drenagem e derramamento para as águas subterrâneas ou superficiais de líquidos que contenham dejetos animal e efluentes provenientes de materiais vegetais armazenados, tais como silagem;
6. Métodos de aplicação de fertilizantes, incluindo a dose e a uniformidade do espalhamento, tanto dos fertilizantes químicos como do dejetos animal, de forma a manter as perdas de nutrientes para a água a um nível aceitável.

B. Os Estados-membros poderão incluir igualmente as seguintes medidas no(s) respectivo(s) código(s) de boa prática:

7. Gestão de utilização do solo, incluindo sistemas de rotação de culturas e a proporção relativa entre a área consagrada às culturas permanentes e às culturas anuais;
8. Manutenção de um nível mínimo de revestimento vegetal do solo durante as épocas (pluviosas) que absorverá o nitrogênio do solo que, de outra forma, poderia provocar a poluição da água pelos nitratos;

9. A elaboração de planos de fertilização para cada uma das explorações e de um registo da utilização de fertilizantes;

10. Prevenção da poluição de água provocada pela drenagem ou pela infiltração para além das raízes das plantas nos sistemas de irrigação. (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

Ademais, há que se ressaltar que o Anexo III da supramencionada Diretiva, que segue reproduzido, estipula as medidas que devem ser inseridas nos programas de ação, sendo que merece especial destaque a limitação anual da quantidade de dejetos aplicada por hectare de 170 kg N, com a possibilidade de se ter a exceção nos primeiros quatro anos do programa de ação para 210 kg N (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

ANEXO III

MEDIDAS A INCLUIR NOS PROGRAMAS DE ACÇÃO NOS TERMOS DO N.º 4 DA ALÍNEA a) DO ARTIGO 5.º

1. As medidas deverão incluir regras relativas:

1. Aos períodos em que é proibida a aplicação às terras de determinados tipos de fertilizantes;

2. À capacidade dos depósitos de dejetos animal; a capacidade destes depósitos deve exceder a necessária para a armazenagem do dejetos durante o período mais prolongado em que não é permitida a aplicação de dejetos animal às terras situadas nas zonas vulneráveis, exceto quando possa ser demonstrado a contento da autoridade competente que a quantidade de dejetos que exceda a capacidade real de armazenamento será eliminada de modo que não prejudique o ambiente;

3. Às doses máximas permissíveis de aplicação de fertilizantes aos solos, compatíveis com a boa prática agrícola e tendo em conta as características da zona vulnerável em questão, em especial:

a) As condições do solo, tipo de solo e declive;

b) As condições climáticas e, nomeadamente, a pluviosidade e a irrigação;

c) A utilização do solo e as práticas agrícolas, incluindo sistemas de rotação de culturas, e deve basear-se no equilíbrio entre:

i) as necessidades previsíveis de nitrogénio para as culturas e

ii) o fornecimento de nitrogénio às culturas a partir do solo e de fertilizantes correspondente:

— à quantidade de nitrogénio presente no solo no momento em que começa a ser significativamente usado pelas culturas (quantidades consideráveis no final do Inverno),

- ao fornecimento de nitrogênio através da mineralização líquida das reservas de nitrogênio orgânico no solo,
- ao composto de nitrogênio proveniente de estrume animal,
- ao composto de nitrogênio proveniente de fertilizantes químicos e outros.

2. Estas medidas devem assegurar que em cada exploração agrícola ou pecuária a quantidade de dejetos animal aplicado anualmente nas terras, incluindo pelos próprios animais, não exceda um montante específico por hectare.

A quantidade específica por hectare será a quantidade de dejetos que contenha 170 kg de nitrogênio. No entanto:

a) Para o primeiro programa de acção quadrienal, os Estados-membros poderão autorizar uma quantidade de dejetos que contenha até 210 kg de nitrogênio;

b) Durante e após o primeiro programa de acção quadrienal, os Estados-membros poderão estabelecer quantidades diferentes das acima referidas. Essas quantidades deverão ser fixadas de modo a não prejudicar a prossecução dos objetivos especificados no artigo 1.º e deverão ser justificadas com base em critérios objetivos, como por exemplo:

- longos períodos de crescimento,
- culturas de elevada absorção de nitrogênio,
- elevado volume de precipitação na zona vulnerável,
- solos com nível excepcionalmente elevado de desnitrificação.

▼M2

No caso de um Estado-Membro permitir a utilização de quantidades diferentes ao abrigo do ponto b) do segundo parágrafo, informa desse fato a Comissão que procederá à análise da justificação de acordo com o procedimento de regulamentação a que se refere o nº 2 do artigo 9º. 3. Os Estados-membros poderão calcular as quantidades referidas no ponto 2 com base no encabeçamento.

4. Os Estados-membros informarão a Comissão da forma como estão a aplicar o disposto no ponto 2. Em função das informações obtidas, a Comissão poderá, se o considerar necessário, apresentar propostas adequadas ao Conselho, nos termos do disposto no artigo 11º. (UNIÃO EUROPEIA, 1991).

4.6.3. Espanha - País Basco

Dentre os Códigos de Boas Práticas Agrícolas elaborados em atenção ao determinado na Diretiva do Conselho da União Europeia nº 97/676/CEE, de 12 de dezembro de 1991, sobre nitratos, merece especial atenção “Orden de 18 de diciembre de 2000, de los Consejeros de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente, de

Transportes y Obras Pública, y de Agricultura Pesca, por la que se aprueba el plan de actuación sobre las zonas declaradas vulnerables a la contaminación de las aguas por los nitratos procedentes de la actividad agraria” (BOPV nº 247, de 28 de dezembro de 2000) do País Basco (PAÍS VASCO, 2000).

O supracitado documento se difere dos Códigos das outras províncias, pois impõe sanções em seu artigo 2º, item 2, para a incorrência nas seguintes condutas: a) ultrapassar os limites de aplicação ou em épocas diferentes das autorizadas; b) desatender às condições de aplicação de fertilizantes estabelecidas no Plano de Ação; c) utilizar sistema de irrigação não autorizado no plano de ação ou utilizá-lo inadequadamente; d) efetuar captações de água sem concessão; e) aplicar dejetos sólidos de forma inadequada ou não respeitar as distâncias estabelecidas no Plano sobre a aplicação; f) não dimensionar suficientemente as esterqueiras e fossas de armazenamento para lama de acordo com as disposições do Plano; g) não preencher corretamente o caderno de exploração ou anotar dados nele falsos (PAÍS VASCO, 2000).

Os limites de aplicação são estabelecidos no item 2 do Anexo I - Plano de ação em áreas declaradas vulneráveis à poluição da água por nitratos da atividade agrícola, do supramencionado documento, em função das diferentes culturas e da qualidade do solo, as entradas totais de nitrogênio (de qualquer origem, orgânica ou mineral) expressa em UFN / ha (UFN = Unidades Fertilizantes nitrogenados), que não devem exceder as quantidades detalhadas no documento, e a sua aplicação deve ser feita no horário indicado em cada caso, sendo que sugere a realização de análises para determinar a qualidade do solo e o registro dos dados no Caderno de Operações (PAÍS VASCO, 2000).

Destaque-se que em nenhum caso o limite de 170 UFN / ha (ou os limites que depois são fixados nos regulamentos comunitários) poderá ser excedido, exceto durante os quatro primeiros anos de aplicação do Plano, em que se permitirá que valores maiores de até 210 UFN / ha sejam reduzidos progressivamente até o final daquele período, para 170 UFN / ha (PAÍS VASCO, 2000).

Ainda, no referido Anexo I, em seu item 3., são estipuladas as condições de aplicação dos fertilizantes, nos termos da Diretiva do Conselho da União Européia nº

97/676/CEE, sendo que vale reproduzir o subitem que trata do uso dos dejetos sólidos e líquidos como fertilizantes (PAÍS VASCO, 2000).

6.- Uso de dejetos sólidos e líquidos como fertilizantes.

Quando são aplicados dejetos sólidos, eles devem ser enterrados em um prazo máximo de 48 horas desde a sua distribuição no solo, exceto no caso de pradarias.

Com relação ao dejetos líquido (chorume), seu uso pode ser proibido como composto em fazendas onde há um alto perigo potencial de contaminação das águas por escoamento.

Para calcular as doses, tanto no caso de dejetos sólido quanto do líquido, é necessário levar em consideração sua riqueza e as possíveis contribuições anteriores ou posteriores de fertilizantes produtos químicos para a parcela, de forma a não ultrapassar os limites indicados no ponto 3.

No momento da aplicação, as seguintes distâncias mínimas devem ser respeitadas:

- 50 metros de uma fonte, poço ou furo que fornece água para consumo humanos ou usados em salas de ordenha.
- 200 metros de zonas balneares tradicionais ou consolidadas.
- Nas parcelas próximas aos cursos d'água, uma faixa de pelo menos 3 metros para aplicação. (PAÍS VASCO, 2000, tradução nossa).

Os itens 09 e 10, do supracitado Anexo I, propõem monitoramento de águas superficiais, subterrâneas e solo, para as áreas declaradas vulneráveis à poluição da água por nitratos da atividade agrícola (PAÍS VASCO, 2000), consoante se verifica abaixo.

9.- Medidas de controle para as explorações agrícolas.

A fim de garantir o cumprimento das regras contidas neste Pedido, um plano de controle anual será estabelecido pela Diretoria de Agricultura.

Serão realizados dois tipos de controle: administrativo e in loco, sendo que este último, afetam pelo menos 5% das fazendas e / ou parcelas incluídas nas zonas vulneráveis.

Os controles administrativos incluirão a inspeção do Registro de Operações correspondendo e verificando se há pedido de auxílio para tais parcelas em ao abrigo do Decreto 166/2000, de 28 de Julho, relativo às ajudas às explorações agrícolas, ao desenvolvimento e adaptação de áreas rurais e silvicultura comunitária Autônoma do País Basco.

As verificações no local podem incluir análises de solo, se estimado necessários pelos serviços técnicos competentes.

10.- Medidas para controlar e monitorar a evolução temporal da Zona Vulnerável.

O monitoramento da evolução temporal da Zona Vulnerável é proposto por:

- A amostragem mensal de 2 pontos de água representativos das águas subterrâneas do Setor Leste da Unidade Hidrogeológica de Vitória, localizada nos municípios de Arkaute e Ilarratza. Os parâmetros físico-químicos analisados são, além do íon nitrato (NO_3): Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl , SO_4 , HCO_3 , CO_3 , NO_2 , NH_4^+ , Fe, Mn, condutividade, Temperatura e pH. O acompanhamento se completa com a medida, em contínuo, da profundidade do nível piezométrico no ponto localizado em Arkaute. Leste.

O controle está em operação desde julho de 1999 e faz parte da Rede Básica de Controle de Águas Subterrâneas do Governo Basco.

- Uma amostragem geral, em uma base anual, de 15 pontos de água adicionais no Zona vulnerável, incluindo águas subterrâneas, águas superficiais (ambas na entrada como na saída do aquífero quaternário), bem como as duas zonas húmidas existentes dentro da zona. Os parâmetros físico-químicos controlados são os mesmos que no amostragens mensais. Este controle está operacional desde 1998. (PAÍS VASCO, 2000, tradução nossa).

4.6.4. Espanha - Catalunha

A Catalunha publicou o Decreto n. 153/2019, de 3 de julio, de gestión de la fertilización del suelo y de las deyecciones ganaderas y de aprobación del programa de actuación en las zonas vulnerables en relación con la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias (CATALUÑA, 2019).

No Preâmbulo consta justificativa para a elaboração do Decreto que reside na ausência de alterações significativas na qualidade das águas subterrâneas no que diz respeito aos níveis de nitratos nos últimos anos, de acordo com o artigo 5.5 da Diretiva 91/676 / CEE do Conselho da União Europeia, de 12 de Dezembro de 1991, razão pela qual se fez necessário adotar medidas adicionais às propostas no Decreto 136/2009, de 1 de setembro, e instituir um programa de ação reforçado para redução efetiva da carga de nitrogênio nas águas subterrâneas (CATALUÑA, 2019).

Destaque-se que o referido Decreto em seu Preâmbulo salienta que os dejetos possuem valores de fósforo superiores aos valores de nitrogênio, se comparado às necessidades das plantas cultivadas, e que normalmente a dosagem é realizada à base de nitrogênio, que em casos de volatilização significativa desta substância na

forma de amônia, pode acentuar o desequilíbrio em relação ao fósforo. No mais, no caso de tratamentos de dejetos que levam à remoção de nitrogênio, esses desequilíbrios mencionados entre nitrogênio e fósforo e alguns outros nutrientes, como o potássio, podem ser ainda maiores (CATALUÑA, 2019).

Ademais, aponta que as amostragens de solo realizadas nos últimos anos evidenciam níveis de fósforo em muitos casos claramente acima das necessidades das culturas, o que torna evidente a necessidade de alguma regulamentação sobre esses aspectos, principalmente para proibir a aplicação de nutrientes nas zonas vulneráveis, e incentivar a exportação de nutrientes com o objetivo de criar um mercado para os dejetos animais, com o fulcro de promover uma economia circular (CATALUÑA, 2019).

O Preâmbulo ainda destaca que os desenvolvimentos tecnológicos nos sistemas de tratamento de resíduos levaram a mais e mais produtos com composições e comportamentos diferentes: frações digeridas, sólidas e líquidas, efluentes de nitrificação-desnitrificação, o que também torna necessário regular também as condições de aplicação (CATALUÑA, 2019).

Verifica-se no artigo 20 do Decreto em comento que as unidades máximas de nitrogênio de dejetos e outros fertilizantes aplicáveis às culturas em áreas vulneráveis permanecem na meta inicial da Diretiva 91/676 / CEE do Conselho da União Europeia, de 12 de Dezembro de 1991, de 170 kg N / ha por ano, sendo que o Anexo 5 especifica os cultivos em áreas vulneráveis e os limites máximos aplicáveis por hectare (CATALUÑA, 2019).

Faz-se importante ressaltar o que os dispositivos 22 e 23 do Decreto nº 153/2019 prescrevem a respeito da aplicação dos dejetos, pois é vedada a irrigação para dejetos líquidos, exceto as frações líquidas do tratamento dos dejetos podem ser aplicadas através de sistemas de irrigação localizada ou por aspersão (desde que não seja por canhão), além de requisitos como uniformidade de distribuição e bom ajuste da dose (CATALUÑA, 2019).

Ainda, sobre os dejetos líquidos o Anexo 7 do supracitado Decreto estipula os requerimentos técnicos dos sistemas de aplicação, inclusive para minimizar a volatilização do nitrogênio amoniacal e emissão de maus odores, sendo que da tabela

abaixo verifica-se o motivo da diferença do cuidado na aplicação dos dejetos líquidos (Purín porcino) e dos sólidos (Estiércol porcino) (CATALUÑA, 2019).

Tabela 16 - Porcentagem do N total de fertilizantes orgânicos liberados no primeiro ano

Tabla 10	
Porcentaje del N total de los abonos orgánicos liberado el primer año	
Tipos de abono	% de N total
Estiércol bovino	30
Purín bovino	70
Estiércol porcino	30
Purín porcino	70
Estiércol ovino o caprino	50
Gallinaza	70
Estiércol conejo	30
Estiércol equí	30
Lodo depuradora no compostado	70
Lodo depuradora compostado	30
Compost de FORM	20

Fonte: CATALUÑA, 2019.

O Artigo 29 do Decreto nº 153/2019 (CATALUÑA, 2019) estipula que as concentrações máximas de nutrientes no solo constam do Anexo 9 que segue abaixo reproduzido, do qual se destaca o controle dos parâmetros nitrogênio, fósforo e potássio:

ANEXO 9. Concentrações máximas de nutrientes no solo

a) Concentrações máximas de nitrogênio na forma de nitrato

A concentração de nitrogênio na forma de nitrato nos solos não deve exceder os seguintes valores, para os períodos especificados do ano:

Tipo de cultivo uso del terreno	Concentración máxima de N en forma de nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ /kg suelo seco a 105°C)	Período en que no se puede superar la concentración máxima
Cultivos leñosos en secano, excepto olivar (1)	25	1 octubre - 30 noviembre
Cultivos leñosos en regadío, excepto olivar y cítricos (1)	30	1 octubre - 30 noviembre
Olivar (1)	25	Diciembre y enero
Cítricos (1)	30	Diciembre y enero
Cereal de invierno	35 (en regadío) 25 (en secano)	1-30 junio (si ya se ha realizado la cosecha o bien el cultivo ha alcanzado madurez fisiológica). Si la madurez fisiológica es posterior al 15 de junio, el período en que no se debe superar la concentración máxima al suelo abarca, adicionalmente, desde el momento de la madurez fisiológica hasta los 25 días posteriores a la cosecha.
Maíz y sorgo	35	15 octubre - 15 noviembre (si ya se ha realizado la cosecha o bien el cultivo ha alcanzado madurez fisiológica). Si la madurez fisiológica es posterior al 15 de noviembre, el período en que no se debe superar la concentración máxima al suelo abarca, adicionalmente, desde el momento de la madurez fisiológica hasta los 30 días naturales posteriores.
Otros cultivos herbáceos extensivos	35 (en regadío) 25 (en secano)	Durante los 30 días naturales posteriores a la cosecha o la finalización del aprovechamiento anual
Cultivos hortícolas, de flores o de planta ornamental, tanto al aire libre como en invernadero (2)	40	Noviembre, diciembre y enero (siempre que ya haya finalizado la recolección)
Barbechos y terrenos cultivables libres de cultivo	20	Cualquier momento del año
Pastos con aprovechamiento mixto	35	Noviembre, diciembre y enero (siempre después del aprovechamiento)
Pastos sin aprovechamiento mixto	25	Noviembre, diciembre y enero
Terrenos forestales y otros terrenos no agrícolas	10	Cualquier momento del año

(1) En caso de cultivos leñosos que aún no hayan entrado en producción, es aplicable la misma concentración máxima y el mismo período que en el caso de estar en producción.

(2) Excetuam-se as superfícies onde a fertirrigação é feita com recirculação de lixiviados.

Fora das épocas indicadas na tabela acima, o teor de nitrogênio na forma de nitrato não deve exceder o valor de 75 mg N-NO₃⁻ / kg de solo seco a 105 °C.

Os valores da tabela não são aplicáveis no caso de culturas que sofreram danos catastróficos devido à seca, acidentes meteorológicos ou outras circunstâncias que diminuam anormalmente a colheita.

Para fins de inspeção e controle da correta fertilização, a amostra de solo deve ser obtida antes de fertilizar a próxima safra, deve ser representativa e será constituída pela mistura e homogeneização de 25 subamostras obtidas de uma superfície menor ou igual a 4 ha explorada de forma homogênea. As subamostras devem ser obtidas de 0 a 25 cm de profundidade. Para que a amostragem seja representativa, as práticas de fertilização deverão ser consideradas (fertirrigação localizada, etc.). A extração do nitrato é realizada com água em uma amostra fresca.

b) Concentrações máximas de fósforo

Em solos agrícolas onde a concentração de P (método analítico de Olsen) excede o limite de 150 mg P / kg de solo seco a 105 °C, não se poderá aumentar o nível deste nutriente. Os solos que ultrapassarem este limite serão submetidos a uma segunda amostragem após pelo menos três anos, o que será feito durante o mesmo mês do ano em que o primeiro foi feito. A concentração de P determinada nesta segunda amostra deve ser inferior à da primeira amostra.

A amostra de solo deve ser representativa e será constituída pela mistura e homogeneização de 25 subamostras obtidas de uma superfície inferior ou inferior igual a 4 há explorada de forma homogênea. As subamostras devem ser obtidas de 0 a 25 cm de profundidade.

c) Concentrações máximas de potássio

Em solos agrícolas que recebem frações líquidas de NDN ou sistemas de tratamento semelhantes, e nos quais a concentração de K (extração com acetato amônio) excede os limites listados abaixo, não se poderá aumentar o nível desse nutriente.

Os limites máximos são mostrados na tabela a seguir. Os limiares dependem do tipo de solo, que, de acordo com sua textura, é classificado em três grupos:

Grupo I: solos arenosos, franco-arenosos e franco-arenosos.

Grupo II: solos argilo-argilosos, argilo-arenosos, argilo-argilosos, siltosos e argilo-arenosos.

Grupo III: solos franco-argiloso, franco-argiloso, siltoso-argiloso e argiloso.

Grupo de solo	Concentração máxima de K (ppm)
I	100
II	400
III	600

Os teores de potássio referem-se a mg K / kg de solo seco a 105°C.

A amostra de solo é obtida como no caso do fósforo. (CATALUÑA, 2019, tradução nossa).

Veja que o conteúdo mínimo do Plano de Manejo exigido no artigo 34 do Decreto em tela, que segue reproduzido, estabelece que deverão ser indicados os tratamentos a serem realizados nos dejetos, cálculo anual de nitrogênio nos dejetos a serem utilizados como fertilizantes, inclusive terá de ser apresentado um plano de monitoramento e controle do tratamento, com ênfase especial nos parâmetros a serem analisados e nas frequências de amostragem.

Artigo 34. Conteúdo do plano de manejo de dejetos.

O plano de gestão de dejetos pecuário deve conter pelo menos as seguintes informações:

a) Dados do proprietário da exploração.

b) Capacidade pecuária existente (ou a ser alcançada, se aplicável) de acordo com a espécie, fase produtiva e sistema de produção. Sistema de sustentabilidade (produção orgânica, etc.). Em caso de expansão da capacidade pecuária em área vulnerável, indicação do pressuposto de que é cumprida, de acordo com o Artigo 54 deste Decreto.

c) Cálculo da quantidade anual de nitrogênio nos dejetos, de acordo com a espécie animal, fase produtiva e tipos de dejetos, de acordo com o Anexo 1 deste Decreto.

d) Descrição e capacidade do sistema de armazenamento de dejetos.

e) Tratamentos a serem realizados nos dejetos na exploração pecuária: descrição, capacidade (em toneladas ou metros cúbicos de esterco e também em quilos de nitrogênio), indicando a distribuição de nitrogênio, fósforo e potássio entre as diferentes fases resultantes, ou eliminação de nitrogênio, quando ocorra. Um plano de monitoramento e controle do tratamento, com ênfase especial nos parâmetros a serem analisados e nas frequências de amostragem.

No caso de o tratamento na fonte produzir fertilizantes incluídos no âmbito da regulamentação específica sobre produtos fertilizantes, ou substratos incluídos no escopo da regulamentação específica sobre substratos, os quais devem ser devidamente credenciados através dos registros correspondentes, o plano de manejo não precisa indicar a destinação subsequente específica dessa parte do dejetos.

f) Relação dos terrenos onde se prevê a aplicação do dejetos (ou, se for o caso, das frações resultantes do seu tratamento), conforme modelo padronizado no plano de gerenciamento. As doses máximas de nitrogênio no dejetos que a base agrícola de um plano de manejo admite são aquelas estabelecidas no Anexo 12. A base agrícola que faz parte de um plano de manejo não pode fazer parte de outros planos de manejo.

g) Nos casos previstos nos artigos 54.1.f) e 55 d), cópia das análises de solo, realizadas no máximo um ano antes da data de apresentação do plano de manejo, demonstrando que as salas de recebimento localizadas em ZV-B não ultrapassam o limite de P (método analítico de Olsen) de 80 mg P / kg de solo seco a 105°C, bem como declaração do responsável informando sobre a fertilização da fazenda onde o dejetos é aplicado com a identificação das coordenadas de onde a amostra foi retirada.

h) Acreditação documental de que tem o direito de aplicar dejetos animal na área contribuída necessária para o seu manejo adequado.

e) Previsão de entregas a gestores de resíduos ou centros de gestão de dejetos animal, com acreditação documental do acordo com essas entidades.

j) Condições em que será realizada a vigilância e manutenção das instalações de armazenamento.

k) Outros destinos previstos para os excrementos e comprovação da sua gestão, nos termos da regulamentação em vigor. (CATALUÑA, 2019, tradução nossa).

4.6.5. América do Norte - Canadá

Não foi encontrada regulamentação federal do Canadá. O “Farm Guideless Practices” da Província de Manitoba, o item 4.3. trata do uso dos dejetos como fertilizante para

produção agrícola, e logo no seu introito explana a necessidade de eficiente gestão dos nutrientes para evitar impactos ambientais (MANITOBA, 2007, p. 32).

O Guia orienta que seja realizado teste do solo primeiro, pois somente com a amostragem e análises do solo será possível determinar o estado nutricional de uma área para que sejam especificadas as dosagens específicas, razão pela qual há se realizar análises também dos dejetos que serão aplicados, consoante segue abaixo reproduzido (MANITOBA, 2007, p. 32-33).

4.3.1. Teste o solo

Qualquer que seja a estratégia empregada para um campo, os solos devem ser amostrados no 0 a 15 centímetros (cm) (0 a 6 pol.) e 15 a profundidades de 60 cm (6 a 24 polegadas), e amostras compostas para cada profundidade devem ser mantidas separadas para análise.

Embora uma variedade de “agrupamentos” analíticos sejam disponíveis, um que inclui nitrato-N, trocável K, e P disponível deve ser selecionado. Nitrato-N deve ser determinado nas amostras de 0 a 15 cm e 15 a 60 cm (0 a 6 pol. E 6 a 24 pol.) , enquanto K trocável e P disponível só precisam ser determinados nas amostras de 0 a 15 cm.

Existem vários métodos analíticos para determinar P disponível e os resultados de cada um pode ser consideravelmente diferente. Recomenda-se análise de P_2O_5 contida no “Guia de Fertilidade do Solo Manitoba” para P ou Olsen P extraível com bicarbonato de sódio.

Em áreas onde a salinidade (concentração de sais solúveis) ou sodicidade (excesso de sódio em relação ao cálcio e magnésio) é uma preocupação, condutividade elétrica (EC) e taxa de adsorção de sódio (SAR), devem ser considerados nas análises.

Profissionais qualificados devem ser consultados para obter conselhos sobre como selecionar a mais apropriada estratégia de amostragem, pacote analítico e protocolos adequados para coleta, manuseio e envio de amostras de solo para análise laboratorial (consulte o Apêndice F).

Recomendações de fertilizantes

O relatório de teste de solo também deve conter recomendações para qualquer fertilizante adicional e isso é necessário. A quantidade adicional de nutrientes necessários deve se basear nos resultados de teste de solo e um rendimento de colheita realista alvo fornecido pelo produtor. As metas realistas de rendimento podem ser determinadas usando experiência do produtor e conhecimento da capacidade produtiva dos solos de uma determinada propriedade.

4.3.2 Teste os dejetos

Testando os dejetos para cada operação pecuária e a cada evento de aplicação é a melhor maneira para estimar o teor de nutrientes dos dejetos.

Uma análise dos dejetos deve ser baseada em uma amostra representativa bem misturada. Estrume é muito heterogêneo e obter uma amostra representativa pode ser muito difícil.

Às vezes, mais de uma amostra é necessária para estimar a concentração do nutriente porque as características se alteram, principalmente se for sólido ou líquido.

(...)

Um “agrupamento” básico de análise de estrume deve incluir nitrogênio total (TKN), amônio N, P total, K total e teor de matéria seca. O N orgânico é calculado subtraindo o N de amônio de N. total. Em alguns casos, as análises de micronutrientes também podem ser desejáveis.

As taxas de aplicação são frequentemente baseadas em níveis estimados de nutrientes dos dejetos ou livro com recomendações de adubação. Os valores estimados não são tão confiáveis como vários testes de dejetos para uma operação porque os níveis de nutrientes destes variam amplamente.

Estimativas imprecisas levarão a taxas de aplicação que são mais baixas ou maiores do que o necessário. (MANITOBA, 2007, p. 32-33, tradução nossa).

No mais, supracitado Guia, no item 4.5., trata dos impactos ambientais na utilização dos dejetos fertilizantes, com destaque à saúde humana, pois apesar deste método consistir em fonte valiosa de nutrientes e matéria orgânica, que pode substituir ou reduzir a necessidade de fertilizante sintético, existem riscos associados que devem ser minimizados através da gestão adequada (MANITOBA, 2007, p. 45-47).

4.5.1 Odor

A relação potencial entre odores e a saúde é abordada em detalhes na Seção 5. Esta seção também fornece gerenciamento opções para lidar com questões de odor quando aplicação de estrume nas proximidades de vizinhos.

4.5.2 Contaminação de nitrato de água potável

A água subterrânea pode conter nitrato de fontes naturais (por exemplo, turfeiras), comerciais, fertilizantes, sistemas de esgoto doméstico ou dejetos. O nitrato é muito solúvel em água e pode ser facilmente lixiviado em solos com boa drenagem interna (por exemplo, solos arenosos) quando os níveis de umidade são altos. A lixiviação de nitrato abaixo da zona de enraizamento da cultura pode eventualmente chegar às águas subterrâneas, que podem servir como fonte de água potável.

A diretriz máxima aceitável concentração de nitrato na água potável, definido pela Health Canada, é de 10 miligramas por litro (mg / L) de nitrato-N (ou 45 mg / L nitrato). Abaixo de 10 mg / L, o nitrato não parece causar problemas de saúde. Acima deste nível, pode haver preocupações com a saúde, particularmente para crianças menores de um ano de idade e mulheres grávidas. Para bebês, ingestão de nitrato pode resultar em falta de oxigênio no sangue, que se manifesta em uma coloração azulada da pele e da boca.

Esta condição é chamada de metemoglobinemia ou “síndrome do bebê azul”. Em mulheres grávidas, a presença de nitrato pode causar falta de oxigênio para o feto. A possibilidade de síndrome do bebê azul é inteiramente evitável, evitando o consumo de água rica em nitratos.

Embora os adultos tenham uma tolerância maior para nitratos, alguns estudos sugerem uma associação entre nitratos na água potável e o desenvolvimento de câncer de estômago. Para adultos, comida é geralmente a principal fonte de ingestão de nitrato, a menos que a água potável contenha elevado concentrações. Uma ligação entre água potável alto em nitratos e câncer gástrico tem sido observado em alguns estudos, no entanto, outros estudos não apoiaram esta associação e, até o momento, nenhuma conclusão firme sobre beber água rica em nitratos causando gástrico câncer foram feitos.

Como existem muitas fontes potenciais para níveis elevados de nitrato em consumo privado poços de água, é aconselhável ser a água testada regularmente. Isto é particularmente importante, se membros da família incluem mulheres grávidas ou bebês. Seu escritório regional de Manitoba Water Stewardship pode ser contatado para aconselhamento sobre como ter sua água potável testada.

- Gerenciando estreme para reduzir o risco de contaminação de nitrato de lençóis freáticos

Armazenamento descuidado ou impróprio, N excessivo aplicado, bem como revestimentos de poços não protegidos devidamente podem resultar em águas subterrâneas contaminadas. O melhor preventivo consiste em medidas que garantam que fontes de N, seja dejetos ou fertilizante comercial, sejam armazenados adequadamente e aplicados a taxas que atendam aos requisitos da planta.

Embora os níveis de nitrato-N sejam muito baixos em adubo, o N orgânico e N de amônio pode ser convertido em nitrato-N quando o dejetos é aplicado ao solo. Em excesso ou aplicado por longos períodos pode resultar no acúmulo de N no solo. Todos os campos que irão receber dejetos devem ser testados para resíduos nitrato-N para que para a realização de um adequado cálculo da taxa de aplicação (...) Cuidado extra deve ser tomado ao aplicar estreme às vezes que aumentam o período de tempo durante o qual o nitrato pode ocorrer lixiviação.

Embora o risco seja baixo para muitos dos Solos agrícolas e aquíferos de Manitoba, aplicações de dejetos e fertilizantes, deve ser sempre adequado e dosado a fim de minimizar o risco de contaminar as águas subterrâneas.(...)

4.5.3 Áreas de águas subterrâneas sensíveis

Em algumas áreas, solo e água subterrânea as condições são mais sensíveis à agricultura práticas, especificamente a aplicação de inorgânico ou orgânico (estreme) N fertilizantes. O grau de sensibilidade de um aquífero para contaminação depende de muitos fatores. Estes podem incluir a profundidade do aquífero, o tipo de aquífero, as propriedades de material de sobrecarga que recobre o aquífero (solo, subsolo e material original composição e estrutura), o tipo de vegetação na superfície do solo, e se a área está localizada dentro de uma fonte de recarga.

Onde há solos muito permeáveis, como grosseiros, areias ou cascalhos, imediatamente se sobrepõem a um aquífero ou onde a sobrecarga acima de um aquífero é raso, nutrientes aplicados à superfície do solo podem lixiviar rapidamente além das profundidades de enraizamento da cultura e eventualmente atingir o aquífero. Uma vez que essas áreas tendem a ser excessivamente bem drenadas, a produtividade da colheita muitas vezes é

relativamente baixa e a absorção da planta e dos nutrientes tendem a ser limitadas.

4.5.4 Perda de nutrientes para as águas superficiais

Nitrogênio e fósforo são os dois nutrientes primários de dejetos de preocupação relativamente à qualidade das águas superficiais. Excesso desses nutrientes na água resultam em eutrofização e têm sido associados à morte de peixes.

Nitrogênio - estrume contém N como amônio (NH_4) que é tóxico para o meio aquático vida e pode se converter para amônia (NH_3) que é a forma mais tóxica. O maior risco de amônio do esterco entrando na superfície a água é por escoamento direto ou erosão logo após a aplicação.

Fósforo - a eutrofização é o enriquecimento de corpos d'água por nutrientes - tanto N como P. Fósforo, no entanto, é o nutriente que mais comumente limita a planta em crescimento em corpos de água doce. Excesso P entrar na água pode resultar em aumento produção de algas e outras plantas aquáticas, afetando a qualidade da água e a diversidade de organismos presentes. Durante o inverno, o aumento da decomposição de algas e plantas aquáticas pode esgotar o suprimento de oxigênio na água, potencialmente causando a morte de peixes. Em altas concentrações de P na água doce, algas verdes podem florescer e liberar toxinas que podem prejudicar a vida selvagem, gado e humanos se beberem a água.

- Gerenciamento de estrume para reduzir o risco da contaminação da água superficial

Os nutrientes dos dejetos podem contaminar a superfície da água se escorridos para a água superficial diretamente através do escoamento ou erosão do solo de terras que recebem dejetos. Os dejetos líquidos e as suas taxas de aplicação não devem exceder a capacidade do solo para absorver os dejetos. Solos de textura pesada, como solos argilosos, têm muitas taxas de infiltração mais lentas do que solos de textura leve. (...) Reduzidos teores de taxas de aplicação também podem ser necessárias em terras inclinadas e os dejetos não devem ser aplicados quando há previsão de chuva forte. Práticas de cultivo que reduzam a erosão do solo devem ser adotadas.

4.5.5 Transferência de patógenos para a superfície da água ou lençol freático

Dejetos possuem bactérias, vírus, protozoários e parasitas, alguns dos quais podem ser patogênico (causar doença) em humanos.

Esses organismos nos dejetos podem atingir a superfície da água se o dejetos sair da área de aplicação através escoamento superficial ou erosão ou se o dejetos é acidentalmente derramado ou intencionalmente descarregado em água da superfície. Embora o solo tenda a agir como um filtro natural que protege as águas subterrâneas da contaminação por patógenos, pode haver um risco de micro-organismos se movendo através o perfil do solo para as águas subterrâneas sob certas condições, como a presença de material de superfície texturizado, águas rasas mesa, rocha fraturada ou poços mal construídos.

As aplicações de estrume devem ser sempre gerenciadas adequadamente para minimizar o risco de se tornar um contaminante de águas superficiais e lençóis freáticos. O risco da água contaminação de patógenos será reduzido quando os contratempos listados na Tabela 9 e a Tabela 10 são mantidos. Os riscos à saúde da comunidade de contaminação por patógenos são ainda mais reduzidos quando as precauções da Seção 3.6 são seguidas.

4.5.6 Requisitos para aplicação de dejetos em terras adjacentes a águas de superfície ou águas superficiais de curso d'água

Para reduzir o risco de escoamento de contaminantes de dejetos em poços de água potável, poços devem ser localizados e construídos para proteger a qualidade da água a longo prazo (Consulte a Seção 6.3).

Recuos para aplicação em terras adjacentes a águas superficiais ou curso de água superficial reduz o risco de escoamento de dejetos contaminados na água. A eficácia depende de fatores como largura, solo e condições da paisagem e a intensidade e duração das chuvas. Para reduzir o risco do fluxo superficial adentrar em sumidouros, nascentes ou poços, a área imediatamente em torno dessas características deve ser semeado para cobertura permanente. Tabela 9 fornece parâmetros de recuo para aplicação de dejetos em terreno adjacentes à superfície água ou um curso de água superficial.

A topografia deve ser considerada quando aplicação dos dejetos. Conforme a inclinação aumenta, a chance de que os dejetos também escorram aumenta. Portanto, cautela e gestão são necessárias ao aplicar estrume para terras inclinadas, particularmente terreno em declive acentuado (seis por cento ou maior). Práticas de gestão de solo que reduzam o escoamento e a erosão do solo devem ser praticado em terras adubadas com dejetos.

(...)

4.5.7 Emissões de gases de efeito estufa

Gases de efeito estufa são compostos no ar que aumentam a quantidade de energia do sol presa na terra, resultando em aumento da temperatura atmosférica. Isto é conhecido como efeito estufa. Dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) são os três gases de efeito estufa ligados à agricultura. A aplicação de dejetos é uma fonte de CO_2 e N_2O . O dióxido de carbono é gerado pela queima de combustíveis fósseis para fabricar fertilizantes comerciais e operar equipamentos de aplicação de dejetos. Isto é também produzido quando o solo é arado para incorporar aplicação de dejetos na superfície porque o preparo do solo resulta na quebra de matéria orgânica do solo. Desnitrificação produz N_2 o que é uma estufa potente gás. A desnitrificação é mais comum em solos saturados onde os microrganismos são forçados a usar nitrato para respirar porque o oxigênio não está disponível.

Práticas de gestão benéficas que reduzem os gases de efeito estufa da aplicação de dejetos muitas vezes possuem benefícios ambientais ou econômicos.

Emissões de dióxido de carbono na aplicação de dejetos podem ser reduzidas ou minimizadas com a diminuição da utilização de equipamentos no campo que queimem menos combustíveis fósseis. (...)

Além disso, maximizando a absorção de N dos dejetos pela colheita, irá reduzir a quantidade de nitrato que permanece no solo nas épocas do ano (como no início da primavera) quando o risco de lixiviação ou desnitrificação é alta. Isso pode ser alcançado através da alcance da dosagem ideal de aplicações de dejetos a taxas próximas aos nutrientes necessários da colheita alvo. (MANITOBA, 2007, p. 42-47, tradução nossa).

No mais, o The Environment Act (C.C.S.M. c. E125) – Regulation 42/98 de Manitoba, que tem como objeto “Livestock Manure and Mortalities Management Regulation” - Regulamento de Manejo de Dejetos e Mortalidades ne Pecuária (MANITOBA, 1998) estipula as seguintes regras ambientais:

Objetivo

2. O objetivo deste regulamento é prescrever requisitos para o uso, gerenciamento e armazenamento de dejetos e mortalidade pecuária em operações agrícolas, a fim de que os dejetos e as mortalidades sejam tratadas de forma ambientalmente correta.

(...)

Aplicação permitida dos dejetos na terra

12 (1) Ninguém deve aplicar dejetos na terra que não seja como fertilizante em terrenos em que uma colheita

(a) está crescendo; ou

(b) será plantada durante o próximo cultivo temporada.

12 (1.1) Apesar da cláusula (1) (b), nenhuma pessoa deve, sem a aprovação do diretor ou um oficial de meio ambiente autorizado pelo diretor, aplicar dejetos em terras não semeadas antes de 15 de agosto, se a terra não será semeada antes da primavera do próximo ano.

(...)

12 (1.4) Ninguém deve aplicar dejetos de uma maneira ou a uma taxa de aplicação que, levando em consideração a safra que a pessoa cultiva a terra fertilizada com dejetos, possa resultar na concentração de nitrogênio :

(a) mais de 157,1 kg / ha (140 libras por acre) dentro dos 0,6 m (2 pés) superiores do solo, para os solos :

(i) da classe de solo 1,

(ii) da classe de solo 2, e

(iii) da classe de solo 3, diferente da classe de solo 3M, 3ME, 3MI, 3MN, 3MP, 3MT, 3MW ou qualquer outra subclasse de classe de solo 3 com um "M" designação de subclasse;

(b) mais de 101 kg / ha (90 libras por acre) dentro dos 0,6 m (2 pés) superiores de solo para solo classe 4, classes de solo 3M, 3ME, 3MI, 3MN, 3MP, 3MT ou 3MW e qualquer outra subclasse de solo classe 3 com uma designação de subclasse "M"; ou

(c) mais de 33,6 kg / ha (30 libras por acre) dentro dos 0,6 m (2 pés) superiores da classe 5 de solo.

(...)

12 (2) Ninguém deve aplicar dejetos se, devido a fatores meteorológicos, topográficos ou condições do solo, ou a taxa de aplicação de dejetos (a)

causar poluição das águas superficiais, água subterrânea ou solo; ou (b) escapar do limite da área agrícola da operação.

(...)

Aplicação permitida para fósforo:

12.1 (1) Ninguém deve aplicar dejetos de uma forma ou com uma taxa de aplicação ao contrário das subseções (2) a (5).

12.1 (2) Quando a amostragem do solo determina pelo método de Olsen os níveis de fósforo na profundidade do solo entre 0 e 0,15 m (6 polegadas) e em qualquer lugar da área de aplicação:

(a) 60 ppm ou mais, mas menos do que 120 ppm, a taxa de aplicação de dejetos não deve exceder duas vezes a taxa anual de remoção da cultura de P_2O_5 ; ou

(b) 120 ppm ou mais, mas menos do que 180 ppm, a taxa de aplicação de dejetos não deve exceder a taxa anual de remoção da cultura de P_2O_5 .

(...)

Proibições de aplicações de dejetos no inverno:

14 (1) Exceto conforme disposto nesta seção, a pessoa não deve aplicar dejetos na terra entre 10 de novembro de um ano e 10 de abril do ano seguinte. (MANITOBA, 1998, tradução nossa)

5. DISCUSSÃO

A suinocultura gera um grande volume de dejetos dos animais que necessita ter destinação adequada, a fim de que não gere danos ambientais, sendo que frente ao seu valor agronômico, a forma de destinação mais comumente empregada é a sua utilização como insumo agronômico em granjas.

Os dispêndios econômicos com este tipo de destinação são menores, pode gerar lucratividade se o excedente pode ser comercializado. A utilização dos dejetos no próprio local de sua geração consiste em prática sustentável e que promove uma economia circular, mas que pode ocasionar impactos ambientais se não houver o manejo adequado.

Vale destacar que a destinação dos dejetos de suínos para aterros sanitários se demonstra inviável, não só pelo valor agronômico dos dejetos, mas pela dificuldade que se teria em sua operacionalização, o que envolveria altos dispêndios econômicos, devido à localização das granjas normalmente em municípios distantes de grandes centros urbanos, que sequer possuem aterros sanitários, assim como de superlotação dos aterros devido às altas quantidades de dejetos que são geradas diariamente em zonas suínícolas.

No mais, outras formas de destinação incluem a sua utilização para geração de energia e biofertilizante, na sua utilização do método de biodigestão, e que geram créditos de carbono, porém, a despeito de sustentável, a compra dos equipamentos envolve altos dispêndios econômicos, o que torna a prática de difícil implementação.

Em sendo assim, a utilização dos dejetos como insumo agrícola é uma realidade e consiste na principal forma de sua destinação, razão pela qual é importante o seu estudo e discussão, principalmente por sua composição química que advém de rações altamente enriquecidas com nutrientes, metais e suplementos, que não são aproveitados em sua integralidade na digestão dos animais.

Deste modo, os dejetos suínos podem se tornar fonte de poluição ambiental por Nitrato (N), Fósforo (P), Potássio, Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mg), inclusive de medicamentos - antibióticos, produtos sanitários - acaricidas, germicidas, microrganismos fecais patogênicos, advindos de sua composição química,

principalmente se aplicados na mesma área de forma indiscriminada e por longos espaços de tempo.

Nesta senda, constata-se preocupação quanto aos impactos ambientais na aplicação dos dejetos no solo e da dosagem ideal para o equilíbrio entre a composição química dos dejetos, bem como a quantidade de nutrientes requeridas pelas plantas, a fim de que o excesso e a utilização desta prática ao longo tempo não desencadeiem possíveis impactos ambientais no solo e nas águas superficiais e subterrâneas, assim como aos seres humanos.

A tarefa da dosagem reside em medir com sucesso o teor de nutrientes nos dejetos e efetuar o cálculo de taxas de aplicação, sendo que devem ser feitas tolerâncias para o N disponível nos dejetos, perdas para a atmosfera como NH_3 e variação potencial na aplicação, com o cuidado para não resultar em aplicação excessiva de P. Ainda, sob a ótica do teor de P sob o suprimento de nitrogênio, acarreta na necessidade de adicionar N inorgânico.

Ademais, como há diferenças nos equipamentos de aplicação de dejetos, há que se efetuar os cálculos também de acordo com os métodos de disposição escolhidos, com a ressalva de que devem ser realizadas análises para caracterização da composição química dos dejetos e seu monitoramento, inclusive de Nitrogênio, Fósforo, metais, microrganismos patogênicos, características físico-químicas, antes que seja efetuada a sua aplicação no solo.

No que tange à análise dos impactos ambientais, faz-se importante diferenciar a possibilidade de aplicação dos dejetos de suínos nas suas formas sólida e líquida, ambas são utilizadas, porém as consequências para o meio ambiente podem ser diferentes em havendo os seus manejos inadequados.

Os sistemas de dejetos sólidos utilizam em regra o método das camas secas, sobrepostas, sendo que os materiais da cama absorvem a água e mudam a proporção C: N de carbono e nitrogênio dos dejetos, no que resulta em um composto de dejetos, que pode ser adequado para compostagem com pouca necessidade de ajuste do teor de carbono.

No que concerne aos impactos ambientais, os dejetos sólidos geram mais risco em relação ao fósforo aplicado no solo, vez que a quantidade de dejetos pode exceder a

capacidade de absorção das terras disponíveis, principalmente quando as aplicações são baseadas nas necessidades de nitrogênio das safras, em vez de fósforo.

Os sistemas que utilizam de dejetos líquidos são mais empregados aqui no Brasil, normalmente com a utilização de métodos de pré-tratamento para estabilização, como lagoas, esterqueiras, biodigestores, hipótese em que os riscos de impactos ambientais aumentam, em razão das suas formas de disposição no solo.

O método de aplicações aéreas com distribuidores para finalidade específica é o mais largamente utilizado, que consiste em succionar os dejetos da esterqueira e efetuar o lançamento no solo por meio de equipamento chamado distribuidor de esterco, sendo problemática sua distribuição na camada superficial do solo, sujeita a intempéries, como chuvas, que podem ocasionar o escoamento superficial para as áreas mais baixas dos terrenos, onde normalmente se localizam os corpos d'água, acarretando danos ao meio ambiente aquático, como eutrofização, mortandade da biota.

A fertirrigação é outro método de aplicação que envolve discussão no cenário internacional, pois a despeito de possuir maior precisão e uniformidade na distribuição de pequenas doses em grandes áreas, economizar água, pode ocasionar a poluição ambiental secundária.

A contaminação neste método pode se dar produtos químicos e patógenos, compostos biogênicos, elementos tóxicos e micropoluentes no solo e águas subterrâneas, devido à bioacumulação de poluentes que pode implicar em sérios riscos à saúde humana e ambiental, bem como pode impactar com a alteração das características do solo em termos biológicos, químicos e propriedades físicas, o que altera a sua fertilidade e produtividade.

No mais, nesta prática aumenta-se o risco de percolação de nitrogênio para as águas subterrâneas e transporte de estressores pelo ar, uma vez que o risco de escoamento para águas superficiais também é maior.

Já, o método de injeção no solo é o que possui maior eficiência agronômica, injetam-se no solo os dejetos a uma profundidade de até 10cm, com melhor utilização dos nutrientes, o que impede volatilização de N e escoamento superficial, porém há que se adquirir equipamento específico.

Quanto aos impactos ambientais, ainda há que se ressaltar que o uso contínuo e excessivo dos dejetos como insumo agrícola, pode ocasionar a contaminação do solo por Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Nitrogênio (N), Fósforo (P), micropoluentes, microorganismos patogênicos, o que pode impactar alteração de suas características físico-químicas, tais como seu pH e salinidade, e nos organismos edáficos, além de poder contaminar as águas subterrâneas e superficiais por efeito secundário da lixiviação.

Os impactos ambientais ocasionados às águas superficiais se dão normalmente por escoamento superficial de nutrientes, microorganismos patogênicos, matérias orgânicas, sementes, substâncias químicas, que podem ocasionar assoreamento, eutrofização (combinação de nitrogênio e fósforo) e poluição de corpos d'água, com mortandade de animais e toxicidade em plantas, ao passo que nas águas subterrâneas ocorre pela lixiviação.

A importância de se estipular um distanciamento mínimo de corpos hídricos, assim como de se evitar a aplicação em terrenos de relevos acidentados, solos de baixa permeabilidade e pouca cobertura, é latente, assim como o monitoramento dos parâmetros que ocasionam a contaminação dos solos, a fim de que se previna a contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Destaque-se que inclusive acidentes ambientais ocasionados por vazamentos e escorrimentos em métodos de tratamento, como lagos, esterqueiras, etc, ou mesmo de disposição, como canais para utilização na irrigação, podem impactar os corpos hídricos próximos às granjas, o que pode gerar danos ambientais.

Quanto à saúde humana, a utilização de águas residuárias para fertirrigação podem conter microorganismos patogênicos, tais como bactérias patogênicas, vírus, protozoários comuns e helmintos, razão pelo qual se faz imprescindível garantir que não ocasionem uma epidemiologia sanitária.

Ademais, no que concerne à emissão de substâncias odoríferas dos sistemas de produção por confinamento, tais como amônia, sulfeto de hidrogênio e inúmeros compostos orgânicos intermediários gerados da decomposição biológica do esterco, há que se ter cautela na aplicação dos dejetos como insumo agrícola, para que não haja seu acúmulo e a geração de odor e gases nocivos, motivo pelo qual se demonstra

importante a imposição de distanciamento de centros urbanos e residenciais para autorização de sua aplicação.

Dos artigos científicos, verifica-se que apesar de entenderem viável a utilização dos dejetos como insumo agrícola, concluem pela necessidade de maiores estudos sobre a aplicação dos dejetos líquidos e sólidos, bem como o comportamento dos nutrientes no solo, de acordo com as características físicas, geográficas e climáticas da região, tipo e textura de solo, possibilidades frente ao escoamento e percolação, comportamento de agentes patógenos e organismos edáficos, bem como dos diferentes tipos de culturas que podem ser utilizados esses fertilizantes, e os impactos ambientais da utilização desta forma de destinação, principalmente se utilizado de forma contínua e reiterada nas mesmas áreas durante largos períodos.

Ademais, constata-se a necessidade de uma legislação federal específica sobre a utilização de dejetos como insumo agrônômico, a nível nacional, que defina critérios de monitoramento e proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas e superficiais, frente aos possíveis danos ambientais que devem estar sendo ocasionados diante da demora da percepção dos efeitos adversos da utilização a longo prazo dos dejetos animais como insumo agrícola de forma indiscriminada.

Dos impactos ambientais ocasionados pela aplicação de dejetos sólidos, verifica-se que ao menos a caracterização do resíduo e o monitoramento da qualidade do solo devem ser exigíveis, e dos dejetos na forma líquida, no mínimo, a caracterização do resíduo, o monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea, e quiçá, das águas superficiais de corpos hídricos próximos às áreas de aplicação.

Da análise da normatização existente a nível nacional, verifica-se que a despeito do meio ambiente ser protegido pela Constituição Federal em seu artigo 225, assim como pela Política Nacional do Meio Ambiente – Lei nº 6.938/81, não há legislação específica que cuide da utilização dos dejetos de suínos como insumo agrônômico, o que se demonstra necessária para proteção dos recursos naturais, em especial solo, águas superficiais e subterrâneas, assim como da saúde humana.

A Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010, preconiza como um de seus princípios o desenvolvimento sustentável, e a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural,

econômica, tecnológica e de saúde pública; e dentre os objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, observada a respectiva ordem de prioridade, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, que possui competência fixada na Lei da PNMB, de estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, e possui algumas Resoluções que se correlacionam ao objeto do presente estudo.

A Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, foi publicada pelo CONAMA frente à necessidade de instituição de procedimentos e critérios integrados entre os órgãos da União, Estados, Distrito Federal e Municípios em conjunto com a sociedade civil organizada, para o uso sustentável do solo, a fim de se evitar danos e a perda de sua funcionalidade, sendo que estipulou Valores Orientadores, Valor de Referência de Qualidade-VRQ, Valor de Prevenção-VP e Valor de Investigação-VI, para monitoramento da qualidade do solo, que podem ser adotados para empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação do solo e águas subterrâneas. Ressalte-se que caso de uma Granja em que haja a utilização dos dejetos como insumo agrônômico e sua disposição em áreas agrícolas, o recomendável é que possua programas de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas, consoante preconiza a Resolução em comento.

A Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017, tem como objeto estabelecer critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e estabelece critérios para caso o composto seja utilizado no solo como insumo agrícola, inclusive com o atendimento aos parâmetros de qualidade ambiental, assim como a requisitos mínimos de prevenção e controle ambiental, hipótese em que Granjas que realizem a compostagem como método de tratamento anterior à disposição dos dejetos de suínos no solo como insumo agrônômico, terão de observar a resolução em comento.

Na esfera federal, ainda, há a Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020, que define critérios e procedimentos para aplicação de biossólidos em sólidos, que trata de critérios para uso agrícola de lodo de esgoto gerado em estação de tratamento de esgoto sanitário, e pode ser utilizada como referência, pois determina a caracterização do resíduo, o uso permitido varia em função dos limites máximos de *Escherichia coli* por grama de sólidos totais ou de processos de redução de patógenos, assim como estipula as substâncias químicas que devem ser monitoradas, quais sejam : Arsênio, Bário, Cádmiio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio, Zinco, sendo a frequência de monitoramento variável em função da quantidade de biossólido a ser destinado para uso em solos, que pode ser mensal a anual.

Na esfera estadual, no Estado de São Paulo constata-se que a despeito de inexistirem diretrizes específicas para o setor no que concerne ao aproveitamento dos dejetos como insumo agrônômico, desde 2010 há normas da CETESB para aplicação de efluentes e lodos em solo agrícola, para prevenção de impactos ambientais, com monitoramento de qualidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, que podem ser utilizadas como referência, como a Norma Técnica P4-002, que estipula a necessidade de caracterização dos efluentes e lodos, campanhas de amostragem no início, meio e final da safra, com monitoramento além das características físicas do solo, como condutividade elétrica, pH, temperatura, entre outros, dos parâmetros: sólidos dissolvidos totais, série nitrogenada completa, alumínio, sódio, cálcio, potássio, magnésio, bário, boro, fluoreto, carbono orgânico total – COT, sulfeto, sulfato, cloreto, fosforo total, ferro, zinco, níquel, manganês, cobre, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio. Em havendo mistura de efluente sanitário com industrial, há que ser determinado também coliformes termotolerantes e contagem de ovos viáveis de helmintos.

Ademais, verifica-se a Decisão de Diretoria nº 388/2010/P, da CETESB, que trata da “Aprovação de premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo, e estabelece que deverão ser atendidas as normas do órgão, e em não havendo, que deverá ser precedida de avaliação em função da tipologia ou do resíduo/efluente para elaboração de norma específica.

E na mesma toada, a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C da CETESB, vinculou ao licenciamento ambiental a exigência de implementação do Programa de Monitoramento Preventivo da Qualidade do Solo e da Água Subterrânea, quando da solicitação da Licença de Instalação ou renovação da Licença de Operação, para áreas onde ocorrem o lançamento de efluentes ou de resíduos no solo como parte de sistemas de tratamento ou disposição final, conforme determinado no seu item 1, do Anexo I.

No Estado do Paraná, verifica-se a Resolução SEDEST nº 15, de 05 de março de 2020, que estabelece condições e critérios para o licenciamento ambiental de Empreendimentos de Suinocultura, exige para a disposição de dejetos de suínos em solo como insumo agrícola a elaboração de Projeto de Controle Ambiental, com a realização de caracterização do solo, monitoramento dos parâmetros fósforo, cobre e zinco no solo, em frequência mínima de a cada dois anos, caracterização dos dejetos com monitoramento dos parâmetros fósforo, nitrogênio e potássio, com monitoramento destes anual nos cinco primeiros anos. No mais, estipula restrições para a localização do empreendimento com o objetivo de proteção do meio ambiente e da população local, bem como torna obrigatório ao menos o armazenamento dos dejetos líquidos e/ou adoção de tratamento primário, para posterior aplicação dos dejetos no solo ou destinação a tratamento secundário.

No Estado de Santa Catarina, constata-se a Instrução Normativa nº 11/2014 da FATMA, que consiste em normatização específica para atividade de suinocultura, que é uma das matrizes econômicas do Estado, que estipula a exigência de projetos de sistemas de armazenamento de dejetos, tratamento de efluentes e de resíduos sólidos, Planos e Programas Ambientais, inclusive de monitoramento de qualidade do solo, para os parâmetros Fósforo, Cobre e Zinco e apenas no início do processo de licenciamento e a cada quatro anos, consoante se verifica no seu Anexo 8º.

No Estado do Rio Grande do Sul, a suinocultura é atividade licenciável pela Resolução do CONSEMA nº 05/98, e existe um documento da FEPAM, emitido em 2014, que estipula “Critérios Técnicos para o Licenciamento Ambiental de Novos Empreendimentos destinados à Suinocultura”, que determina que seja efetuado o seu tratamento antes do aproveitamento como fertilizante, mas não determina taxa anual

de aplicação, ou mesmo a caracterização do resíduos ou monitoramento da qualidade do solo, águas subterrâneas ou superficiais.

Em nível internacional, não há muitas normatizações específicas, mas no recorte traçado para estudo, constatou-se que na Argentina, na Província de Córdoba, foi publicada a Resolução nº 29, de 20 de março de 2017, que estipula a necessidade de apresentação de um Plano de Aplicação ao órgão ambiental para autorização da utilização dos dejetos como insumo agrônômico, inclusive determina critérios para caracterização do resíduo e monitoramento da qualidade do solo (Caracterização do resíduo estabilizado : Líquido: pH, Condutividade elétrica, Sólidos totais (a 105 °C até peso constante), Nitrogênio total (Kjeldhal), Fósforo total, Potássio Total, Sódio, Cálcio, Magnésio; Sólido: pH 1: 5 (alteração / água destilada), Condutividade elétrica (alteração/água destilada), Matéria Orgânica a 550 °C (Calcinação), Nitrogênio total (Kjeldhal), N-NO₃- (extração e quantificação de fenol dissulfônico ou eletrodo de íon específico), Fósforo total e extraível, Potássio Total, MOT / NT, Sódio, Cálcio, Magnésio. Padrão Ambiental - Caracterização do solo (corpo receptor) – Condutividade elétrica 1: 2,5 (solo: água destilada), pH 1: 2,5 (solo: água destilada), Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio, Determinação do PSI (Porcentagem de Sódio Trocável), Matéria Orgânica Oxidada (Walkey & Black), Nitrogênio total (Kjeldhal), N-NO₃ · (Método. de fenol-dissulfônico ou extração e determinação por eletrodo de íon específico), S-SO₄ "2 (por precipitação por cloreto de bário), Fósforo total e extraível.

Na Europa, com o objetivo de controlar e reduzir a poluição das águas ocasionada pelos altos índices de nitrato, em razão da utilização excessiva de fertilizantes, incluindo os dejetos utilizados como insumo agrícola, a União Europeia publicou a Diretiva do Conselho nº 97/676/CEE, de 12 de dezembro de 1991, por meio da qual se determinou que os Países Membros teriam que elaborar um código de boas práticas agrícolas no prazo de dois anos, com a especificação das zonas vulneráveis, no qual também deveriam ser previstas condicionantes de aplicação de acordo com as características físicas do solo, clima, relevo, do que merece destaque a limitação anual da quantidade de dejetos aplicada por hectare a 170 kg de Nitrogênio (N), com a exceção de 210 kg para os quatro primeiros anos, sendo que verificados 50 mg/l ou mais de nitrato nas águas subterrâneas, ações teriam que ser empreendidas.

Da análise do Código de Boas Práticas Agrícolas do País Basco, situado na Espanha, BOPV nº 247, de 28 de dezembro de 2000, verifica-se o limite estipulado de 170 kg de Nitrogênio, nos termos da supracitada Diretiva do Conselho nº 97/676/CEE, com a exceção de 210 kg de N para os quatro primeiros anos, bem como a existência de diversas condicionantes vinculadas ao relevo da região, a vedação de aplicação de dejetos líquidos em fazendas com alto potencial de escoamento, distanciamento de cursos d'água, com a determinação de monitoramento da evolução temporal da zona vulnerável, com a amostragem mensal de 2 pontos de água representativos das águas subterrâneas, com a análise dos seguintes parâmetros físico-químicos: íon nitrato, Na⁺, K⁺, Cálcio⁺², Mg⁺², Cloro, SO₄⁼, HCO₃⁼, CO₃⁼, NO₂, NH₄⁺, Ferro, Manganês, condutividade, T.^a e pH.

Ainda, na Espanha, na Catalunha, foi publicado o Decreto nº 153/2019, que tem como objeto a gestão da fertilização do solo e dos dejetos de animais, e aprovação do programa de atuação das zonas vulneráveis por contaminação de nitratos provenientes de fontes agrárias, em razão da ausência de alterações significativas na qualidade das águas subterrâneas a despeito da Diretiva do Conselho da União Europeia nº 91/676/CEE, sendo que neste documento surge a preocupação com o fósforo além do nitrogênio, e determina o limite máximo de 170 kg de Nitrogênio para zonas vulneráveis, veda-se a irrigação para dejetos líquidos, sendo possível somente frações líquidas por irrigação localizada ou aspersão, e no mais, estipula as concentrações máximas de nutrientes no solo para nitrato, fósforo e potássio.

Na América do Norte, no Canadá, do “Farm Guideless Practices” da Província de Manitoba, verifica-se preocupação quanto aos impactos ambientais do manejo inadequado na utilização dos dejetos como insumo agrícola, motivo pelo qual determinam que seja avaliada a saúde do solo com testes e amostragens para especificação da dosagem adequada que pode ser recebida, assim como que seja efetuada a caracterização dos dejetos, com atenção em todas as amostragens aos parâmetros de nitrogênio, fósforo e potássio, também trata do cuidado que se deve ter com as águas subterrâneas em razão da lixiviação e possível contaminação de água potável. Sobremais, há que se destacar que o The Environment Act – Regulation 42/98 de Manitoba, que prescreve os requisitos para uso, gerenciamento e armazenamento de dejetos, para tratamento da forma ambientalmente correta, estipula os limites de concentração de nitrogênio e fósforo no solo.

6. CONCLUSÃO

Os dejetos de suínos possuem em sua composição nutrientes que advém das rações que são formuladas com altas concentrações de Fósforo (P), Nitrogênio (N), Potássio (K), substâncias orgânicas naturalmente presente em adubos, assim como Cobre (Cu), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn) Cálcio (Ca), Sódio (Na), Cloro (Cl), Iodo (I), Selênio (Se), assim como substâncias químicas advindas de medicamentos, suplementos, produtos de limpeza das granjas.

Em virtude da altas concentrações de nutrientes, os dejetos de suínos possuem alto valor agrônômico, e são utilizados em grande escala nas granjas no Brasil e ao redor do mundo como insumo agrônômico, por se tratar de prática sustentável e que promove uma economia circular, até pelo fato da inviabilidade de destinação para aterros sanitários em razão da alta quantidade de dejetos que são geradas por animal por dia.

Os métodos de aproveitamento que são comumente utilizados no Brasil para estabilização e eliminação de organismos patogênicos consistem em: compostagem, cama sobreposta, separação de dejetos (esterqueiras - decantação) e biofertilizante, com a ressalva de que a biodigestão para geração de energia e créditos de carbono por ser de alto custo para implementação ainda é bem pouco utilizada no cenário nacional.

Os dejetos de suínos podem ser aplicados nas formas sólida e líquida no solo como insumo agrônômico, o que varia de acordo com o método de pré-tratamento adotado, e as formas de disposição também possuem metodologias diferentes, sendo as de mais ampla utilização: aplicações aéreas com distribuidores, injeções no solo, fertirrigação.

Contudo, a despeito do alto valor agrônômico dos dejetos de suínos e sua ampla utilização como insumo agrônômico, verifica-se que a sua aplicação de modo indiscriminado, de forma reiterada nas mesmas áreas de aplicação, por longos períodos, sem o manejo adequado, sem o cálculo da dosagem necessária dos nutrientes, e sem critérios preventivos de caracterização do resíduo e monitoramento do solo, águas superficiais e subterrâneas, pode ocasionar danos ambientais.

A utilização dos dejetos como insumo agrônômico pode acarretar em diversos impactos ambientais, tais como no solo: a contaminação por Fósforo (P), Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca), Sódio (Na), Cloro (Cl), Iodo (I), Selênio (Se), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), micropoluentes, microorganismos patogênicos e dos organismos edáficos; a alteração de suas características físico-químicas, tais como seu pH e salinidade; além de poder contaminar as águas subterrâneas e superficiais por efeito secundário da lixiviação.

Os impactos ambientais relacionados às águas superficiais, em regra, ocorrem por escoamento superficial de nutrientes, microorganismos patogênicos, matérias orgânicas, sementes, substâncias químicas, que podem ocasionar assoreamento, eutrofização (combinação de nitrogênio e fósforo) e poluição de corpos d'água, com mortandade de animais e toxicidade em plantas, ao passo que nas águas subterrâneas ocorre pela lixiviação, razão pela qual se faz necessário estipular distanciamentos mínimos de corpos d'água e APPs para a prática, assim como de se evitar a aplicação em terrenos acidentados, solos de baixa permeabilidade e pouca cobertura.

No que concerne à saúde humana, podem ser contaminados pelo consumo de culturas impregnadas por microorganismos patogênicos, tais como bactérias patogênicas, vírus, protozoários comuns e helmintos, motivo pelo qual se faz imprescindível garantir o monitoramento do resíduo e controle de qualidade do solo e águas subterrâneas, principalmente, para que não ocasionem uma epidemiologia sanitária.

Quanto à poluição do ar, podem ser gerados impactos em virtude da emissão de substâncias odoríferas dos sistemas de produção por confinamento, tais como amônia, sulfeto de hidrogênio e inúmeros compostos orgânicos intermediários gerados da decomposição biológica dos dejetos, razão pela qual há que se ter cautela na aplicação dos dejetos como insumo agrícola, para que não haja seu acúmulo e a geração de odor e gases nocivos, do que se verifica a necessidade de imposição de distanciamento de centros urbanos e residenciais para autorização de sua aplicação.

A despeito dos dejetos de suínos possuírem altos valores agrônômicos pela sua composição química e serem amplamente utilizados como insumo agrônômico no país, verifica-se que é viável a sua aplicação e contribuição para a promoção de uma

economia circular, desde que realizada com critérios que evitem impactos ambientais, em especial de caracterização do resíduo e de monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas, assim como das águas superficiais, em havendo algum corpo hídrico próximo às áreas de aplicação, do que se constata que a fim de que se proteja os recursos hídricos, o solo, o ar e a saúde humana é de extrema importância a existência de uma legislação ou normatização específica a nível nacional que trate deste tema.

REFERÊNCIAS

ANDREAZZI, Márcia Aparecida; LAZARETTI, Rhubia Maria Jorge & SANTOS, José Maurício Gonçalves dos. **Destinação dos resíduos da suinocultura em granjas das regiões noroeste e sudoeste do Paraná**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 744-751.

ANGNES, G.; OLIVEIRA, P. A. V.; MILLER, P. R. M. **Emissão de gases em sistemas de compostagem no tratamento dos dejetos de suínos**. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 10.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 41., 2012, Londrina. Anais... Londrina, 2012.

BARROS, E. C.; NICOLOSO, R. da S.; OLIVEIRA, P. A. V. de; CORREA, J. C. **Potencial agrônômico dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 52 p.; 21 cm X 29,7 cm. 1 Cartilha.

BARTH*, E F., J L. CICMANEC*, J Goetz*, M M. Hantush*, R F. HERRMANN**, P T. MCCAULEY*, K. A. MCCLELLAN*, M A. MILLS**, T L. RICHARDSON*, S ROCK*, S. Stoll, G SAYLES*, J E. SMITH*, & S. WRIGHT. **Risk management evaluation for concentrated animal feeding operations**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-04/042, 2004.

BECERRA-CASTRO, CRISTINA & LOPES, ANA & VAZ-MOREIRA, IVONE & SILVA, ELISABETE & MANAIA, CÉLIA & NUNES, OLGA. **Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health**. Environment International, 2015. 75.

BRASIL. **Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 set 1981.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009. **Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa**. Brasília, DF, nº 173, 28 julho 2009. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. – Brasília: MAPA, 2016.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: Diário Oficial da União, 30 dez 2009, Seção 1, nº 249, p. 81-84.

BRASIL. **Resolução CONAMA 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. Brasília: Diário Oficial da União, 16 mai de 2011, Seção 1, nº 92, p. 89.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017.** Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 04 out 2017, nº 191, Seção 1, p. 51.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020.** Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 21 ago. 2020, n. 161, Seção 1, p. 265-269.

BUENO, Thays Vieira et al. **Teor de zinco no solo após aplicação de esterco líquido de suíno**, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 1 - 2.

CARDOSO, B., OYAMADA, G., & SILVA, C. (2015). **Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil.** Desenvolvimento Em Questão, 13(32), 127-145. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.127-145>

CATALUÑA. **Decreto nº 153/2019, de 3 de julio de 2019.** De gestión de la fertilización del suelo y de las deyecciones ganaderas y de aprobación del programa de actuación en las zonas vulnerables en relación con la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Diário Oficial de Catalunya, 05 jul. 2019, núm. 7911. Disponível em: <https://www.iberley.es/legislacion/decreto-153-2019-3-jul-c-CATALUÑA-fertilizacion-suelo-deyecciones-ganaderas-26316465>. Acesso em: fev. 2021.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão de Diretoria nº 388/2010/P, de 21 de dezembro de 2010.** Aprovação de premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo. São Paulo, SP, 21 dez. 2010.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017.** Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. São Paulo, SP, 07 fev. 2017.

CETESB. - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão de Diretoria nº 256-2016-E, de 22 de novembro de 2016.** Dispõe sobre a aprovação

dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo 2016, em substituição aos valores orientadores de 2014, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder 268 Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas Executivo I, São Paulo, ed. 126 (219), 24 de nov. 2016, p. 55-56. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-256-2016-E-Valores-Orientadores-Dioxinas-e-Furanos-2016-Intranet.pdf>. Acesso em: junho 2019.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma Técnica P4-002**. Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo: Diário Oficial do Estado de São Paulo, 18 set. 2010, Caderno Executivo I, v.120, nº.178, Poder Executivo, Seção I, p.71.

CHOJNACKA, K. & WITEK-KROWIAK, A. & MOUSTAKAS, K. & SKRZYPCZAK, D. & MIKULA, K. & LOIZIDOU, M.. **"A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges,"** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2020, vol. 130(C).

CÓRDOBA. Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos. Resolución nº 29 Córdoba, de 20 de marzo de 2017. "Estándares Ambientales, de Emisión o de Efluentes y Estándares Tecnológicos para la Gestión y Aplicación Agronómica de Residuos Pecuarios de la Provincia de Córdoba". Córdoba: **Boletín Oficial de La Provincia de Córdoba**, 28 abr. 2017, Tomo DCXXVIII, nº 81. Disponível em: https://boletinoficial.cba.gov.ar/wp-content/4p96humuzp/2017/04/1_Secc_28042017.pdf. Acesso em: fev. 2021.

CORRÊA, Juliano Corulli et al. **Aplicações de Dejetos de Suínos e as Propriedades do Solo**. 2011. Circular Técnica 58 - Embrapa Suínos e Aves. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/906227/1/circulartecnica58.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.

COSMANN, Natássia Jersak et al. **Transporte de bactérias indicadoras por escoamento superficial devido aplicação de água residuária da suinocultura no solo**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS – II SIGERA, 2., 2011, Foz do Iguaçu. Anais do II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial, 2011. p. 1 - 4.

COSMANN, Natássia Jersak et al. **Transporte de nutrientes por escoamento superficial devido aplicação de água residuária da suinocultura no solo**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS – II SIGERA, 2., 2011, Foz do Iguaçu. Anais do II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial, 2011. p. 1 - 4.

ESTADO DE SÃO PAULO. **Resolução SIMA nº 69, de 08 de setembro de 2020**. Dispõe sobre a dispensa de licenciamento ambiental das atividades de compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos compostáveis de baixo impacto

ambiental, sob condições determinadas. São Paulo: Diário Oficial do Estado, 09 set. 2020, Seção I, p. 36.

ESTADO DE SÃO PAULO. **LEI Nº 13.577, de 8 de julho de 2009** Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/institucional/legislacao/2009_lei_13577.pdf?_ga=2.187799085.4417505.1618854605-2082341687.1584640844

ESTADO DO PARANÁ. **Resolução SEDEST nº 15, de 5 de março de 2020.** Estabelece condições e critérios e adota outras providências, para o licenciamento ambiental de Empreendimentos de Suinocultura no Estado do Paraná. Curitiba: Diário Oficial do Estado, nº 1064009, 06 mar 2020.

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

FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura.** Porto Alegre: FEPAM, 2014.

FREITAS NETO, Agenor Hercílio de et al. **Evolução dos teores de cobre e zinco em um solo com histórico de aplicação de dejetos líquido e sólido de suínos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 1 - 3.

ITO, Minoru; GUIMARÃES, Diego Duque; AMARAL, Gisele Ferreira. **Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 44 , p. [125]-156, set. 2016.

MANITOBA. Ministry of Conservation and Climate. **The Environment Act (C.C.S.M. c. E125): livestock manure and mortalities management regulation.** Regulation 42/98, registred March 30, 1998. Manitoba, CA: Government, 1998. 50 p. Publication date: 11 Apr. 1998. Com modificações posteriores. Disponível em: <https://web2.gov.mb.ca/laws/regs/pre-versions.php?reg=42/98>. Acesso em: fev. 2021.

MANITOBA. Ministry of Conservation and Climate. **Farm Practices Guidelines for Pig Producers in Manitoba.** Publication: Apr. 2007. Com modificações posteriores. Disponível em: <https://www.gov.mb.ca/agriculture/livestock/production/pork/farm-practices-guidelines-for-pig-producers-in-manitoba.html>. Acesso em: fev. 2021.

MORAES, Marcel Pires de et al. **Acúmulo e distribuição de cobre, zinco e manganês no perfil de um solo argissolo com histórico de aplicação de dejetos líquidos e sólidos de suínos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 1 - 3.

MIYAZAWA, Mario; BARBOSA, Graziela Moraes de Cesare; RUIZ, Danilo Bernardino. **Determinação de N-Orgânico, amônio e nitrato do dejetos líquido de suíno.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 1 - 3.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1993. 188 p. (EMBRAPA-CNPISA. Documentos, 27).

PAÍS VASCO. Departamento de Ordenación del Território, Vivienda y Medio Ambiente; Departamento de Transportes y Obras Públicas; Departamento de Agricultura y Pesca. N. 5828: Orden de 18 de diciembre de 2000, de los Consejeros de Ordenación del Território, Vivienda y Medio Ambiente, de Transportes y Obras Pública, y de Agricultura Pesca, por la que se aprueba el plan de actuación sobre las zonas declaradas vulnerables a la contaminación de las aguas por los nitratos procedentes de la actividad agraria. **Boletín Oficial del País Vasco**, Álava, n. 247, p. 23191-23249, 28 dec. 2000. Ed. bilíngue euskara e espanhol. Disponível em: <https://www.euskadi.eus/y22-bopv/es/p43aBOPVWebWar/VerParalelo.do?cs2000000247>. Acesso em: fev. 2021.

PEGORARO, Thaisa et al. **Transporte de Nitrato Via Percolação e Escoamento Superficial em Nabo Forrageiro Fertigado com Água Residuária da Suinocultura**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266065017_Transporte_de_Nitrato_Via_Percolacao_e_Escoamento_Superficial_em_Nabo_Forageiro_Fertigado_com_Agua_Residuaria_da_Suinocultura. Acesso em: 14 maio 2018.

ROCK, C. M., BRASSILL, N., DERY, J. L., CARR, D., MCLAIN, J. E., BRIGHT, K. R., & GERBA, C. P. (2019). **Review of water quality criteria for water reuse and risk-based implications for irrigated produce under the FDA Food Safety Modernization Act, produce safety rule**. Environmental Research, 172, 616-629. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.050>.

SCHERER, E.E. **Aproveitamento do esterco de suínos como fertilizante**. In: EMBRAPA SUINOS E AVES. Curso de capacitação em práticas ambientais sustentáveis: treinamento 2002. EPAGRI/EMBRAPA: Concordia, 2002. p. 91-101.

SEGANFREDO, Milton Antonio. **Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo?** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 16, n. 3, p.129-141, 01 dez. 1999. Quadrimestral.

SEGAT, Julia C. et al. **Comportamento de fuga de Folsomia candida em solos naturais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA, 12., 2012, Porto de Galinhas. Anais do XII Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia. Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia (sbe), 2012. p. 66 - 66.

SCHMITT, Djalma Eugênio et al. **Alteração de atributos físicos em solo submetido à aplicação de dejetos de suínos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 1 - 4.

SHOUSHTARIAN, Farshid & NEGAHBAN-AZAR, Masoud. **"Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review"**. Water 12, no. 4: 971, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12040971>. Acesso em: fev. 2021.

UNIÃO EUROPEIA. Conselho das Comunidades Europeias. Directiva do Conselho nº 91/676/CEE do, de 12 de dezembro de 1991, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola. **Jornal Oficial das Comunidades**

Europeias, 31 dez. 1991, L 375, p. 1. Com modificações posteriores. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:01991L0676-20081211&from=EN>. Acesso em: fev. 2021.

MANITOBA. Ministry of Conservation and Climate. **The Environment Act (C.C.S.M. c. E125): livestock manure and mortalities management regulation**. Regulation 42/98, registred March 30, 1998. Manitoba, CA: Government, 1998. 50 p. Publication date: 11 Apr. 1998. Com modificações posteriores. Disponível em: <https://web2.gov.mb.ca/laws/regs/pre-versions.php?reg=42/98>. Acesso em: fev. 2021.

YAGÜE, María R.; QUÍLEZ, Dolores. **Response of Maize Yield, Nitrate Leaching, and Soil Nitrogen to Pig Slurry Combined with Mineral Nitrogen: Technical Reports: Waste Management**. *Journal Of Environmental Quality*. Madison, p. 686-696. 07 jan. 2010.

WIETHOLTER, Sirio (Coord.). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004. 404 p.

ANEXO A - Valores Orientadores do Estado de São Paulo (DD nº 256/2016)

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
INORGÂNICOS							
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 ^(a)	2000
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 ^(a)	1800
HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS							
Benzeno	71-43-2	-	0,002	0,02	0,08	0,2	5
Estireno	100-42-5	-	0,5	50	60	480	20
Etilbenzeno	100-41-4	-	0,03	0,2	0,6	1,4	300
Tolueno	108-88-3	-	0,9	5,6	14	80	700
Xilenos	1330-20-7	-	0,03	12	3,2	19	500
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS							
Antraceno	120-12-7	-	0,3	2300	4600	10000 ^(a)	900
Benzo(a)antraceno	56-55-3	-	0,2	1,6	7	22	0,4
benzo(b)fluoranteno	205-99-2	-	0,7	2	7,2	25	0,4
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	-	0,8	27	75	240	4,1
Benzo(g,h,i)perileno ⁽³⁾	191-24-2	-	0,5	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	-	0,1	0,2	0,8	2,7	0,7
Criseno	218-01-9	-	1,6	95	600	1600	41
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	-	0,2	0,3	0,8	2,9	0,04
Fenantreno ^(3,4)	85-01-8	-	3,6	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	-	0,4	3,4	8	30	0,4
Naftaleno	91-20-3	-	0,7	1,1	1,8	5,9	60

Continua

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
INORGÂNICOS							
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 ^(a)	2000
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 ^(a)	1800
HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS							
Benzeno	71-43-2	-	0,002	0,02	0,08	0,2	5
Estireno	100-42-5	-	0,5	50	60	480	20
Etilbenzeno	100-41-4	-	0,03	0,2	0,6	1,4	300
Tolueno	108-88-3	-	0,9	5,6	14	80	700
Xilenos	1330-20-7	-	0,03	12	3,2	19	500
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS							
Antraceno	120-12-7	-	0,3	2300	4600	10000 ^(a)	900
Benzo(a)antraceno	56-55-3	-	0,2	1,6	7	22	0,4
benzo(b)fluoranteno	205-99-2	-	0,7	2	7,2	25	0,4
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	-	0,8	27	75	240	4,1
Benzo(g,h,i)perileno ⁽³⁾	191-24-2	-	0,5	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	-	0,1	0,2	0,8	2,7	0,7
Criseno	218-01-9	-	1,6	95	600	1600	41
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	-	0,2	0,3	0,8	2,9	0,04
Fenantreno ^(3,4)	85-01-8	-	3,6	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	-	0,4	3,4	8	30	0,4
Naftaleno	91-20-3	-	0,7	1,1	1,8	5,9	60

Continua

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
ÉSTERES FTÁLICOS							
Dietilexil ftalato (DEHP)	117-81-7	-	1	36	250	730	8
Dietil ftalato	84-66-2	-	0,5	33	100	550	4,8
Dimetil ftalato ⁽¹⁾	131-11-3	-	0,25	0,5	1,6	3	14
Di-n-butil ftalato	84-74-2	-	0,1	44	140	850	600
PESTICIDAS							
Aldrin	309-00-2	-	0,02	0,4	0,8	6	0,03 ^(b)
Dieldrin	60-57-1	-	0,01	0,3	0,8	5,9	
Endrin	72-20-8	-	0,001	0,8	2,5	17	0,6
Carbofuran	1563-66-2	-	0,0001	0,3	0,7	3,8	7 (B)
Endossulfan	115-29-7	-	0,7	4,7	12	66	20 ^(c)
DDD	72-54-8	-	0,02	1	7,5	23	1 ^(b)
DDE	72-55-9	-	0,01	1,2	8,5	25	
DDT	50-29-3	-	0,01	5,5	22	82	
HCH alfa	319-84-6	-	0,0003	0,002	0,02	0,04	0,05
HCH beta	319-85-7	-	0,001	0,01	0,06	0,2	0,17
HCH – gama (Lindano)	58-89-9	-	0,001	0,008	0,06	0,2	2
OUTROS							
PCBs Indicadores ⁽⁵⁾	NA	-	0,0003	0,01	0,03	0,12	3,5
TBT e seus compostos ⁽⁶⁾	NA	-	0,24	16	1,7	270	0,09
Anilina	62-53-3	-	0,023	0,15	0,7	3,2	42
Dioxinas (PCDDs) e Furanos (PCDFs) ⁽⁷⁾ (ng TEQ WHO ₀₅ Kg ⁻¹ peso seco)	NA	-	2	7,5	37	140	-

(1) Mantidos os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009.

(2) Mantidos os valores de prevenção da Resolução CONAMA 420/2009.

(3) Substâncias que não constam da planilha CETESB (versão maio de 2013).

(4) Mantidos os valores de intervenção da Resolução CONAMA 420/2009.

(5) Somatória dos congêneres 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 para investigação confirmatória; na investigação detalhada a lista de congêneres deve ser ampliada.

(6) Valores derivados com as propriedades do óxido de tributil (CAS nº 56-35-9).

(7) Somatória de toxicidade equivalente (TEQ) calculada a partir dos fatores de equivalência de toxicidade (TEFs - WHO 2005) para cada congêneres de dioxinas e furanos (VAN DEN BERG, 2006).

(a) Adotado valor limite de 1% do peso seco do solo (10.000 mg kg⁻¹).

(b) Somatória dos isômeros ou metabólitos.

(c) Somatória de endossulfan e sais.

Obs.: Na determinação de substância inorgânica no solo, para a digestão ácida, seguir as recomendações dos métodos 3050 e 3051 (USEPA-SW-846), ou procedimento equivalente, exceto para mercúrio.

Referência: VAN DEN BERG, M; BIRNBAUM, LS; DENISON, M; et al. (2006). The 2005 World Health Organization re-evaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicology Sci* 93(2):223-241.

Tabela publicada no Anexo Único da DD 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016. Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), edição nº126 (219) do dia 24/11/2016 Páginas : 55 e 56.