



Roteiro para a Gestão dos Fluxos Gerados na Atividade Agropecuária

Publicação realizada no âmbito do Projeto **GoEfluentes - Efluentes de pecuária: abordagem estratégica à valorização agronómica/energética dos fluxos gerados na atividade agropecuária** (PDR2020-1.0.1-FEADER-031831). (<https://projects.iniaiv.pt/goefluentes>), financiado pelo Programa de Desenvolvimento Rural 2020, Medida 1. Promoção para a Inovação, Ação 1.1. Inovação por Grupos Operacionais.

FICHA TÉCNICA

Título: Roteiro para a Gestão dos Fluxos Gerados na Atividade Agropecuária

Coordenação: Olga Conde Moreira

Edição: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P. (INIAV, I. P.)

Grafismo e paginação: Iryna Rehan e Paulo de Jesus Carvalho (INIAV, I. P.)

Impressão: RELGRÁFICA ARTES GRÁFICAS

Depósito legal:

ISBN: 978-972-579-060-1

Fonte Boa, abril de 2022

Editores

Olga Moreira
Vasco Cruz
Henrique Trindade

Autores

Ingredient Odyssey/Entogreen
Rui Nunes
Daniel Murta

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária
Regina Menino
Maria Amélia Castelo Branco

Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa
Elizabeth D’Almeida Duarte
Rita do Amaral Fragoso
Inês Silva
Cláudia Marques-dos-Santos Cordovil
Gabriela Zanetti Cirino

Leal & Soares (SIRO)
Maria Cecília Amaral Nestler
Hartmut Nestler

TTerra
Maria Antónia Figueiredo
Maria João Figueiredo

Universidade de Évora
Vasco Fitas da Cruz
Carlos Cupeto
Diogo Coelho
José Carlos Rico

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, CITAB
Henrique Trindade

Nota Introdutória

A grande dimensão dos custos económicos e ambientais decorrente da intensificação dos sistemas agrícolas, pecuários e agroindustriais, torna imperiosa a procura de soluções que valorizem os seus efluentes e coprodutos, visando tanto a redução da sua toxicidade como o desenvolvimento sustentável de novos processos e de novos produtos.

No âmbito do Programa de Desenvolvimento Rural 2020, Medida 1. Promoção para a Inovação, Ação 1.1. Inovação por Grupos Operacionais, foi financiado o **GoEfluentes - Efluentes de pecuária: abordagem estratégica à valorização agronómica/energética dos fluxos gerados na atividade agropecuária** (PDR2020-1.0.1-FEADER-031831), apoio que confirma a importância com que se revestem as preocupações ambientais do sector (<https://projects.inia.pt/goefluentes>).

Esta iniciativa visou uma abordagem de valorização de um recurso, focada nos diferentes interesses que convergem na produção e gestão adequada e integrada dos fluxos gerados nos sistemas agropecuários, assegurando o desenvolvimento sustentável, a nível regional ou nacional. Em todos os passos relacionados com a gestão destes fluxos (produção, recolha, armazenamento, valorização e reutilização nas condições locais) o objetivo foi, para além de apenas evitar a sua eliminação, também reduzir a exploração de recursos naturais, pela reciclagem, numa abordagem de resíduo Zero, de Economia Circular e de encerramento de Ciclos de Nutrientes, para que definitivamente, os efluentes sejam percecionados e incluídos em estratégias de desenvolvimento sustentável enquanto uma mais-valia inquestionável e inadiável, ou seja, um recurso a valorizar.

A parceria, tornada possível pelo GoEfluentes, envolveu entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (INIAV, ISA, UTAD, UE), Associações de Produtores (IACA, FPAS, APCRF), tecido Empresarial (Alirações, Campoaves, Leal & Soares, Ingredient Odyssey, Valorgado,

Terra). O carácter multifacetado da parceria garantiu que, nos respetivos domínios de atividade, fosse possível construir cooperativamente respostas às diferentes ações do projeto em três áreas-chave: a caracterização do sector, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a valorização dos efluentes. Numa estratégia de atuação transversal a todo o sistema produtivo, atendendo às diferentes especificidades, procurou tipificar as principais variáveis dos fluxos gerados nestes sistemas agropecuários e testou estratégias operacionais, eficazes e eficientes, para a sua respetiva valorização e gestão sustentáveis.

Os resultados do Projeto estão em consonância com as metas que se pretendem alcançar no Plano de Ação para a Economia Circular da EU, dando ferramentas aos utilizadores finais que lhes permitam agilizar a implementação de medidas de requalificação numa perspetiva de aumentar a sustentabilidade da fileira agropecuária. A especificidade do sector agropecuário e a sua variabilidade no território nacional foram estudadas, permitindo aos decisores políticos tomadas de decisão suportadas pelo conhecimento científico, como tal estimulando e dinamizando os produtores a aumentarem a sua eficiência/eficácia e a competitividade económica a nível da exportação.

Ao longo do projeto as ações de disseminação e divulgação das diferentes atividades da iniciativa foram o foco prioritário junto da comunidade de atores nestes sistemas de produção. A sensibilização centrou-se em torno do carácter inovador e da flexibilização das medidas a adotar pela comunidade. A comunicação relevou-se imprescindível para uma mudança, urgente e inadiável, de paradigma onde a circularidade de matérias ao longo da produção poderá incluir-se num novo modelo de negócio.

A presente edição do **Roteiro de Gestão dos Fluxos Gerados na Atividade Agropecuária** constitui o culminar comunicativo do GoEfluentes, tornando-o acessível a todo o sector. A publicação emerge como decorrência natural de um projeto investido na transferência de conhecimento, considerando a

extrema importância de fazer chegar os resultados aos diferentes atores envolvidos na potenciação desta cadeia de valor. Este Roteiro aborda, sem intenções de exaustividade, as principais áreas de interesse no domínio dos efluentes e dos coprodutos dos sistemas intensivos de produção animal. Espelha uma preocupação, sempre que tal se revelou pertinente, em apresentar os resultados obtidos na forma de casos de estudo, acompanhados pelos desenvolvimentos metodológicos estabelecidos, as boas práticas demonstradas e os indicadores encontrados.

O projeto GoEfluentes projeta-se reflexivamente no futuro. Questionando-nos atualmente sobre qual o passo seguinte e as perspetivas futuras salientam-se uma reflexão sobre o projeto, a parceria e os resultados obtidos, reconhecendo-se a necessidade de testagem em escala, para além do espectro do laboratório, de alguns dos novos processos desenvolvidos e respetivos produtos. Esta testagem permitirá cumprir os objetivos delineados, que o projeto partilha evidentemente, do Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia e do Pacto Ecológico Europeu com a iniciativa do Prado ao Prato, os quais elegem como prioridade uma Produção Animal Sustentável e Competitiva.

O desafio da transferência de tecnologia é identificado e estimulado inclusive a nível nacional pela Agenda de Inovação Terra Futura, em Eixos Estratégicos definidos, com diferentes iniciativas emblemáticas, onde se destacam a Mitigação e Adaptação às Alterações Climáticas e a Agricultura Circular, esta centralizada no Pólo de Inovação da Fonte Boa - INIAV. Nestas iniciativas os objetivos operacionais permitem identificar e promover soluções integradas e o desenvolvimento sustentável de novos processos e respetivos produtos onde se enquadra a valorização dos fluxos gerados na atividade agropecuária. Consideram também a transferência do conhecimento para a escala real prevendo numa primeira fase a instalação de Unidades piloto, com envolvimento dos produtores de forma a analisarem as mais valias inerentes, nomeadamente: o uso eficiente da água; a

integração de energias renováveis; a valorização dos efluentes e a redução da emissão dos gases de efeito de estufa.

Neste contexto, uma transferência para a escala real poderá ser adequadamente operacionalizada através de *'Living Labs'*, como agentes de inovação relevantes em Economia Circular, transformação digital e autossuficiência, com iniciativas dinâmicas e abordagens multidisciplinares e co criativas, aliando ciência e sustentabilidade dos sistemas de produção. Pretende-se, especificamente, implementar um *'Living Lab'*, associado a Piloto de Desenvolvimento Experimental e Demonstração sobre *'Efluentes e coprodutos da atividade agropecuária'* numa diversidade de parcerias. Este será um bom incentivo para dar continuidade aos objetivos do Grupo Operacional GoEfluentes, onde modelos de negócio devem ser desenvolvidos com a participação de Associações de Produtores, Instituições Financeiras, Sistema Científico e Tecnológico Nacional, entre outras.

Olga Conde Moreira

Coordenadora do Projeto GoEfluentes (PDR2020-1.0.1-FEADER-031831)

Estação Zootécnica Nacional – INIAV Santarém

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P.

Índice

Sumário Executivo	xi
Lista de abreviaturas e símbolos	xviii
Lista de Quadros	xx
Lista de Figuras	xxiii
1. EFLUENTES DA ATIVIDADE PECUÁRIA.....	1
1.1. Introdução	2
1.2. Efluentes pecuários: conceitos e classificação	4
1.3. Composição	5
1.4. Fatores de variação da composição dos efluentes pecuários	12
1.5. Outros resíduos da atividade pecuária	15
1.6. Referências	18
2. PRODUÇÃO DE EFLUENTES PECUÁRIOS EM PORTUGAL	22
2.1. Introdução	23
2.2. Metodologia	24
2.3. Apresentação de resultados	26
2.3.1. Por região administrativa e por município	26
2.3.2. Por espécie pecuária e sistema de manejo	41
2.3.3. Mapeamento da produção de efluentes em Portugal	52
2.3.4. Avanço de alguns dados quantitativos	56
2.3.5. Referências	58
2.4. SIG – Georreferenciação: efluentes pecuários e o geoportal do GoEfluentes – Terras e Efluentes	59
3. LEGISLAÇÃO SOBRE EFLUENTES PECUÁRIOS	62

3.1.	Legislação Portuguesa	63
3.1.1.	Regime do exercício da atividade pecuária	63
3.1.2.	Gestão dos efluentes das atividades pecuárias.....	63
3.2.	Legislação europeia	70
3.3.	Limites máximos de emissões	70
3.3.1.	Água	70
3.3.2.	Solo	74
3.3.3.	Atmosfera	75
4.	IMPACTES DOS EFLUENTES PECUÁRIOS	77
4.1.	Enquadramento	78
4.2.	Nos ecossistemas e saúde pública.....	79
4.3.	No ciclo do azoto	82
4.4.	No ciclo do fósforo.....	83
4.5.	No ciclo do carbono	84
4.6.	Na cadeia alimentar.....	84
4.7.	Vetores de contaminação.....	85
4.8.	Referências	86
5.	GESTÃO E VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES PECUÁRIOS	89
5.1.	Separação mecânica	89
5.1.1.	Resumo	90
5.1.2.	Introdução	90
5.1.3.	Separação mecânica em explorações pecuárias	92
5.1.4.	Equipamentos.....	94
5.1.5.	Considerações finais	109
5.1.6.	Referências	110

5.2.	Valorização de efluentes por compostagem	112
5.2.1.	O processo de compostagem	112
5.2.2.	Caso de estudo - Compostagem de fração sólida de chorumes de bovino	115
5.2.3.	Referências	122
5.3.	Digestão anaeróbia (digestão e codigestão)	123
5.3.1.	A tecnologia de digestão anaeróbia (DA)	125
5.3.2.	Práticas de manejo com impacto na produção energética por DA	125
5.3.3.	Caso de Estudo: Avaliação do potencial da aplicação da DA a uma exploração suinícola - Abordagem desenvolvida ao longo do Projeto GoEfluentes.....	127
5.3.4.	Exemplos internacionais da aplicação da DA a efluentes pecuários.....	137
5.3.5.	Referências	140
5.4.	Uso de aditivos	143
5.4.1.	Acidificação de chorumes.....	143
5.4.2.	Inibidores da nitrificação	145
5.4.3.	Biochar.....	146
5.4.4.	Aditivos biológicos.....	149
5.4.5.	Referências	150
5.5.	Bioremediação por larvas de insetos	154
5.5.1.	Insetos como animal de produção	154
5.5.2.	Insetos como instrumentos de biorremediação	155
5.5.3.	Caso de estudo: uso de larvas de BSF na biorremediação de efluentes de galinha, porco e vaca	159
5.5.4.	Referências	164

5.6.	Valorização agrícola de efluentes pecuários	165
	Enquadramento	165
5.6.1.	Caso de estudo: valorização agronómica de efluentes e co- produtos	168
	Ensaios de campo	168
5.6.2.	Referências	177
6.	IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS	179

SUMÁRIO EXECUTIVO

A ideia do GoEfluentes terá começado no já longínquo 2014, numa circunstância improvável, como muitas vezes acontece, entre poucos, ainda na António Augusto de Aguiar que nessa altura acolhia a FPAS.

A parceria, tornada possível pelo GoEfluentes, envolveu entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (INIAV, ISA, UTAD, UE), Associações de Produtores (IACA, FPAS, APCRF), tecido Empresarial (Alirações, Campoaves, Leal & Soares, Ingredient Odyssey, Valorgado, TTerra).

O primeiro objetivo deste Sumário Executivo é tornar incontornável a integral leitura do Roteiro.

A *matéria prima* objeto deste estudo, as instalações pecuárias, como infraestruturas onde se produzem efluentes pecuários, estão sujeitas a um enorme acervo de legislação, nem sempre clara; basta-nos saber: segundo a Direção-geral de agricultura e desenvolvimento rural DGADR, *são consideradas atividades pecuárias, todas as instalações de reprodução, produção, detenção, comercialização, exposição e outras relativas a animais das espécies pecuárias; assim estão neste conceito não só as explorações pecuárias, mas também os centros de agrupamento de animais (instalações de mercados, leilões de animais; exposição; centros de produção de sémen; etc.) ou os entrepostos de animais (instalações de comerciantes de animais; etc.)*. Sendo **“animais de espécie pecuária”**, qualquer animal bovino, suíno, ovino, caprino, equídeo, ave, leporídeos (coelhos e lebres) ou outra espécie que seja criada com o fim de reprodução ou produção de carne, e de outros produtos como o leite, os ovos, a lã, a seda, o pêlo, a pele ou ainda que contribua para o repovoamento cinegético. São considerados também os animais da produção pecuária destinada a criar animais de companhia, de trabalho ou destinados a atividades culturais ou desportivas. Por último, **a causa deste trabalho de investigação aplicada, os efluentes pecuários: são resíduos resultantes das atividades pecuárias e, em casos de manuseamento inadequado, representam riscos para a saúde pública e animal, devendo seguir procedimentos de controlo nos núcleos de produção de forma a permitir a correta destinação final para esses efluentes**. Neste contexto, a Portaria n.º79/2022 de 03 de fevereiro foi criada com o objetivo de estabelecer as normas regulamentares a que obedece a

gestão dos efluentes das atividades pecuárias e as normas técnicas a observar no âmbito do licenciamento das atividades de valorização agrícola ou de transformação dos efluentes pecuários, tendo em vista promover as condições adequadas de produção, recolha, armazenamento, transporte, valorização, transformação, tratamento e destino final.

O Capítulo 1 trata, no geral, dos efluentes da atividade pecuária.

Os efluentes pecuários são uma mistura várias fases, líquido, pastoso, semissólido e sólido. Quimicamente os efluentes pecuários contêm diversos nutrientes que passam pelo tracto intestinal do animal, e que têm potencial para serem recuperados nomeadamente nos solos agrícolas. Para além dos nutrientes é interessante o teor de água neles contido, e o teor de matéria orgânica pode ser um fator importante na recuperação da fertilidade dos solos. Contudo, apresentam carga poluente potencial, principalmente centrada na elevada concentração de azoto sob a forma de nitrato e nos teores variáveis de metais pesados, conforme a espécie animal e o tipo de manejo. Para além disso, estes resíduos podem conter os mais variados tipos de microrganismos patogénicos como bactérias, vírus e protozoários (Pinto, 2014). Relevante é o facto de o aumento da população levar à necessidade de utilizar novos métodos e produtos químicos na criação intensiva de animais para a alimentação humana com o intuito de maximizar a eficiência alimentar e reduzir o tempo de criação. De entre esses produtos destaca-se o uso de medicamentos veterinários (terapêuticos e profiláticos) e de substâncias promotoras do crescimento (Sales et al., 2015). A metabolização no tracto digestivo animal destas substâncias é muito variável, mesmo quando a molécula é em grande parte metabolizada, alguns dos produtos de degradação excretados podem permanecer bioativos no efluente (Thiele-Bruhn, 2003), com todas as consequências par De acordo com Pinto (2014), a constituição dos efluentes pecuários é variável conforme a proporção de fezes e urina. Para além das características dos dejetos, o tipo de estrume produzido irá depender da qualidade e quantidade de palha ou outros materiais utilizados nas camas dos animais, da proporção de fezes e urina misturados com os materiais utilizados nas camas, da temperatura atingida durante a fermentação e do grau de degradação final da mistura de dejetos e camas. Estes fatores influenciam a composição do estrume de forma a obter um efluente com conteúdo palhoso maior ou menor e mais ou menos ricos em nutrientes. Já a quantidade e

características de chorume produzido depende do grau de diluição com as águas de lavagem e outras que podem ser utilizadas nos estábulos, com a urina e com quantidades maiores ou menores de fezes em suspensão, restos de rações, palhas, fenos ou outros materiais fornecidos para alimentação e/ou suplementação, com os consequentes impactos no meio que daqui decorrem. Esta carga no meio faz-se sentir no solo, água e ar.

Considerando a vigente emergência climática, o total de emissões de gases com efeito de estufa GEE (CO_2 , NH_3 , N_2O , entre outros) atribuídas à atividade pecuária é considerável e, por isso, não deve ser, em caso algum, ignorada.

O Capítulo 2 faz o levantamento e caracterização geográfica da produção de efluentes pecuários no nosso país.

Sendo o setor pecuário cada vez mais acusado de causar graves desequilíbrios ambientais, revela-se assim de vital interesse o conhecimento, atualizado, das quantidades de efluentes pecuários produzidos no nosso país bem como da sua composição, tendo em vista não só os impactes que estes efluentes podem causar, mas também, numa perspetiva de Economia Circular e da sua valorização. O Roteiro detalha cada uma das Regiões até ao nível do Concelho. Faz uma caracterização por espécie e sistema de manejo. A apresentação da representação em mapa à escala do Concelho possibilita uma rápida e objetiva leitura geográfica do volume total de efluentes produzidos em cada concelho (m^3), volume produzido em cada concelho por cabeça normal (m^3/CN) e volume de efluentes produzido em cada concelho por superfície agrícola utilizada normal (m^3/SAU).

Foi realizada uma amostragem de chorume e estrume, cujas amostras foram posteriormente analisadas em laboratórios creditados para o efeito, com vista à determinação da sua composição físico-química. Daqui se conclui que é necessário um esforço no sentido de atualização dos dados disponíveis tendo em conta a realidade dos sistemas produção animal praticados no nosso país. A quantidade e volume de informação, bem como a constante necessidade de atualização, levou ao desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfico da Terras e Efluentes (sigTE) com o objetivo da integração das componentes Internet e Geoportal, possibilitando que os intervenientes (produtores pecuários e agricultores), utilizem a informação geoespacial disponibilizada, que pelos meios tradicionais não seria possível. A informação assim disponibilizada assenta em três grandes variáveis:

- Ordenamento e condicionantes do território;
- Características dos parcelários, designadamente limites de propriedade, áreas úteis e ocupações culturais, e;
- Distâncias entre fontes produtoras de nutrientes e parcelários recetores de nutrientes.

Em matéria de valorização agrícola de efluentes pecuários, existem inúmeras condicionantes ao nível do ordenamento do território o que se reflete no sigTE como uma ferramenta de grande relevância e utilidade prática.

O Capítulo 3 debruça-se sobre a muita Legislação que enquadra e regula os efluentes pecuários.

Esta é uma vasta matéria às vezes só acessível à interpretação de juristas. Este Roteiro bem reflete a importância, complexidade do tema, e, bem assim, o esforço feito para sintetizar a mais relevante da legislação aplicável. Aborda-se em pontos específicos a legislação portuguesa e as normas europeias considerando os limites máximos de emissão nos recetores água, solo e atmosfera. Em síntese, remetemos o leitor deste SE diretamente para os Quadros constantes deste Capítulo.

O Capítulo 4 trata dos impactes dos efluentes pecuários.

Como sabemos, a composição dos efluentes pecuários é muito variável e depende de diversos fatores: espécie, idade, sexo e fase de ciclo produtivo do animal, alimentação e excreção de nutrientes, consumo de água, modo de limpeza e águas de lavagem, quantidade de palhas e/ou de outros materiais usados nas camas, entre outros. Os principais componentes dos efluentes pecuários que afetam os solos e as massas de água compreendem: matéria orgânica, nutrientes, em especial azoto e fósforo, metais pesados, em particular o cobre e o zinco, microrganismos patogénicos, e substâncias farmacológicas e seus metabolitos. A análise de impactes é feita considerando: ecossistemas e saúde pública; ciclo do azoto; ciclo do fósforo; ciclo do carbono; cadeia alimentar, e vetores de contaminação.

O Capítulo 5 descreve a gestão e valorização de efluentes pecuários. Os efluentes pecuários possuem um elevado potencial de valorização, porém, a sua utilização sem quaisquer tipo de tratamentos possui um forte impacto ambiental ao nível das emissões atmosféricas e da contaminação dos solos e da água. Neste sentido, de modo a extrair todo o seu potencial, os efluentes

devem ser sujeitos a tratamentos. Os diferentes métodos desenvolvidos para a separação de sólidos podem ser divididos nas seguintes categorias (Bernal et al., 2015; Hjorth et al., 2010): sedimentação; triagem ou peneiramento, filtração pressurizada; centrifugação e, combinação de todos eles com adição química.

A valorização e gestão de efluentes é um dos mais relevantes tópicos do GoEfluentes; é a estratégia operativa que possibilita passar de um problema para uma mais-valia, de um resíduo para um produto.

A compostagem é uma prática ancestral que continua a ter grande importância na valorização de “resíduos” pecuários. O presente relatório dá nota de um caso de estudo de compostagem de fração sólida de chorumes de bovino com o objetivo de verificar se diferentes tipos de manejo na produção de bovinos influenciam o processo de compostagem e a qualidade do fertilizante obtido. Neste sentido foram usados dois lotes de estrume considerados com características diferentes. No final obtiveram-se dois fertilizantes estáveis, maturados, higienizados, com resultados muito semelhantes em vários parâmetros. Os testes realizados em vasos no INIAV mostraram que o fertilizante orgânico obtido a partir de estrume de bovino, proporcionou maior rendimento à cultura de azevém, quando comparado com os tratamentos com fertilizantes minerais, comprovando-se seu valor agronómico, contribuindo para uma agricultura mais sustentável, ecológica e favorecendo a economia circular.

A digestão anaeróbia (digestão e codigestão) é um processo biológico que ocorre naturalmente na ausência de oxigénio molecular (O_2), em que substratos orgânicos complexos são degradados em metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), e outros componentes minoritários, tais como sulfureto de hidrogénio (H_2S), monóxido de carbono (CO), e amoníaco (NH_3), entre outros gases vestigiais. O caso de estudo implementado ao longo de 36 meses, na empresa Valorgado, possibilitou demonstrar que a tecnologia de DA pode contribuir para a circularidade do bioresíduo gerado em explorações suinícolas, promovendo o conceito de bioresíduos-zero e, simultaneamente, reduzindo os potenciais impactes ambientais associados à atividade. Verificou-se que o chorume proveniente da fase de engorda/acabamento apresenta um conteúdo de sólidos voláteis superior ao chorume do ciclo fechado. Por este facto, foi

possível obter uma produção diária de metano 13% superior, bem como uma maior produção específica de metano (cerca de duas vezes superior), em relação ao cenário de referência (chorume de ciclo fechado). Estamos perante uma tecnologia madura, testada e consolidada, já implementada em diversos países, que pode estar no centro de uma nova visão estratégica para a gestão dos efluentes pecuários. De referir, ainda, que a DA permite adicionalmente reduzir a emissão de GEE com origem no efluente durante o período de armazenamento, vantagem que representa um contributo extra importante para a neutralidade carbónica do setor da produção animal. Neste sentido apresenta-se, sumariamente, a situação nalguns países.

Os insetos, como instrumentos de biorremediação constituem um grande campo de investigação. O presente relatório dedica uma parte a este campo de investigação e apresenta os resultados de um caso de estudo, concluindo que a “...gordura das larvas é algo altamente promissor para diversos fins, como por exemplo a produção de biodiesel.” E, “... possui alta qualidade e poder calorífico, tendo pouca viscosidade e alta estabilidade oxidativa.”

Por último, este Capítulo 5, dá nota do caso de estudo: valorização agronómica de efluentes e coprodutos realizados na Quinta da Fonte Boa (INIAV-Santarém), com vista ao estudo do efeito de dois produtos de compostagem tradicional.

O Capítulo 6, o último, faz uma abordagem sumária dos impactos socioeconómicos da valorização e utilização dos EP. O foco é a circularidade do ciclo produtivo em que a economia circular assenta, onde, a valorização agrícola dos EP é, pois, uma mais-valia. Estamos perante a inversão de paradigmas e tabus que possibilita transformar um “resíduo” num produto com valor económico, agrícola, energético e ambiental.

Ideias finais

A grande dimensão dos custos económicos e ambientais decorrente da intensificação dos sistemas agrícolas, pecuários e agroindustriais é uma realidade e torna imperiosa a procura de soluções que valorizem os seus efluentes e coprodutos, visando tanto a redução da sua toxicidade como o desenvolvimento sustentável de novos processos e de novos produtos. O GoEfluentes assumiu uma abordagem de valorização de um recurso, focada nos diferentes interesses que convergem na produção e gestão adequada e integrada dos fluxos gerados nos sistemas agropecuários, assegurando o

desenvolvimento sustentável, a nível regional ou nacional. Estamos perante uma equação incontornável de abordagem de resíduo Zero, de Economia Circular e de encerramento de Ciclos de Nutrientes, para que definitivamente, os efluentes sejam percecionados e incluídos em estratégias de desenvolvimento sustentável enquanto uma mais-valia inquestionável e inadiável, ou seja, um recurso a valorizar.

Os resultados do Projeto estão em consonância com as metas que se pretendem alcançar no Plano de Ação para a Economia Circular da UE, dando ferramentas aos utilizadores finais que lhes permitam agilizar a implementação de medidas de requalificação numa perspetiva de aumentar a sustentabilidade da fileira agropecuária. Acresce a muito recente tomada de consciência que Portugal deve atingir rapidamente a suficiência alimentar. A especificidade do sector agropecuário e a sua variabilidade no território nacional foram estudadas, permitindo aos decisores políticos tomadas de decisão suportadas pelo conhecimento científico, como tal estimulando e dinamizando os produtores a aumentarem a sua eficiência/eficácia e a competitividade económica a nível da exportação. Neste contexto, a transferência para os diferentes atores da economia do sector, adequadamente operacionalizada através de ‘Living Labs’, como agentes de inovação relevantes em Economia Circular, transformação digital e autossuficiência, com iniciativas dinâmicas e abordagens multidisciplinares e cocriativas, aliando ciência e sustentabilidade dos sistemas de produção. Pretende-se, especificamente, implementar um ‘Living Lab’, associado a Piloto de Desenvolvimento Experimental e Demonstração sobre ‘Efluentes e coprodutos da atividade agropecuária’ numa diversidade de parcerias. Este será um bom incentivo para dar continuidade aos objetivos do Grupo Operacional GoEfluentes, onde modelos de negócio devem ser desenvolvidos com a participação de Associações de Produtores, Instituições Financeiras, Sistema Científico e Tecnológico Nacional, entre outras. A disponibilização de um Sistema de Informação Geográfico da Terras e Efluentes (sigTE) traduz-se num facilitador, repositório e demonstrador de resultados de grande valia e oportunidade.

Na verdade, é agora, com a implementação do Roteiro, que o GoEfluentes verdadeiramente começa.

Carlos Alberto Cupeto

Escola de Ciências e Tecnologia – Universidade de Évora

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AB – Alcalinidade em bicarbonatos

AI – Alcalinidade intermédia

APCRF – Associação Portuguesa de Criadores da Raça Frísia

B – Boro

Bio-CH₄ – Biometano

BSF – Black Soldier Fly, ou em português masca soldado negro são os nomes pelo qual é conhecida a espécie *Hermetia Illucens*.

C – Chorume de bovino sujeito a compostagem tradicional

Ca – Cálcio

CEA – Ciclo de engorda/acabamento

CF – Ciclo fechado

CHP – Co-geração

Co-DA – Codigestão anaeróbia

Cu – Cobre

D – Chorume de bovino submetido a compostagem por digestão anaeróbica

DA – Digestão anaeróbia

E – Taxa de transpiração

ENEPAI – Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais

E_p – Produção específica de energia elétrica

EP – Efluente de pecuária

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

FB e F – Chorume de bovino submetido a compostagem por biodigestão pelas larvas da mosca soldado negro

Fe – Ferro

FPAS – Federação Portuguesa das Associações de Suinicultores

Frass – “Excrementos de insetos” em Português, é uma mistura de excrementos de insetos de criação, substrato alimentar, partes de insetos de criação, ovos mortos e um teor de insetos de criação mortos, regulamentado pelo regulamento europeu 2021/1925 da Comissão Europeia publicado a 5 de novembro de 2021.

GEE – Gases com efeito de estufa

GS – Condutância estomática
IACA – Associação Portuguesa dos Industriais de Alimentos Compostos para Animais
INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, IP
ISA – Instituto Superior de Agronomia
K – Potássio
Mg – Magnésio
Mn – Manganês
MSN – Mosca Soldado Negro
N – Nitrogénio (ou azoto)
Na – Sódio
NUT – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OLR – Taxa de carga orgânica
P – Fósforo
Pn – Taxa fotossintética líquida
PNEC 2030 – Plano Nacional Energia e Clima 2030
Razão C/N – Razão carbono/azoto
SELR – *Specific energy loading rate*
SGP – Produção específica de biogás
SMP – Produção específica de biometano
SV – Sólidos voláteis
TRH – Tempo de retenção hidráulico
UE – Universidade de Évora
UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
WUE – Eficiência do uso de água
Zn – Zinco

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição média de chorumes e estrumes (Anexo VII do Código de Boas Práticas Agrícolas, 2018).....	7
Quadro 2 – Quantidades médias de alguns nutrientes excretados anualmente, por unidade animal das principais espécies pecuárias e por cabeça normal (Anexo VI do Despacho n.º 1230/2018)	8
Quadro 3 – Taxa de metabolismo dos principais grupos farmacológico utilizados na atividade pecuária (Fonte: Boxall et al., 2004).....	10
Quadro 4 – Perdas de azoto por volatilização de NH ₃ em diferentes estudos (Fonte: Palhares, 2019).....	14
Quadro 5 – Produção de efluentes pecuários por região administrativa ..	26
Quadro 6 – Entre Douro e Minho	33
Quadro 7 – Trás-os-Montes.....	35
Quadro 8 – Beira Litoral.....	36
Quadro 9 – Beira Interior.....	37
Quadro 10 – Ribatejo e Oeste	38
Quadro 11 – Alentejo	39
Quadro 12 – Algarve	40
Quadro 13 – Produção de efluente por espécie animal.....	42
Quadro 14 – Produção de efluente das aves em geral.....	43
Quadro 15 – Produção de efluente dos frangos de carne.....	44
Quadro 16 – Produção de efluente das galinhas poedeiras e reprodutoras	45
Quadro 17 – Produção de efluente dos perús e patos.....	46
Quadro 18 – Produção de efluente dos bovinos em geral	47
Quadro 19 – Produção de efluente dos bovinos de leite	48
Quadro 20 – Produção de efluente de outros bovinos	49
Quadro 21 – Produção de efluente de suínos	50
Quadro 22 – Produção de efluente de caprinos e ovinos	51
Quadro 23 – Produção de efluente de equídeos	51
Quadro 24 – Resultados de análises em amostras de estrume	57
Quadro 25 – Composição analisada de amostras de chorume	58

Quadro 26 – Principais requisitos e orientações na gestão dos efluentes pecuários	68
Quadro 27 – Normas Gerais de Descarga – Valores limite de emissão na descarga de águas residuais (Anexo XVIII do DI 236/98)	72
Quadro 28 – Valores máximos admissíveis para os teores «totais» (*) de metais pesados nos fertilizantes orgânicos (em matéria seca), quantidades máximas que se podem incorporar anualmente nos solos e valores máximos admissíveis de concentração de microrganismos patogénicos nos fertilizantes (em matéria fresca).	74
Quadro 29 – Valores máximos admissíveis dos teores «totais» (*) de metais pesados nos solos (em matéria seca) em que se pretenda aplicar o fertilizante orgânico.....	75
Quadro 30 – Percentagem de sólidos e nutrientes separados em efluentes de explorações suínícolas com recurso a processos de floculação (Adaptado de: Pereira, 2005)	92
Quadro 31 – Teor em matéria seca, eficiência de remoção e redução do volume em processos de separação mecânica de efluentes pecuários (adaptado de Pereira, 2005).....	94
Quadro 32 – Principais características das explorações onde se procedeu à recolha da fração sólida de chorume para a compostagem	116
Quadro 33 – Principais características físico-químicas do substrato inicial e do composto final das explorações A e B.....	119
Quadro 34 – Principais características físico-químicas da biomassa adicionada e do serrim aplicado nas camas dos animais	120
Quadro 35 – Explorações ou fornecedores com aplicação da tecnologia de DA ao setor de produção animal intensiva	140
Quadro 36 – Efeito sobre diferentes emissões gasosas pela adição de biochar a efluentes animais (adaptado de (Kalus et al., 2019)	148
Quadro 37 – Caracterização físico-química dos efluentes utilizados como substrato para o crescimento de larvas de BSF.....	159
Quadro 38 – Formulação das dietas experimentais com diferentes efluentes agropecuários, utilizadas para o crescimento de larvas de BSF.....	160
Quadro 39 – Gorduras obtidas com o tratamento de diferentes efluentes agropecuários utilizados como substrato alimentar para larvas de BSF..	163

Quadro 40 – Caracterização física e química de dois lotes de estrume de bovino, tratados por compostagem tradicional, designados por A e B ... 169

Quadro 41 – Caracterização física e química de chorumes de bovino tratados por compostagem tradicional, por digestão anaeróbia e por biodigestão por larvas da Mosca Soldado Negro (MSN) 172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características de diferentes tipos de dejetos para algumas espécies (EMBRAPA, 2018).....	5
Figura 2. Principais vias de exposição ambiental aos fármacos de uso veterinário (Regitano e Leal, 2010)	11
Figura 3. Exemplo de compostagem (EMBRAPA, 2021).....	16
Figura 4. Vias de entrada de resíduos de medicamentos veterinários no ambiente (Boxall, 2004).....	17
Figura 5. Produção de efluentes (%) em Portugal Continental	27
Figura 6. Produção de chorume (%) em Portugal Continental.....	28
Figura 7. Produção de estrume (%) em Portugal Continental.....	28
Figura 8. Indicadores efluentes/cabeça normal e efluentes/superfície agrícola	29
Figura 9. Indicadores estrume/cabeça normal e estrume/superfície agrícola	30
Figura 10. Indicadores chorume/cabeça normal e chorume/superfície agrícola	30
Figura 11. Indicadores em relação a cabeça normal	31
Figura 12. Indicadores em relação a superfície agrícola utilizada.....	32
Figura 13. Volume total de efluente pecuário produzido em cada município de Portugal	53
Figura 14. Volume de efluente pecuário produzido por cabeça normal em Portugal	54
Figura 15. Volume de efluente pecuário produzido por superfície agrícola utilizada em Portugal.....	55
Figura 16. Plataforma Terras e Efluentes	61
Figura 17. Cadeia alimentar e o ciclo de nutrientes	85
Figura 18. Grades de detenção de detritos	96
Figura 19. Tanque de sedimentação subterrâneo (Adaptado de: USDA, 2011).....	97
Figura 20. Tanque de sedimentação cónico	98
Figura 21. Separador de tela estática inclinada.....	100
Figura 22. Princípio de funcionamento de separador de tela inclinada...	100

Figura 23. Separador de tela vibratória	101
Figura 24. Princípio de funcionamento de separador de tela vibratória .	102
Figura 25. Separador de tela rotativa (Adaptado de Bernal et al., 2015) .	102
Figura 26. Princípio de funcionamento de separador de tela rotativa (Adaptado de: https://hidrometalica.com/tamiz-rotativo/).....	103
Figura 27. Separador de prensas de rolos e princípio de funcionamento	104
Figura 28. Separador de prensas de rolos combinado com separador de tela rotativa	105
Figura 29. Separador de prensas de correia e princípio de funcionamento	106
Figura 30. Separador de prensas de parafuso (Fonte: Brendal et al., 2015)	107
Figura 31. Princípio de funcionamento do separador de prensas com parafuso.....	107
Figura 32. Separador centrífugo horizontal e princípio de funcionamento	108
Figura 33. Principais operações do processo de compostagem.....	118
Figura 34. Valores de temperatura registados nas pilhas de compostagem das misturas com FSC provenientes das explorações A e B.....	120
Figura 35. Possíveis rotas de contaminação associadas à produção animal	124
Figura 36. Etapas do processo biológico de DA (Li, Chen and Wu, 2019)	125
Figura 37. Imagem satélite da exploração da Herdade do Pessegueiro: 1 – Quarentena, 2 – Gestação, 3 – Maternidades, 4 – Engordas, 5 – ETAR, 6 – Lagoa. Fonte: Valorgado	128
Figura 38. Fases de Produção em Ciclo-Fechado	129
Figura 39. Diagrama da unidade piloto.	130
Figura 40. Fotografia da unidade piloto de digestão anaeróbia	131
Figura 41. Comparação da produção específica de energia elétrica (EP) correspondente aos ensaios com chorume de ciclo fechado (CF) e da fase de engorda/acabamento (CEA) realizados à escala laboratorial.....	133
Figura 42. Comparação do potencial bioenergético para o cenário com chorume de ciclo fechado (CF) e da fase de engorda/acabamento (CEA) à escala real.	134

Figura 43. A visão estratégica para o futuro..... 136

Figura 44. Unidade de controlo da adição de ácido sulfúrico e monitorização de pH de chorume na fase de armazenamento exterior ou interior de instalações pecuárias..... 144

Figura 45. Cisterna com dispositivo de acidificação de chorume no momento de aplicação ao solo. A adição do ácido ocorre dispositivo que está montado no topo da cisterna (câmara de acidificação). O ácido é transportado num tanque protegido que está montado na frente do trator (fotografia encastrada no canto inferior direito) 145

Figura 46. Perda acumulada de NH_3 após aplicação ao solo de efluentes bovinos tratados por diferentes métodos; descrição dos tratamentos: WS – Chorume bruto; LF – Fração líquida; LFA – Fração líquida acidificada; LFB- Fração líquida aditivada com uma formulação líquida de microrganismos e enzimas, e; LFJ - Fração líquida aditivada com uma formulação líquida de microrganismos (adaptado de Owuso-Twum et al., 2017). 150

Figura 47. Representação gráfica da produção de larvas de BSF (kg) alimentadas com diferentes efluentes agropecuários. Asteriscos acima das barras indicam diferenças significativas do tratamento com seu respetivo controlo, de acordo com o teste t de Student 162

Figura 48. Ilustração do aspeto do azevém, em cada tratamento (T0, TM, TFB, TD, respetivamente, nas diferentes doses), antes do corte 173

Figura 49. Ilustração do aspeto do azevém, em cada tratamento, antes do corte, a título de exemplo 176

Figura 50. Representação da circularidade do setor agropecuário associado à valorização agrícola dos EP. 181

1. EFLUENTES DA ATIVIDADE PECUÁRIA

Cláudia Marques-dos-Santos Cordovil e Gabriela Zanetti Cirino

Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa

1.1. Introdução

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º214/2008 cria o Regime de Exercício Atividade Pecuária (REAP), sendo este aplicável a todas as espécies pecuárias, e tem sua versão atual no Decreto-Lei n.º81/2013 de 14 de junho que regula o Novo Regime de Exercício Atividade Pecuária (NREAP). O referido diploma na sua alínea a) do Artigo 2º define atividades pecuárias como “todas as atividades de reprodução, produção, detenção, comercialização, exposição e outras relativas a *animais das espécies pecuárias*.”.

Segundo a Direção-geral de agricultura e desenvolvimento rural DGADR, são consideradas atividades pecuárias, todas as instalações de reprodução, produção, detenção, comercialização, exposição e outras relativas a animais das espécies pecuárias; assim estão neste conceito não só as explorações pecuárias, mas também os centros de agrupamento de animais (instalações de mercados, leilões de animais; exposição; centros de produção de sêmen; etc.) ou os entrepostos de animais (instalações de comerciantes de animais; etc.).

São igualmente consideradas atividades pecuárias, devidamente autorizadas no diploma que regula o Regime do Exercício da Atividade Pecuária REAP em Portugal:

Unidades de Gestão de Efluentes Pecuários, complementares a explorações pecuárias ou autónomas, tais como as unidades de produção de biogás ou compostagem de estrumes ou de camas de animais.

Explorações agrícolas valorizadoras de efluentes pecuários, que apesar de não deterem animais, mas que valorizem mais de 200m³/ton. de efluentes/estrumes pecuários por ano ou que utilizem subprodutos de origem animal transformados SPOAT) como fertilizantes ou corretores orgânicos do solo.

Consideram-se “**animais de espécie pecuária**”, qualquer animal bovino, suíno, ovino, caprino, equídeo, ave, leporídeos (coelhos e lebres) ou outra espécie que seja criada com o fim de reprodução ou produção de carne, e de outros produtos como o leite, os ovos, a lã, a seda, o pêlo, a pele ou ainda que contribua para o repovoamento cinegético. São considerados também os animais da produção pecuária destinada a criar animais de companhia, de trabalho ou destinados a atividades culturais ou desportivas; **Ruminantes**: bovinos em produção de leite, de carne ou de animais de lide; búfalos; ovinos e caprinos; **Equídeos**: cavalos, asininos (burro) e muares; **Suínos**: suínos e javalis e seus cruzamentos; **Aves**: produção de reprodutores, ovos ou de carne; galinhas, frangos, perus, patos, gansos, pintadas, codornizes; galinhas do mato, pombos (para consumo), perdizes (p/ consumo ou repovoamento), faisões, avestruzes; **Cunicultura**: coelhos, lebres e coelhos bravos para consumo; **outras espécies**: marta, chinchila, vison (para a produção de peles / mercado), répteis (para mercado), caracóis (helicicultura) e outros moluscos terrestres; detenção ou reprodução em cativeiro de espécies cinegéticas como veados, gamos, corsos ou de camelídeos (camelos, lamas e alpacas), que não estejam em parques zoológicos. Os insetos desde nota interpretativa nº19 e revista na nota nº20 são também já considerados animais de produção.

Nota: As instalações destinadas à reprodução e/ou produção de aves ou de coelhos de companhia com a finalidade de comercialização, são consideradas uma atividade enquadrável no âmbito do REAP. As Quintas Pedagógicas são igualmente consideradas “explorações pecuárias”.

Estão excluídas do âmbito do REAP as seguintes atividades: a apicultura, a detenção ou a criação de animais de companhia (cães, gatos, etc.), a detenção de aves ou coelhos como animais de companhia, a detenção de pombos correio como atividade de lazer/competição e os Parques Zoológicos, mesmo que detenham espécies pecuárias.

Os efluentes pecuários são co-produtos resultantes das atividades pecuárias acima descritas e, em casos de manuseamento inadequado, representam riscos para a saúde pública e animal, devendo seguir procedimentos de controlo nos núcleos de produção de forma a permitir a correta destinação final para esses efluentes.

Neste contexto, a Portaria n.º 79/2022 foi criada com o objetivo de estabelecer as normas regulamentares a que obedece a gestão dos efluentes das atividades pecuárias e as normas técnicas a observar no âmbito do licenciamento das atividades de valorização agrícola ou de transformação dos efluentes pecuários, tendo em vista promover as condições adequadas de produção, recolha, armazenamento, transporte, valorização, transformação, tratamento e destino final.

1.2. Efluentes pecuários: conceitos e classificação

A alínea l) do Artigo 2º do Decreto-Lei n.º 81/2013 define efluentes pecuários como o **estrumo e chorume**.

A alínea g) do Artigo 2º da Portaria 79/2022 define **chorume** como sendo “a mistura de fezes e urinas dos animais, bem como de águas de lavagem ou outras, contendo por vezes desperdícios da alimentação animal ou de camas e as escorrências provenientes das nitreiras e silos”.

Já a alínea h) da mesma Portaria define **estrumo** como “a mistura de fezes e urinas dos animais com materiais de origem vegetal como palhas e matos, com maior ou menor grau de decomposição, incluindo a fração sólida do chorume, assegurando que não tem escorrência líquida aquando da sua aplicação”.

1.3. Composição

As características dos dejetos variam conforme sua consistência (Figura 1) e podem ser classificados de 4 formas:

- Líquido: com até 4% de sólidos;
- Pastoso: entre 4% e 10% de sólidos;
- Semissólido: entre 10% e 20% de sólidos; e
- Sólido: com mais de 20%.

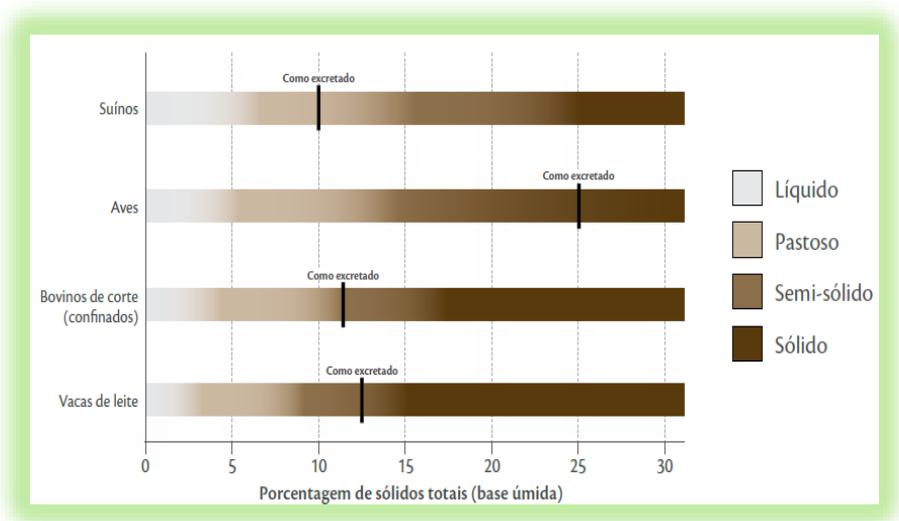


Figura 1. Características de diferentes tipos de dejetos para algumas espécies (EMBRAPA, 2018)

Os efluentes pecuários contêm diversos nutrientes que passam pelo tracto intestinal do animal, e que têm potencial para serem recuperados nomeadamente nos solos agrícolas. Para além dos nutrientes é interessante

o teor de água neles contido, e o teor de matéria orgânica pode ser um fator importante na recuperação da fertilidade dos solos.

Contudo, apresentam carga poluente potencial, principalmente centrada na elevada concentração de azoto sob a forma de nitrato e nos teores variáveis de metais pesados, conforme a espécie animal e o tipo de manejo. Para além disso, estes resíduos podem conter os mais variados tipos de microrganismos patogénicos como bactérias, vírus e protozoários (Pinto, 2014).

A composição média de chorumes e estrumes é apresentada pelo Anexo VII do Código de Boas Práticas Agrícolas (2018) e demonstrada no Quadro 1.

Assim como a quantidade de efluente produzido anualmente, os nutrientes contidos nesses efluentes, provenientes dos dejetos dos animais, são variáveis por espécie. Desta forma, o Anexo VI do Despacho n.º 1230/2018 de 5 de fevereiro, que aprova do Código de Boas Práticas Agrícolas para a proteção de águas, apresenta algumas quantidades médias de alguns nutrientes excretados anualmente, por unidade animal das principais espécies pecuárias e por cabeça normal (Quadro 2).

Quadro 1 – Composição média de chorumes e estrumes (Anexo VII do Código de Boas Práticas Agrícolas, 2018)

	Espécie pecuária/ Tipo de animal	Efluente Pecuário	m ³ ou t/animal ou lugar/ano	kg/t de estrume ou kg/m ³ de chorume						CN	m ³ ou t/CN/ ano	kg/CN e ano				
				MS	MO	Nt	N _{disp}	P ₂ O	K ₂ O			MO	Nt	N _{disp}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bovinos	Vaca leiteira	Estrume	21,0	210	175	5,3	1,3 - 2,5	2,2	10,8	1,2	17,5	3063	93	22,8 - 43,8	39	189
		Chorume	23,0	90	70	4,3	2,2 - 3,0	1,8	8,0		19,2	1342	82	42,2 - 57,5	35	153
	Vaca aleitante	Estrume	14,0	210	175	5,3	1,3 - 2,5	2,2	10,8	1	14,0	2450	74	18,2 - 35,0	31	151
		Chorume	15,5	90	70	4,3	2,2 - 3,0	1,8	8,0		15,5	1085	67	34,1 - 46,5	28	124
	Bovino de recria (6 a 24 meses)	Estrume	7,0	210	175	5,3	1,3 - 2,5	2,2	10,8	0,6	11,5	2013	61	15,0 - 28,8	25	124
		Chorume	8,0	90	70	4,3	2,2 - 3,0	1,8	8,0		13,5	945	58	29,7 - 40,5	24	108
	Bovino de engorda intensiva	Estrume	6,8	210	155	5,3	1,3 - 2,5	2,3	8,9	0,6	11,3	1757	61	14,7 - 28,3	26	101
		Chorume	7,5	90	65	4,3	2,2 - 3,0	1,7	5,2		12,5	813	54	27,5 - 37,5	21	65
Vitelo de recria (< 6 meses)	Estrume	2,2	210	150	5,3	1,3 - 2,5	2,3	5,5	0,4	5,5	825	29	7,2 - 13,8	13	30	
Vitelo aleitamento (< 3 meses)	Estrume	1,4	90	150	5,3	1,3 - 2,5	2,3	5,5	0,20	3,5	525	19	4,6 - 8,8	8	19	
Suínos	Lugar de porcas reprodutoras (substituição/ gestação/ lactação)	Estrume	3,4	270	40	7,8	3,1 - 4,7	7,0	8,3	0,35	9,7	389	76	30,1 - 45,7	68	81
		Chorume	6,0	50	33	4,7	2,4 - 3,3	3,2	3,2		17,1	566	81	41,1 - 56,6	55	55
	Lugar de porcos de engorda/ acabamento	Estrume	1,2	270	40	7,8	3,1 - 4,7	7,0	8,2	0,15	8,0	320	62	24,8 - 37,6	56	66
		Chorume	1,6	50	36	6,0	3,0 - 4,2	3,8	4,4		10,7	384	63	32,0 - 44,8	41	47
	Lugar de bácoros/ leitões desmamados	Estrume	0,5	270	40	7,8	3,1 - 4,7	7,0	8,3	0,05	10,0	400	78	31,0 - 47,0	70	83
		Chorume	0,8	50	36	6,0	3,0 - 4,2	3,8	4,4		16,0	576	96	48,0 - 67,2	61	70
	Exploração de produção de leitões	Estrume	5,1	270	40	7,8	3,1 - 4,7	7,0	8,3	0,52	9,8	390	76	30,2 - 45,8	68	81
		Chorume	8,7	50	33	4,7	2,4 - 3,3	3,2	3,2		16,7	552	79	40,2 - 55,2	54	54
	Exploração em ciclo fechado	Estrume	12,9	270	40	7,8	3,1 - 4,7	7,0	8,3	1,49	8,6	346	67	26,8 - 40,6	60	72
		Chorume	19,1	50	36	6,0	3,0 - 4,2	3,8	4,4		12,8	461	77	38,5 - 53,8	49	56
Ovinos / Caprinos	Exploração ovinos/ caprinos carne	Estrume	1,7	270	200	8,0	3,2 - 4,8	3,3	16	0,17	10,0	2000	80	32,0 - 48,0	33	160
	Exploração ovinos/ caprinos leite	Estrume	2,3	270	200	8,0	3,3 - 4,8	3,3	16	0,23	10,0	2000	80	32,0 - 48,0	33	160
Equinos	Cavalo adulto (> 24 meses)	Estrume _{freco}	12,0	350	300	4,4	0,3 - 0,8	2,5	9,8	1,0	12,0	3600	53	3,6 - 9,6	30	118
		Estrume _{curtido}	8,0	350	240	6,8	0,7 - 1,8	5,0	19,5		8,0	1920	54	5,6 - 14,4	40	156
Aves	Lugar de galinhas poedeiras	Excremento	0,027	350	250	21	8,4 - 12,6	17	11	0,013	2,1	519	44	17,4 - 26,2	35	23
		Estrume	0,015	500	330	27	11 - 16	30	20		1,2	381	31	12,7 - 18,5	35	23
	Lugar de frangas de recria	Estrume	0,008	500	430	30	12 - 18	26	15	0,006	1,3	573	40	16,0 - 24,0	35	20
	Lugar de frangas de engorda	Estrume	0,008	650	440	34	14 - 21	20	28	0,006	1,3	587	45	18,7 - 28,0	27	37
	Lugar de perus	Estrume	0,030	600	400	28	12 - 18	23	13	0,025	1,2	480	34	14,4 - 21,6	28	16

Quadro 2 – Quantidades médias de alguns nutrientes excretados anualmente, por unidade animal das principais espécies pecuárias e por cabeça normal (Anexo VI do Despacho n.º 1230/2018)

Espécie pecuária / Tipo de animal			Nutrientes excretados kg/animal ou lugar e ano			CN	Nutrientes excretados kg/CN e ano			
			Nt	P ₂ O ₅	K ₂ O		Nt	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Bovinos	Vaca leiteira		por animal	115,0	41,0	184,0	1,20	95,,8	34,2	153,3
	Vaca mãe sem vitelo		por animal	80,0	30,0	120,0	1,00	80,0	30,0	120,0
	Vaca aleitante - raças pesadas (>500 kg pv)		por animal	90,0	32,0	125,0	1,00	90,0	32,0	125,0
	Vaca aleitante - raças ligeiras (<500 kg pv)		por animal	70,0	26,0	110,0	0,80	87,5	32,5	137,5
	Bezerro ou vitela para criação	< 1 ano	por animal	25,0	7,5	35,0	0,40	62,5	18,8	87,5
		1 a 2 anos	por animal	40,0	13,0	60,0	0,60	66,7	21,7	100,0
		> 2 anos	por animal	55,0	20,0	75,0	0,80	68,8	25,0	93,8
	Vitelo recria/engorda (de 50 a 200 kg pv)		por lugar	13,0	4,5	7,0	0,40	32,5	11,3	17,5
			por animal	5,0	1,5	2,7	0,40	12,5	3,8	6,8
	Vitelo em aleitamento (até ± 350 kg pv)		por animal	34,0	8,0	34,0	0,40	85,0	20,0	85,0
	Bovino de engorda intensiva		por lugar	33,0	11,0	33,0	0,80	41,3	13,8	41,3
			por animal	41,0	14,0	41,0	0,80	51,3	17,5	51,3
	Bovino de engorda em pastoreio		por lugar	40,0	12,0	55,0	0,80	50,0	15,0	68,8
			por animal	65,0	18,0	80,0	0,80	81,3	22,5	100,0
Touro reprodutor		por animal	50,0	18,0	85,0	1,00	50,0	18,0	85,0	
Suínos	Porco de engorda / substituição		por lugar	13,0	6,0	7,0	0,15	86,7	40,0	46,7
			por animal	4,0	2,0	2,3	0,15	26,7	13,3	15,3
	Porco de criação		por lugar	35,0	19,0	19,0	0,35	100,0	54,3	54,3
	Varrasco		por animal	18,0	10,0	10,0	0,30	60,0	33,3	33,3
	Porca aleitante		por lugar	42,0	23,0	18,0	0,35	120,0	65,7	51,4
			por porca e ciclo	5,1	2,8	2,2	0,35	14,8	8,0	6,3
	Porca gestante		por lugar	20,0	11,0	13,0	0,35	57,1	31,4	37,1
			por porca e ciclo	6,5	3,5	4,2	0,35	18,6	10,0	12,0
	Bácoro desmamado		por lugar	4,6	2,6	2,5	0,05	92,0	52,0	50,0
			por animal	0,4	0,2	0,2	0,05	8,0	4,0	4,0
Ovinos/ Caprinos	Ovelha/cabra		por lugar	12,0	4,5	20,0	0,17	70,6	26,5	117,6
	Ovelha/cabra em produção intensiva de leite		por lugar	21,0	9,0	32,0	0,23	91,3	39,1	139,1
Equinos	Égua com potro		por animal	52,0	31,0	88,0	1,40	37,1	22,1	62,9
	Cavalo adulto		por animal	44,0	23,0	75,0	1,00	44,0	23,0	75,0
	Poldro (de 6 meses a 24 meses)		por animal	42,0	19,0	68,0	0,60	70,0	31,7	113,3
Aves	Galinha poedeira		por 100 lugares	80,0	45,0	30,0	1,30	61,5	34,6	23,1
	Frangas de recria		por 100 lugares	34,0	21,0	12,0	0,60	56,7	35,0	20,0
			por 100 animais	15,0	9,0	5,0	0,60	25,0	15,0	8,3
	Frangos de carne		por 100 lugares	45,0	16,0	22,0	0,60	75,0	26,7	36,7
	Perus (até 12 kg)		por 100 lugares	140,0	70,0	40,0	3,00	46,7	23,3	13,3
			por 100 animais	48,0	25,0	13,0	3,00	16,0	8,3	4,3
	Avestruz		< 13 meses	por animal	11,0	6,0	8,0	0,20	55,0	30,0
> 13 meses			por animal	24,0	10,0	15,0	0,20	120,0	50,0	75,0
Leporídeos	Coelha reprodutora		por lugar	9,0	6,0	5,0	0,04	225,0	150,0	125,0

Outro aspeto digno de nota é o facto de o aumento da população levar à necessidade de utilizar novos métodos e produtos químicos na criação intensiva de animais para a alimentação humana com o intuito de maximizar a eficiência alimentar e reduzir o tempo de criação. De entre esses produtos destaca-se o uso de medicamentos veterinários (terapêuticos e profiláticos) e de substâncias promotoras do crescimento (Sales et al., 2015).

Porém, muitos desses medicamentos administrados não são plenamente metabolizados no organismo animal, sendo excretados na urina e nas fezes, tanto na forma do composto original ou já parcialmente metabolizados (Kemper, 2008). Segundo Sarmah et al. (2006), até 95% dos ingredientes ativos administrados aos animais podem ser integralmente eliminados sem sofrer qualquer metabolização no trato digestivo animal. Mesmo quando a molécula é em grande parte metabolizada, alguns dos produtos de degradação excretados podem permanecer bioativos (Thiele-Bruhn, 2003).

O Quadro 3 apresenta a taxa de metabolismo dos principais grupos de antibióticos utilizados na atividade pecuária. Como consequência, a utilização de efluentes e lamas originárias da atividade pecuária para fins de adubação tem um forte potencial para contribuir para a disseminação destes compostos no ambiente, apresentando riscos acrescidos para a saúde humana e dos ecossistemas (Regitano e Leal, 2010).

Uma vez inseridos no ambiente os resíduos de antibióticos, por exemplo, podem acumular-se no solo, sofrer lixiviação ou serem transportados via escoamento superficial até aos recursos hídricos. Para além disso, alguns desses resíduos presentes no solo podem ser absorvidos pelas plantas, acumulando-se nos tecidos vegetais, o que potencia o risco para a saúde

humana quando da colheita e consumo de alimentos de origem vegetal (Boxall et al., 2006).

Quadro 3 – Taxa de metabolismo dos principais grupos farmacológico utilizados na atividade pecuária (Fonte: Boxall et al., 2004)

Grupo farmacológico	Taxa de metabolismo no organismo animal
Tetraciclina	Baixa
Macrolídeos	Baixa
Aminoglicosídeos	Baixa a elevada
Lincosamidas	Moderada
Fluoroquinolonas	Moderada a elevada
Sulfonamidas	Elevada

Baixa: < 20%; Moderada: de 20 a 80%; Elevada: > 80% da dose administrada.

Kessler et al. (2020) avaliaram a influência dos antibióticos tetraciclínicos associados aos efluentes da suinicultura na atividade enzimática relacionada ao ciclo biogeoquímico dos nutrientes do solo ao longo do tempo durante duas estações do ano (verão e outono). Os resultados do estudo apontam para que a adição de antibióticos ao solo veiculados numa fonte de matéria orgânica, como são os efluentes de suínos, gere uma redução significativa da atividade enzimática do solo, sendo ainda mais pronunciado o efeito de aplicações sucessivas.

A Figura 2 apresenta as principais vias de exposição no ambiente aos fármacos de uso veterinário.

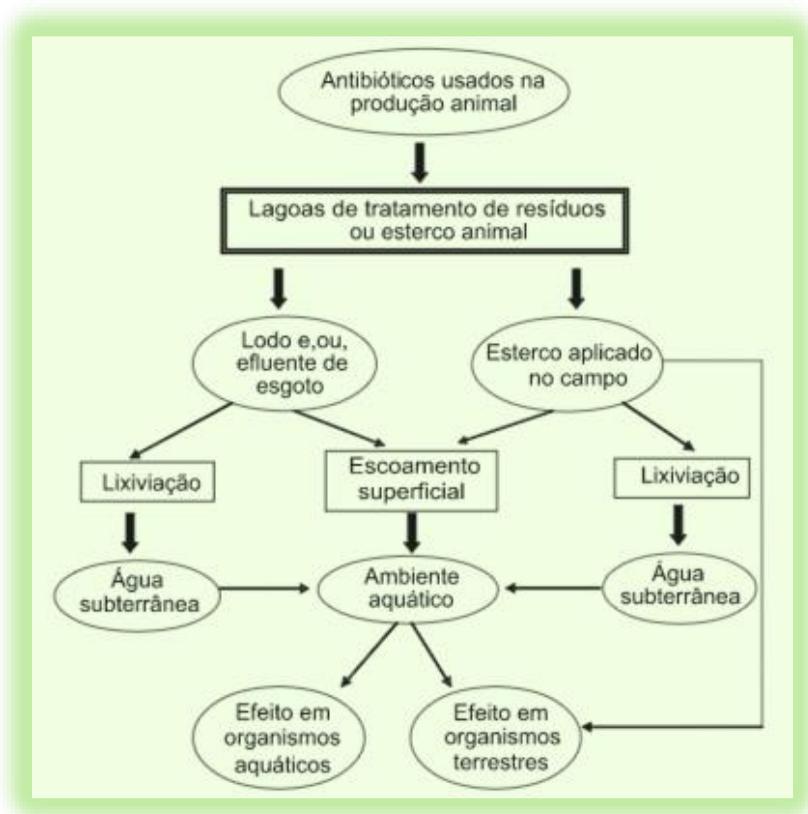


Figura 2. Principais vias de exposição ambiental aos fármacos de uso veterinário (Regitano e Leal, 2010)

1.4. Fatores de variação da composição dos efluentes pecuários

A constituição dos efluentes pecuários é dinâmica de acordo com a proporção de fezes e urinas, cuja composição é variável e dependente da espécie do animal, estado reprodutivo, sexo e idade do animal, composição da dieta nutricional, quantidade e qualidade de água ingerida.

Para além das características dos dejetos, o tipo de estrume produzido irá depender da qualidade e quantidade de palha ou outros materiais utilizados nas camas dos animais, da proporção de fezes e urina misturados com os materiais utilizados nas camas, da temperatura atingida durante a fermentação e do grau de degradação final da mistura de dejetos e camas. Estes fatores influenciam a composição do estrume de forma a obter um efluente com conteúdo palhoso maior ou menor e mais ou menos ricos em nutrientes.

Já a quantidade e características de chorume produzido depende do grau de diluição com as águas de lavagem e outras que podem ser utilizadas nos estábulos, com a urina e com quantidades maiores ou menores de fezes em suspensão, restos de rações, palhas, fenos ou outros materiais fornecidos para alimentação e/ou suplementação.

Estima-se que o armazenamento/processamento do estrume de suíno e de aves dá origem à perda de nutrientes. Estas duas fases representam respetivamente 27% e 6% das emissões de toda a cadeia de produção, essencialmente por volatilização e emissão de gases (ex. NH_3). As perdas de nutrientes fazem variar a composição do efluente ou do estrume ao longo do tempo de armazenamento, e o potencial de variação de teor de nutrientes, em especial para o azoto, é particularmente relevante nos efluentes.

Quando se considera também a produção de ração para a alimentação dos animais essa contribuição aumenta significativamente devido à grande proporção de soja nas rações (FAO, 2013).

Estima-se que são emitidos 0,7 e 0,6 giga toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. por ano nas cadeias de produção de suínos e aves respectivamente. Somados, esses valores representam 17% das emissões do setor pecuário no mundo. Quando se trata de bovinos, a contribuição geral da produção de leite, processamento e transporte para o total de emissões antropogênicas é estimada em 2,7% (FAO, 2013).

A volatilização de NH_3 também representa um risco de poluição ambiental porque, entre outros fatores, o NH_3 no solo será nitrificado, e o NO_3 produzido por meio desse processo poderá ser lixiviado para as águas subterrâneas. Em alternativa, se as condições forem propícias, o nitrato poderá ser utilizado na respiração anaeróbica de bactérias desnitrificantes e reduzido até N_2 , passando pela forma gasosa intermediária e N_2O , que é um potente gás de efeito estufa (GEE) (Palhares, 2019).

O Quadro 4 mostra as perdas de azoto por volatilização de NH_3 em diferentes estudos envolvendo o uso agrícola de dejetos líquidos de bovinos e suínos aplicados na superfície do solo.

Quadro 4 – Perdas de azoto por volatilização de NH_3 em diferentes estudos (Fonte: Palhares, 2019)

Tipo de estrume	N-NH ₄ aplicado (kg ha ⁻¹ de N)	Volatilização de NH ₃		Referência
		Total	Percentual (% N-NH ₄ aplicado)	
Bovinos	113,5	43,9	38,6	Bhandral et al. (2009)
Bovinos	70,0	35,8	51,0	Dosch e Gutser (1996)
Bovinos	32,5	12,9	39,7	Rodhe et al. (2006)
Bovinos	56,0	25,8	46,0	Thompson e Meisinger (2005)
Bovinos	68,0	30,2	44,4	Carozzi et al. (2013)
Bovinos	88,9	62,5	70,0	Dell et al. (2012)
Bovinos ⁽¹⁾	91,0	17,0	19,0	Thompson e Meisinger (2005)
Bovinos ⁽²⁾	51,0	36,0	71,0	Thompson e Meisinger (2005)
Suíños	252,0	57,0	22,6	Sherlock et al. (2002)
Suíños	119,0	26,5	22,3	Gonzatto et al. (2013)
Suíños	100,4	22,0	21,9	Chantigny et al. (2007)
Suíños	60,3	23,7	40,0	Chantigny et al. (2004)
Suíños	78,2	43,0	55,0	Dell et al. (2012)
Suíños	100,0	43,6	43,6	Smith et al. (2007)
Suíños	96,8	65,8	68,0	Huijsmans et al. (2003)
Suíños	150,2	25,4	16,9	Rochette et al. (2001)
Suíños	86,8	39,9	46,0	Rochette et al. (2009)
Suíños	100,7	34,2	34,0	Chantigny et al. (2009)
Média	95,3	35,8	41,7	

⁽¹⁾ Aplicação realizada no inverno (entre 4 °C e 6 °C)

⁽²⁾ Aplicação realizada na primavera (entre 15 °C e 25 °C)

1.5. Outros resíduos da atividade pecuária

Além dos dejetos de animais, outros resíduos gerados pela atividade pecuária, nomeadamente resíduos de podas, serragem, restos agrícolas, entre outros, são caracterizados como resíduos orgânicos, que podem ser valorizados e, por isso, considerados como materiais valiosos para a recuperação e reaproveitamento de recursos. As práticas mais executadas são a compostagem e a digestão anaeróbia, processos descritos adiante.

O processo de digestão anaeróbia (DA) gera como produto biogás e digerido. O biogás pode ser utilizado como recurso para a geração de energia elétrica e/ou térmica e o digerido como fertilizante.

Quanto à concentração de nutrientes no digerido, Zhang et al. (2007) concluíram que não existem variações significativas entre o efluente e afluente do processo de DA, mesmo que os microrganismos consumam nutrientes nos seus respectivos metabolismos, ainda assim, os micros e macronutrientes permanecem em níveis bastante semelhantes (Gueri, et al., 2018).

A capacidade de fertilização de azoto dos digeridos de diversas matérias-primas é reconhecida como intermediária, atingindo uma capacidade de fertilização média de 40 a 60% quando comparado com uma fonte química. O potencial de fertilização de fósforo dos digeridos é geralmente considerado na mesma faixa ou superior em relação aos fertilizantes químicos (Grigatti et al., 2020).

No entanto, o uso direto de digeridos em solos agrícolas pode levar a alguns impactes ambientais e não é visto de forma consensual como uma boa prática. Conforme relatado por Slorach et al. (2019), Zeng et al. (2016) e Evagelisti et al. (2014), esta prática pode levar à emissão de amoníaco (NH_3), de dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O).

Já o processo de compostagem gera como produto o composto. Moreira Sá (2009), designa como composto um produto final, higienizado e rico em

compostos húmicos, decorrente do processo de compostagem, que pode ser armazenado e manuseado sem qualquer problema e que tem um efeito benéfico para as plantas.

A sua aplicação em solos é uma estratégia já reconhecida que proporciona a melhoria da fertilidade do solo com o aumento da disponibilidade de nutrientes. Os compostos estáveis são muito resistentes à decomposição e, portanto, contribuem significativamente para o armazenamento de carbono no solo (Grigatti et al., 2019).



Figura 3. Exemplo de compostagem (EMBRAPA, 2021)

Como medida de segurança, os resíduos não devem ser acumulados na exploração em quantidades elevadas e por longos períodos de tempo. Conforme as Boas Práticas de Gestão de Resíduos Agrícolas, o agricultor deve proceder à eliminação dos resíduos sem pôr em perigo a saúde humana e sem utilização de processos ou métodos suscetíveis de prejudicar

o ambiente. Devem ser mantidos em local adequado, com solo impermeabilizado e afastado de fontes de ignição.

Outra categoria a que se deve dar a devida importância são os resíduos veterinários, considerados perigosos. As embalagens de medicamentos devem ser armazenadas em locais adequados, vazias ou fora de uso, e podem ser entregues, em Portugal, nas farmácias a fim de serem recolhidas no sistema da VALORMED.

Fatores sobre os riscos de contaminação do ambiente por medicamentos veterinários foram abordados no ponto 1.3 e podem ser considerados para os resíduos de medicamentos veterinários.

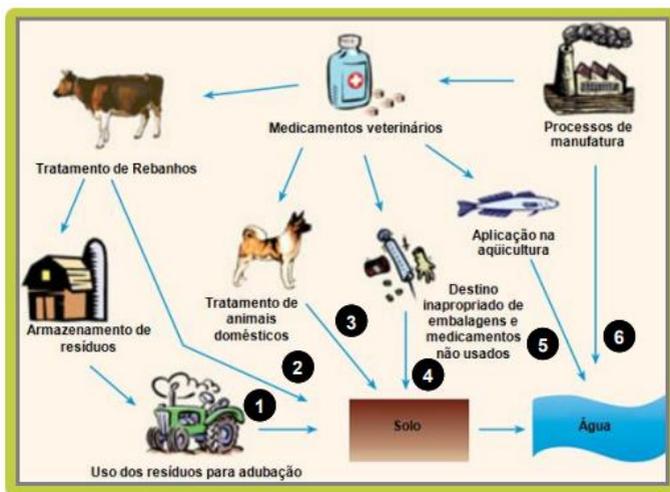


Figura 4. Vias de entrada de resíduos de medicamentos veterinários no ambiente (Boxall, 2004)

1.6. Referências

- Boxall ABA (2004). The environmental side effects of medication - How are human and veterinary medicines in soils and water bodies affecting human and environmental health? *Embo Reports* 5: 1110-1116.
- BOXALL, A.B.A.; FOGG, L.A.; BAIRD, D.J.; LEWIS, C.; TELFER, T.C.; KOLPIN, D. & GRAVELL, A. Targeted monitoring study for veterinary medicines in the environment. Final Science Report to the United Kingdom Environmental Agency, 2005.
- CAMEIRA, M.R.; ROLIM, J.; VALENTE, F.; MESQUITA, M.; DRAGOSITS, U.; CORDOVIL, C. M.d.S. Translating the agricultural N surplus hazard into groundwater pollution risk: Implications for effectiveness of mitigation measures in nitrate vulnerable zones. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 306, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107204>.
- CHANTIGNY, M. H.; MACDONALD, J. D.; BEAUPRÉ, C.; ROCHETTE, P.; ANGERS, A. D.; MASSÉ, D.; PARENT, L. Ammonia volatilization following surface application of raw and treated liquid swine manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 85, p. 275-286, Nov. 2009.
- CHRISTIAN, T.; SCHNEIDER, R.J.; FÄRBER, H.A.; SKUTLAREK, D.; MEYER, M.T. & GOLDBACH, H.E. Determination of antibiotic residues in manure, soil, and surface waters. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 31:36-44, 2003.
- DE LIGUORO, M.; POLTRONIERI, C.; CAPOLONGO, F. & MONTESISSA, C. Use of sulfadimethoxine in intensive calf farming: Evaluation of transfer to stable manure and soil. *Chemosphere*, 68:671-676, 2007.
- DIÁRIO DA REPÚBLICA. Decreto-Lei nº 214/2008, de 10 de novembro de 2008. Estabelece o regime da atividade pecuária, 10 nov. 2008.
- DIÁRIO DA REPÚBLICA. Decreto-Lei nº 81/2013, de 14 de junho de 2013. Aprova o novo regime de exercício da atividade pecuária e altera os Decreto-Leis n.º 202/2004, de 18 de agosto, e n.º 142/2006, de 27 de julho, 14 jun. 2013.
- DIÁRIO DA REPÚBLICA. Despacho n.º 1230/2018, de 05 de fevereiro de 2018. Aprova o Código de Boas Práticas Agrícolas, 05 fev. 2018.
- DIÁRIO DA REPÚBLICA. Portaria n.º 79/2022, de 03 de fevereiro de 2022.

- DOLLIVER, H.; KUMAR, K. & GUPTA, S. Sulfamethazine uptake by plants from manure-amended soil. *J. Environ. Qual.*, 36:1224-1230, 2007.
- EMBRAPA. Pecuária de baixa emissão de carbono: Tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de bovinos de corte e leite em sistemas confinados. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo – Brasília. 2018.
- EVANGELISTI, S. et al. Life cycle assessment of energy from waste via anaerobic digestion: A UK case study. *Waste Management*, v. 34, n. 1, p. 226-237, Jan 2014. ISSN 0956-053X. Available at: < <Go to ISI>://WOS:000329001100029 >.
- FAO. Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains: A global life cycle assessment. E-ISBN 978-92-5-107944-7. 2013.
- GRIGATTI, M.; BARBANTI, L.; HASSAN, M. U.; CIAVATTA, C. Fertilizing potential and CO₂ emissions following the utilization of fresh and composted food-waste anaerobic digestates. *Science of the Total Environment*, 698, p. 13, Jan 2020. Article.
- GUERI, M. V. D.; DE SOUZA, S. N. M.; KUCZMAN, O.; SCHIRMER, W. N.; BURATTO, W. G.; RIBEIRO, C. B.; BESINELLA, G. B. Digestão anaeróbia de resíduos alimentares utilizando ensaios BMP. *BIOFIX Scientific Journal*, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 08-16, 2018. DOI dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.55831.
- HAMSCHER, G.; PAWELZICK, H.T.; HOPER, H. & NAU, H. Different behavior of tetracyclines and sulfonamides in sandy soils after repeated fertilization with liquid manure. *Environ. Toxicol. Chem.*, 24:861-868, 2005.
- HIRSCH, R.; TERNES, T.; HABERER, K. & KRATZ, K-L. Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. *Sci. Total Environ.*, 225:109-118, 1999.
- KAY, P.; BLACKWELL, P.A. & BOXALL, A.B.A. Transport of veterinary antibiotics in overland flow following the application of slurry to arable land. *Chemosphere*, 59:951- 959, 2005a.
- KEMPER, N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment. *Ecol. Indic*, 8:1-13, 2008.
- KESSLER, N. C. H.; SAMPAIO, S.C.; PRADO, N.V.; REMOR, M.B.; REIS, R.R.; CORDOVIL, C.M.d.S. Effects of Tetracyclines on Enzymatic Activity and Soil

Nutrient Availability. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, p. 2657-2670, 2020.

LINDSEY, M.E.; MEYER, M. & THURMAN, E.M. Analysis of trace levels of sulfonamide and tetracycline antimicrobials in groundwater and surface water using solid-phase extraction and liquid chromatography/mass spectrometry. *Anal. Chem.*, 73:4640-4646, 2001.

MARTÍNEZ-CARBALLO, E.; BARREIRO-GONZÁLEZ, C.; SCHARF, S. & GANS, O. Environmental monitoring study of selected veterinary antibiotics in animal manure and soils in Austria. *Environ. Pollut.*, 148:570-579, 2007.

MOREIRA SÁ, E. V. Validação de um modelo de compostagem usando um compostor doméstico. Orientador: Dra. Ana Paula Duarte Gomes. 2009. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/642/1/2010000208.pdf>.

PALHARES, J.C.P. Produção animal e recursos hídricos : tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos / Julio Cesar Pascale Palhares, editor técnico – Brasília, DF: Embrapa, 2019. PDF (210 p.). ISBN 978-85-7035-911-7

PAWELZICK, H.T.; HÖPER, H.; NAU, H. & HAMSCHER, G. A survey of the occurrence of various tetracyclines and sulfamethazine in sandy soils in Northwestern Germany fertilized with liquid manure. In: SETAC EURO MEETING, 14., Prague, 2004.

PINTO, L.M.D. Valorização Agrícola de Lamas de ETAR e Efluentes Pecuários. 2015. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra , [S. I.], 2014.

REGITANO, J.B.; LEAL, R.M.P. Comportamento e impacto ambiental de antibióticos usados na produção animal brasileira. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 34, 601-616, 2010.

SALES, R.L.; ROCHA, J.L.M.; BRESSAN, J. Utilização de hormônios e antibióticos em produtos alimentícios de origem animal: aspectos gerais e toxicológicos. *Nutrire*, 40, p. 409-420, 2015.

SARMAH, A.K.; MEYER, M.T. & BOXALL, A.B.A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (Vas) in the environment. *Chemosphere*, 65:725-759, 2006.

2. PRODUÇÃO DE EFLUENTES PECUÁRIOS EM PORTUGAL

Produção de efluentes pecuários

Vasco Fitas da Cruz, Diogo Coelho e José Carlos Rico

Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Rural e MED - Instituto Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento

SIG – Georreferenciação: efluentes pecuários e o geoportal do GoEfluentes – Terras e Efluentes

Maria Antónia Figueiredo e Maria João Figueiredo

TTerra – Engenharia e Ambiente Lda

2.1. Introdução

Os efluentes pecuários constituem hoje um excedente da produção pecuária cuja gestão causa enormes impactos nos sistemas de produção animal, nomeadamente na tomada de decisão ao nível da sua operacionalidade e na sua rentabilidade e viabilidade técnico-económica. Segundo o Decreto-Lei 81/2013 (NREAP) o efluente pecuário é o estrume e chorume, A recente Portaria 79/2022 de 3 de fevereiro a qual define o regime aplicável à gestão de efluentes pecuários, classifica estrume “como a mistura de fezes e urinas das espécies pecuárias, podendo conter desperdícios da alimentação animal, as camas de origem vegetal e a fração sólida do chorume, que não apresenta escorrências aquando a sua aplicação. A mesma Portaria classifica como chorume “a mistura líquida ou semilíquida, de fezes e urinas das espécies pecuárias, bem como de água de lavagem das instalações pecuárias, das estruturas e equipamentos associados à atividade pecuária, que pode conter desperdícios da alimentação animal ou de camas, as escorrências provenientes de nitreiras ou silos e as águas pluviais não desviadas da área onde se encontram estabulados os animais”.

Por outro lado, a composição dos efluentes pecuários é muito variada e depende de diversas variáveis: espécie animal, alimentação e excreção de nutrientes, consumo de água, modo de limpeza das instalações e águas de lavagem, quantidade de palhas e/ou de outros materiais usados nas camas, entre outros. Deste modo, as características físico-químicas e microbiológicas do efluente pecuário conferem-lhe o carácter de potencial dano no ambiente.

Sendo o setor pecuário cada vez mais acusado de causar graves desequilíbrios ambientais, revela-se assim de vital interesse o conhecimento, atualizado, das quantidades de efluentes pecuários

produzidos no nosso país bem como da sua composição, tendo em vista não só os impactos que estes efluentes podem causar, mas também, numa perspetiva de Economia Circular, a sua valorização. Assim, com o objetivo de estimar a quantidade de efluentes pecuários produzidos em Portugal Continental, procedeu-se a uma recolha de dados sistematizada por regiões administrativas, subdivididas por município, por espécies pecuárias (aves, bovinos, suínos, caprinos, equídeos e ovinos), e por diferentes tipos de manejo. Seguidamente aplicaram-se algumas métricas que permitiram dar uma ideia da quantidade de efluente produzida por cabeça normal (CN) e por superfície agrícola utilizada (SAU), em cada município.

2.2. Metodologia

A pesquisa documental com vista à caracterização da produção de efluentes pecuários em Portugal (Continental) foi realizada em quatro etapas: Etapa 1 – Levantamento de dados; Etapa 2 – Determinação de produção de efluentes; Etapa 3 – Sistematização da informação; Etapa 4 – Elaboração dos mapas de produção de efluentes.

Etapa 1

Na primeira etapa foi realizada uma pesquisa junto a base de dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2022) e levantado o efetivo animal estabulado das espécies bovinas, suínas, aves, ovinos, caprinos e equídeos, e a Superfície Agrícola Utilizada (SAU, em hectares) por região administrativa, a saber, Entre Douro e Minho, Trás-os-Montes, Beira Litoral, Beira Interior, Ribatejo e Oeste, Alentejo e Algarve, e os seus respectivos municípios.

Etapa 2

Utilizando como referência o Anexo II do Decreto-Lei nº81/2013 (NREAP) foram determinadas as equivalências do efetivo animal em cabeça normal (CN). A partir do número de cabeças normais, e com base no Anexo V da Portaria 259/2012 foram determinadas as quantidades de efluentes pecuários (chorume e estrume), produzidos anualmente para cada uma das espécies animais. Posteriormente à determinação da produção de efluentes pecuários, número de cabeças normais e superfície agrícola utilizada foram apuradas as relações: CN/SAU, Efluente/CN e Efluente/SAU.

Etapa 3

A informação levantada e desenvolvida nas etapas anteriores foi sistematizada em quadros demonstrativos. Os quadros foram elaborados para cada uma das espécies animais e tipo de efluente pecuário, considerando as regiões administrativas e municípios. Foram elaborados também quadros gerais, onde são totalizados os números de cabeças normais e volume de efluentes produzidos.

Etapa 4

Na quarta e última etapa efetuou-se um mapeamento de Portugal continental, com objetivo de observar quais as zonas de maior produção de efluentes pecuários e sua concentração, relacionando as quantidades produzidas com o número de cabeças normais existentes em cada município e também o seu potencial para valorização agrícola, relacionando as quantidades produzidas com a superfície agrícola utilizada.

2.3. Apresentação de resultados

2.3.1. Por região administrativa e por município

Região Administrativa

No Quadro 5 apresentam-se os dados da produção total de efluentes pecuários (chorume e estrume) por região administrativa, bem como o número de cabeças normais e a superfície agrícola utilizada. Apresentam-se também as relações entre: cabeça normal e superfície agrícola utilizada; quantidade de efluentes e cabeça normal; e quantidade de efluentes e superfície agrícola utilizada.

Quadro 5 – Produção de efluentes pecuários por região administrativa

Região	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN/SAU (CN/ha)	Efluente /CN (m ³ /CN)	Efluente /SAU (m ³ /ha)
Entre Douro e Minho	212639	264958	3894973	1,2	14,7	18,3
Trás-os-Montes	450701	95218	1008803	0,2	10,6	2,2
Beira Litoral	129848	352599	2280784	2,7	6,5	17,6
Beira Interior	391754	98589	909199	0,3	9,2	2,3
Ribatejo e Oeste	409095	496223	3793870	1,2	7,6	9,3
Alentejo	2144066	292405	3348586	0,1	11,5	1,6
Algarve	100605	13247	143890	0,1	10,9	1,4

Nas Figuras 5, 6 e 7 estão representadas as percentagens de efluentes (chorume e estrume), de chorume e de estrume, respetivamente, para o território de Portugal.

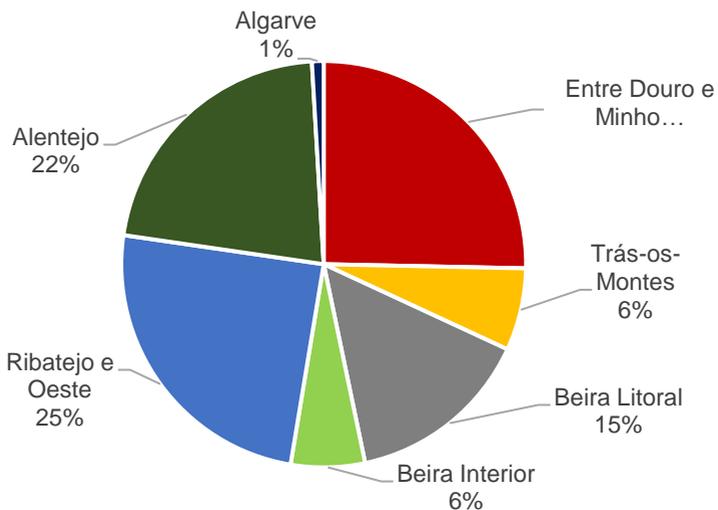


Figura 5. Produção de efluentes (%) em Portugal Continental

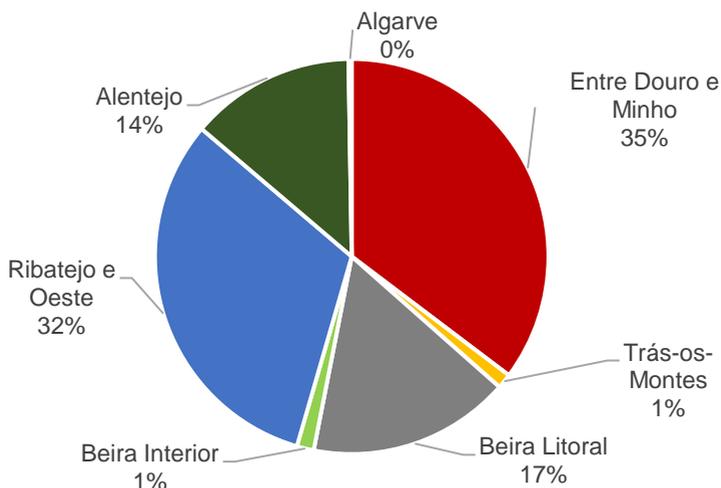


Figura 6. Produção de chorume (%) em Portugal Continental

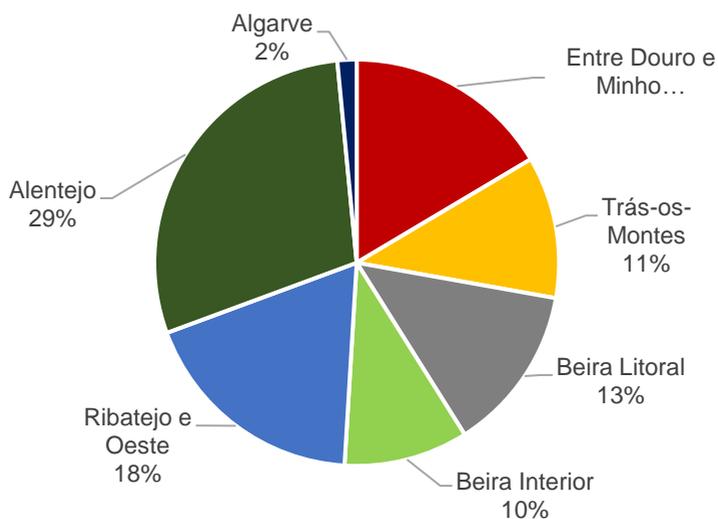


Figura 7. Produção de estrume (%) em Portugal Continental

Da leitura destes quadros e figuras constata-se que as regiões que mais efluentes produzem são Entre Douro e Minho, Ribatejo e Oeste e Alentejo, apresentando a região do Algarve uma produção residual. No que respeita à produção de chorume as maiores quantidades são geradas nas regiões de Entre Douro e Minho e do Ribatejo e Oeste. No entanto é a região do Alentejo aquela que produz maior quantidade de estrume.

Relativamente aos indicadores Efluentes/CN e Efluentes/SAU, a Figura 8 mostra que é a região de Entre Douro e Minho aquela que regista valores mais elevados para ambos os indicadores, sendo a região da Beira Litoral aquela que apresenta menores valores para o indicador Efluentes/CN e as regiões do Algarve e do Alentejo aquelas que apresentam menor valor para o indicador Efluentes/SAU.

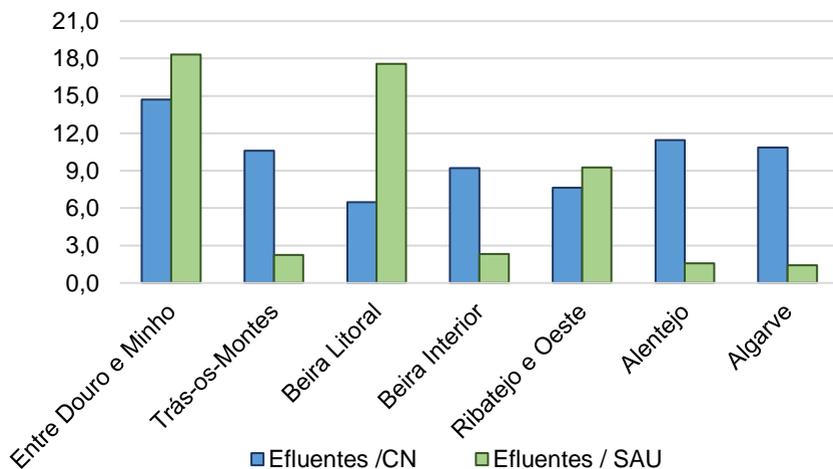


Figura 8. Indicadores efluentes/cabeça normal e efluentes/superfície agrícola

As Figuras 9 e 10 também evidenciam diferenças entre regiões administrativas nos indicadores Chorume e Estrume produzidos, quer por Cabeça Normal quer por Superfície Agrícola Utilizada.

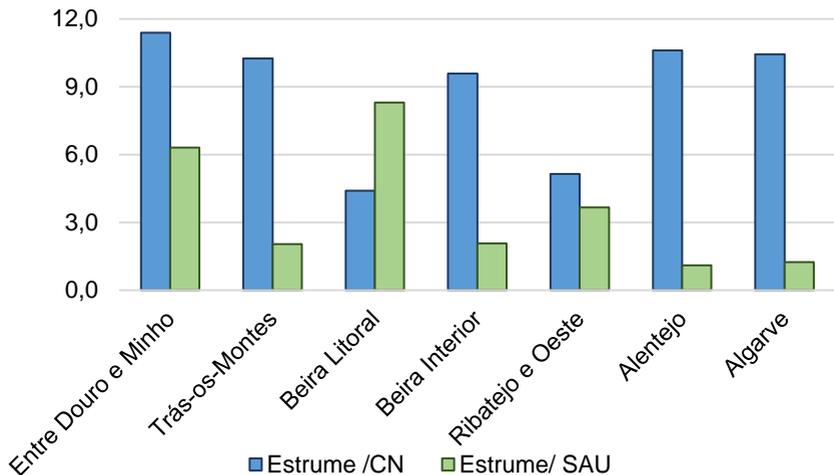


Figura 9. Indicadores estrume/cabeça normal e estrume/superfície agrícola

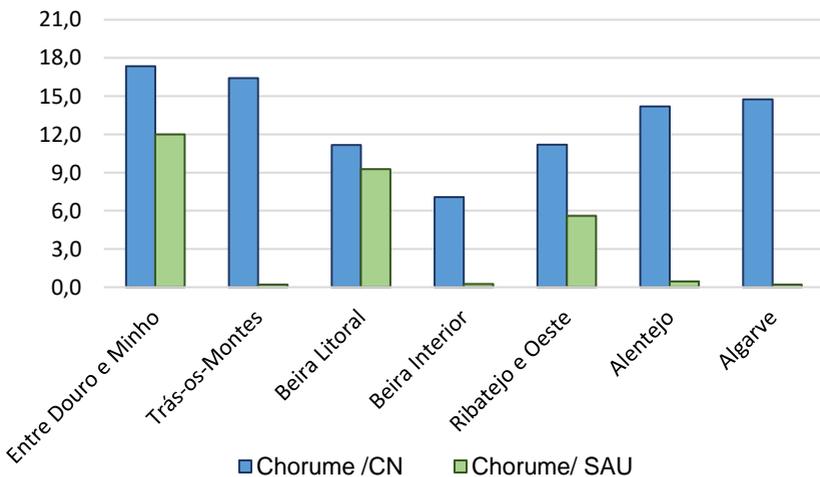


Figura 10. Indicadores chorume/cabeça normal e chorume/superfície agrícola

A Figura 11 evidencia ser a região de Entre Douro e Minho aquela onde os indicadores Efluentes/CN e Chorume/CN assumem maior expressão, sendo a região do Alentejo aquela onde se verifica o valor mais elevado para o indicador Estrume/CN.

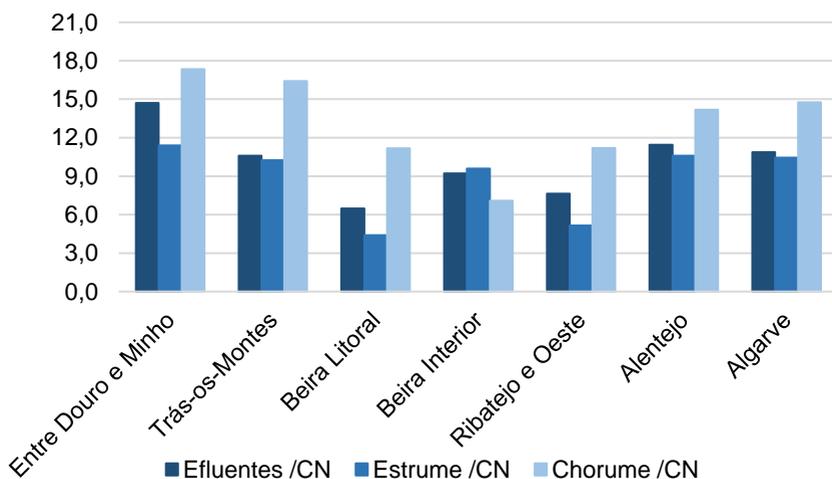


Figura 11. Indicadores em relação a cabeça normal

Conforme verifica na Figura 12, os indicadores Efluentes/SAU, Estrume/SAU e Chorume/SAU, assumem valores mais elevados nas regiões de Entre Douro e Minho e da Beira Litoral, apresentando as regiões do Alentejo e do Algarve os valores mais baixos.

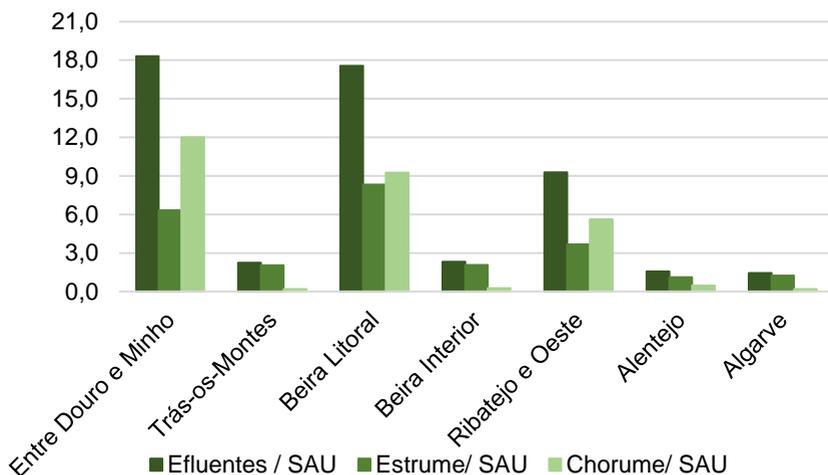


Figura 12. Indicadores em relação a superfície agrícola utilizada

Região Administrativa

Nos quadros seguintes (Quadro 6 a Quadro 12) estão apresentados os resultados obtidos por município em cada região administrativa.

Quadro 6 – Entre Douro e Minho

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Entre Douro e Minho	212639	264958	3894973	1,2	14,7	18,3
Amarante	7450	3583	52340	0,5	14,6	7,0
Amares	2053	5425	14946	2,6	2,8	7,3
Arcos de Valdevez	20907	7438	83585	0,4	11,2	4,0
Arouca	4370	4743	62552	1,1	13,2	14,3
Baião	4112	910	9121	0,2	10,0	2,2
Barcelos	10412	45878	790692	4,4	17,2	75,9
Braga	3753	5823	84026	1,6	14,4	22,4
Cabeceiras de Basto	11094	3844	36737	0,3	9,6	3,3
Caminha	2848	466	4328	0,2	9,3	1,5
Castelo de Paiva	1227	553	5741	0,5	10,4	4,7
Celorico de Basto	3985	1596	19195	0,4	12,0	4,8
Cinfães	4475	2269	23038	0,5	10,2	5,1
Espinho	29	25	251	0,9	10,0	8,7
Esposende	2295	6252	94746	2,7	15,2	41,3
Fafe	2580	1626	18423	0,6	11,3	7,1
Felgueiras	2857	2343	21122	0,8	9,0	7,4
Gondomar	880	559	6563	0,6	11,7	7,5
Guimarães	4092	7170	76265	1,8	10,6	18,6
Lousada	2074	2497	30885	1,2	12,4	14,9
Maia	1517	5050	80782	3,3	16,0	53,3
Marco de Canaveses	2687	1135	11855	0,4	10,4	4,4
Matosinhos	984	4317	73757	4,4	17,1	75,0
Melgaço	10490	1817	19268	0,2	10,6	1,8
Monção	5933	1992	19774	0,3	9,9	3,3
Mondim de Basto	5835	1230	12563	0,2	10,2	2,2
Oliveira de Azeméis	1699	6269	86707	3,7	13,8	51,0
Paços de Ferreira	901	1968	29984	2,2	15,2	33,3
Paredes	1855	1869	23130	1,0	12,4	12,5
Paredes de Coura	4218	3772	45546	0,9	12,1	10,8
Penafiel	3169	2595	37881	0,8	14,6	12,0
Ponte da Barca	8433	1268	14284	0,2	11,3	1,7
Ponte de Lima	7792	5814	80295	0,7	13,8	10,3
Porto	23	18	184	0,8	10,3	8,0
Póvoa de Lanhoso	2984	1991	23232	0,7	11,7	7,8
Póvoa de Varzim	3229	16353	283287	5,1	17,3	87,7
Resende	3842	615	6419	0,2	10,4	1,7
Ribeira de Pena	6250	2582	25929	0,4	10,0	4,1
Santa Maria da Feira	1436	1851	24461	1,3	13,2	17,0
Santo Tirso	2113	3228	48258	1,5	14,9	22,8
São João da Madeira	21	12	138	0,6	11,2	6,6
Terras de Bouro	6412	2179	23436	0,3	10,8	3,7
Trofa	1519	6020	92138	4,0	15,3	60,7
Vale de Cambra	911	1211	10798	1,3	8,9	11,9
Valença	1435	976	12765	0,7	13,1	8,9

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Valongo	893	941	14666	1,1	15,6	16,4
Viana do Castelo	7614	4642	54465	0,6	11,7	7,2
Vieira do Minho	8140	2989	33520	0,4	11,2	4,1
Vila do Conde	6034	51313	891034	8,5	17,4	147,7
Vila Nova de Cerveira	1228	584	7925	0,5	13,6	6,5
Vila Nova de Famalicão	5331	19367	298423	3,6	15,4	56,0
Vila Nova de Gaia	1224	588	6853	0,5	11,6	5,6
Vila Verde	4629	4885	58830	1,1	12,0	12,7
Vizela	363	520	7911	1,4	15,2	21,8

Quadro 7 – Trás-os-Montes

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente / CN	Efluente / SAU
Trás-os-Montes	450701	95218	1008803	0,2	10,6	2,2
Alfândega da Fé	11869	1361	13973	0,1	10,3	1,2
Alijó	10727	703	7408	0,1	10,5	0,7
Armamar	4881	155	2038	0,0	13,1	0,4
Boticas	14095	3428	37501	0,2	10,9	2,7
Bragança	37942	8289	86484	0,2	10,4	2,3
Carraceda de Ansiães	6916	886	9316	0,1	10,5	1,3
Chaves	19239	10321	117928	0,5	11,4	6,1
Freixo de Espada à Cinta	7932	679	6980	0,1	10,3	0,9
Lamego	6904	1110	8382	0,2	7,6	1,2
Macedo de Cavaleiros	29295	5418	57277	0,2	10,6	2,0
Mesão Frio	1293	33	288	0,0	8,8	0,2
Miranda do Douro	24909	5523	59942	0,2	10,9	2,4
Mirandela	30824	3854	39817	0,1	10,3	1,3
Mogadouro	33355	8116	95356	0,2	11,7	2,9
Moimenta da Beira	5300	3992	30831	0,8	7,7	5,8
Montalegre	33089	11462	128373	0,3	11,2	3,9
Murça	6046	770	8089	0,1	10,5	1,3
Penedono	4085	1309	10684	0,3	8,2	2,6
Peso da Régua	5007	100	912	0,0	9,1	0,2
Sabrosa	5162	687	9432	0,1	13,7	1,8
Santa Marta de Penaguião	3486	249	2480	0,1	10,0	0,7
São João da Pesqueira	12828	421	4300	0,0	10,2	0,3
Sernancelhe	4003	2820	16646	0,7	5,9	4,2
Tabuaço	3600	198	2015	0,1	10,2	0,6
Tarouca	2396	667	6759	0,3	10,1	2,8
Torre de Moncorvo	12766	1525	15348	0,1	10,1	1,2
Valpaços	24292	2845	30330	0,1	10,7	1,2
Vila Flor	10159	991	10164	0,1	10,3	1,0
Vila Nova de Foz Côa	12851	890	8919	0,1	10,0	0,7
Vila Pouca de Aguiar	17580	4780	53861	0,3	11,3	3,1
Vila Real	11055	3480	39770	0,3	11,4	3,6
Vimioso	16316	3284	35529	0,2	10,8	2,2
Vinhais	20498	4859	51322	0,2	10,6	2,5

Quadro 8 – Beira Litoral

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m3)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Beira Litoral	129848	352599	2280784	2,7	6,5	17,6
Águeda	2092	7788	43863	3,7	5,6	21,0
Aguiar da Beira	3319	13258	42603	4,0	3,2	12,8
Albergaria-a-Velha	2193	7519	63622	3,4	8,5	29,0
Alvaiázere	1790	1536	9213	0,9	6,0	5,1
Anadia	3168	1384	8058	0,4	5,8	2,5
Ansião	2555	5896	20562	2,3	3,5	8,0
Arganil	932	2997	9922	3,2	3,3	10,6
Aveiro	2535	1656	24376	0,7	14,7	9,6
Batalha	901	3129	25884	3,5	8,3	28,7
Cantanhede	4401	3798	50096	0,9	13,2	11,4
Carregal do Sal	1015	2356	7441	2,3	3,2	7,3
Castanheira de Pêra	219	108	1027	0,5	9,5	4,7
Castro Daire	5266	9418	33895	1,8	3,6	6,4
Coimbra	4775	2016	23537	0,4	11,7	4,9
Condeixa-a-Nova	1670	662	6224	0,4	9,4	3,7
Estarreja	2608	7236	105172	2,8	14,5	40,3
Figueira da Foz	5826	21476	88246	3,7	4,1	15,1
Figueiró dos Vinhos	456	252	2242	0,6	8,9	4,9
Góis	155	286	3704	1,8	13,0	23,9
Ílhavo	802	491	7323	0,6	14,9	9,1
Leiria	6532	68822	623214	10,5	9,1	95,4
Lousã	537	417	3990	0,8	9,6	7,4
Mangualde	4409	3019	17551	0,7	5,8	4,0
Marinha Grande	205	307	3291	1,5	10,7	16,1
Mealhada	1218	4407	29417	3,6	6,7	24,2
Mira	912	831	12576	0,9	15,1	13,8
Miranda do Corvo	1052	294	2812	0,3	9,6	2,7
Montemor-o-Velho	9832	7982	120965	0,8	15,2	12,3
Mortágua	484	2224	7015	4,6	3,2	14,5
Murtosa	1423	5321	86179	3,7	16,2	60,6
Nelas	2252	7004	16996	3,1	2,4	7,5
Oliveira de Frades	967	25671	53178	26,5	2,1	55,0
Oliveira do Bairro	1765	1164	16352	0,7	14,0	9,3
Oliveira do Hospital	2834	1675	16446	0,6	9,8	5,8
Ovar	2103	10193	111767	4,8	11,0	53,1
Pampilhosa da Serra	389	159	1396	0,4	8,8	3,6
Pedrógão Grande	717	209	1835	0,3	8,8	2,6
Penacova	880	660	6013	0,7	9,1	6,8
Penalva do Castelo	2477	2164	8082	0,9	3,7	3,3
Penela	1273	704	7459	0,6	10,6	5,9
Pombal	4661	13098	82469	2,8	6,3	17,7
Porto de Mós	6531	13298	168282	2,0	12,7	25,8
Santa Comba Dão	1060	3760	24256	3,5	6,5	22,9
São Pedro do Sul	3922	16150	44942	4,1	2,8	11,5

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m3)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Sátão	2808	10762	26846	3,8	2,5	9,6
Sever do Vouga	473	5967	12503	12,6	2,1	26,4
Soure	4713	1938	23909	0,4	12,3	5,1
Tábua	1942	1394	13714	0,7	9,8	7,1
Tondela	3373	16106	41925	4,8	2,6	12,4
Vagos	2330	2501	31935	1,1	12,8	13,7
Vila Nova de Paiva	1307	10713	30077	8,2	2,8	23,0
Vila Nova de Poiares	447	242	2249	0,5	9,3	5,0
Viseu	5800	9186	25240	1,6	2,7	4,4
Vouzela	1539	11001	29111	7	2,6	19

Quadro 9 – Beira Interior

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Beira Interior	391754	98589	909199	0,3	9,2	2,3
Almeida	25326	2591	28054	0,1	10,8	1,1
Belmonte	5164	1637	16409	0,3	10,0	3,2
Castelo Branco	50590	12957	127830	0,3	9,9	2,5
Celorico da Beira	9059	5728	44532	0,6	7,8	4,9
Covilhã	14338	4090	49699	0,3	12,2	3,5
Figueira de Castelo Rodrigo	26127	4409	47830	0,2	10,8	1,8
Fornos de Algodres	2731	2258	13103	0,8	5,8	4,8
Fundão	25733	9805	104055	0,4	10,6	4,0
Gouveia	7705	3054	24119	0,4	7,9	3,1
Guarda	23193	4605	47847	0,2	10,4	2,1
Idanha-a-Nova	88078	11287	126206	0,1	11,2	1,4
Mação	2146	1005	10444	0,5	10,4	4,9
Manteigas	3518	252	2482	0,1	9,9	0,7
Mêda	10169	1877	15383	0,2	8,2	1,5
Oleiros	945	388	3410	0,4	8,8	3,6
Penamacor	14312	2844	28323	0,2	10,0	2,0
Pinhel	21041	2797	30419	0,1	10,9	1,4
Proença-a-Nova	3790	10408	29315	2,7	2,8	7,7
Sabugal	29053	3417	35923	0,1	10,5	1,2
Seia	6080	2942	26219	0,5	8,9	4,3
Sertã	2978	2290	23504	0,8	10,3	7,9
Trancoso	11677	4769	44826	0,4	9,4	3,8
Vila de Rei	732	1028	7932	1,4	7,7	10,8
Vila Velha de Ródão	7269	2155	21427	0,3	9,9	2,9

Quadro 10 – Ribatejo e Oeste

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Ribatejo e Oeste	409095	496223	3793870	1,2	7,6	9,3
Abrantes	14015	3173	27540	0,2	8,7	2,0
Alcanena	3509	1165	10479	0,3	9,0	3,0
Alcobaça	7155	30806	381924	4,3	12,4	53,4
Alcochete	3735	2896	39180	0,8	13,5	10,5
Alenquer	12962	16169	141879	1,2	8,8	10,9
Almada	521	331	3495	0,6	10,6	6,7
Almeirim	12331	612	6557	0,0	10,7	0,5
Alpiarça	5370	793	9502	0,1	12,0	1,8
Amadora	62	19	200	0,3	10,3	3,2
Arruda dos Vinhos	3571	1437	13851	0,4	9,6	3,9
Azambuja	10213	12262	139333	1,2	11,4	13,6
Barreiro	85	78	807	0,9	10,4	9,5
Benavente	33032	13744	103980	0,4	7,6	3,1
Bombarral	4512	17758	29519	3,9	1,7	6,5
Cadaval	4998	3763	41663	0,8	11,1	8,3
Caldas da Rainha	6026	16214	93773	2,7	5,8	15,6
Cartaxo	9656	7018	81660	0,7	11,6	8,5
Cascais	1141	284	2953	0,2	10,4	2,6
Chamusca	26701	10314	147834	0,4	14,3	5,5
Constância	1753	656	6956	0,4	10,6	4,0
Coruche	56995	6882	91693	0,1	13,3	1,6
Entroncamento	307	25	239	0,1	9,6	0,8
Ferreira do Zêzere	1954	27365	74084	14,0	2,7	37,9
Golegã	8936	276	3120	0,0	11,3	0,3
Lisboa	56	20	213	0,4	10,6	3,8
Loures	3858	1882	23448	0,5	12,5	6,1
Lourinhã	5565	13346	76164	2,4	5,7	13,7
Mafra	8679	13101	116893	1,5	8,9	13,5
Moita	2728	8807	151156	3,2	17,2	55,4
Montijo	16590	13302	174170	0,8	13,1	10,5
Nazaré	876	901	13009	1,0	14,4	14,9
Óbidos	3305	1163	3849	0,4	3,3	1,2
Odivelas	140	106	1102	0,8	10,4	7,9
Oeiras	179	31	341	0,2	11,1	1,9
Ourém	3912	19573	60950	5,0	3,1	15,6
Palmela	26250	10337	125201	0,4	12,1	4,8
Peniche	2714	699	7175	0,3	10,3	2,6
Rio Maior	5428	27865	204532	5,1	7,3	37,7
Salvaterra de Magos	10288	6904	88417	0,7	12,8	8,6
Santarém	27716	68817	758299	2,5	11,0	27,4
Sardoal	837	409	4610	0,5	11,3	5,5
Seixal	431	158	1608	0,4	10,2	3,7
Sesimbra	3113	509	5048	0,2	9,9	1,6
Setúbal	3940	950	9557	0,2	10,1	2,4

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Sintra	5466	6026	48721	1,1	8,1	8,9
Sobral de Monte Agraço	2452	2910	33299	1,2	11,4	13,6
Tomar	6013	10066	43867	1,7	4,4	7,3
Torres Novas	9717	4730	49567	0,5	10,5	5,1
Torres Vedras	15279	107397	312744	7,0	2,9	20,5
Vila Franca de Xira	13760	1552	23345	0,1	15,0	1,7
Vila Nova da Barquinha	263	485	1764	1,8	3,6	6,7

Quadro 11 – Alentejo

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Alentejo	2144066	292405	3348586	0,1	11,5	1,6
Alandroal	46822	6407	70177	0,1	11,0	1,5
Alcácer do Sal	114261	8401	92309	0,1	11,0	0,8
Aljustrel	36336	4825	62606	0,1	13,0	1,7
Almodôvar	48214	7289	75463	0,2	10,4	1,6
Alter do Chão	30263	7655	90544	0,3	11,8	3,0
Alvito	20158	13004	157176	0,6	12,1	7,8
Arraiolos	62869	10487	132689	0,2	12,7	2,1
Arronches	26112	2239	22733	0,1	10,2	0,9
Avis	47908	4885	52115	0,1	10,7	1,1
Barrancos	14010	1279	13689	0,1	10,7	1,0
Beja	110754	8486	95055	0,1	11,2	0,9
Borba	8997	1377	14164	0,2	10,3	1,6
Campo Maior	20872	2202	30281	0,1	13,8	1,5
Castelo de Vide	17796	1341	14185	0,1	10,6	0,8
Castro Verde	51420	4693	47346	0,1	10,1	0,9
Crato	27447	2168	22161	0,1	10,2	0,8
Cuba	14030	2356	27835	0,2	11,8	2,0
Elvas	54318	6044	77366	0,1	12,8	1,4
Estremoz	42412	6725	70457	0,2	10,5	1,7
Évora	114752	10173	117109	0,1	11,5	1,0
Ferreira do Alentejo	61985	7041	85749	0,1	12,2	1,4
Fronteira	23232	3427	37736	0,1	11,0	1,6
Gavião	13690	699	6998	0,1	10,0	0,5
Grândola	46602	16186	182534	0,3	11,3	3,9
Marvão	8704	1303	13131	0,1	10,1	1,5
Mértola	104175	13205	135909	0,1	10,3	1,3
Monforte	40772	3281	33976	0,1	10,4	0,8
Montemor-o-Novo	109532	18827	243599	0,2	12,9	2,2
Mora	68445	2481	25065	0,0	10,1	0,4
Moura	72285	5117	53735	0,1	10,5	0,7
Mourão	22728	4740	70530	0,2	14,9	3,1

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Nisa	28983	5699	47745	0,2	8,4	1,6
Odemira	78649	9542	112997	0,1	11,8	1,4
Ourique	49029	10469	109568	0,2	10,5	2,2
Ponte de Sor	82584	8792	90707	0,1	10,3	1,1
Portalegre	29256	4629	46605	0,2	10,1	1,6
Portel	46234	8764	107046	0,2	12,2	2,3
Redondo	34447	6630	98303	0,2	14,8	2,9
Reguengos de Monsaraz	32165	4453	45497	0,1	10,2	1,4
Santiago do Cacém	72619	15331	183846	0,2	12,0	2,5
Serpa	92300	10543	107547	0,1	10,2	1,2
Sines	6029	670	6823	0,1	10,2	1,1
Sousel	21335	4762	57337	0,2	12,0	2,7
Vendas Novas	16287	2808	18070	0,2	6,4	1,1
Viana do Alentejo	31683	5045	64803	0,2	12,8	2,0
Vidigueira	23811	3435	44216	0,1	12,9	1,9
Vila Viçosa	16754	2417	31824	0,1	13,2	1,9

Quadro 12 – Algarve

Município	Superfície agrícola utilizada - SAU (ha)	Cabeça normal (CN)	Efluente (m ³)	CN / SAU	Efluente /CN	Efluente / SAU
Algarve	100605	13247	143890	0,1	10,9	1,4
Albufeira	3752	872	9043	0,2	10,4	2,4
Alcoutim	14614	1904	19318	0,1	10,1	1,3
Aljezur	4608	329	3766	0,1	11,4	0,8
Castro Marim	6616	855	8637	0,1	10,1	1,3
Faro	5086	581	6312	0,1	10,9	1,2
Lagoa	1093	289	3185	0,3	11,0	2,9
Lagos	5228	885	10131	0,2	11,4	1,9
Loulé	17559	1704	17784	0,1	10,4	1,0
Monchique	2365	893	11801	0,4	13,2	5,0
Olhão	2459	350	3946	0,1	11,3	1,6
Portimão	3023	393	4432	0,1	11,3	1,5
São Brás de Alportel	2483	99	1027	0,0	10,3	0,4
Silves	14064	2492	27974	0,2	11,2	2,0
Tavira	10094	614	6450	0,1	10,5	0,6
Vila do Bispo	5698	842	8602	0,1	10,2	1,5
Vila Real de Santo António	1862	140	1451	0,1	10,3	0,8

Pela leitura destes quadros constata-se a heterogeneidade existente entre municípios da mesma região administrativa nos indicadores em estudo. Verifica-se que o valor mais elevado para o indicador Efluentes/CN ($17,4\text{m}^3/\text{CN}$) se regista no município de Vila do Conde (região administrativa de Entre Douro e Minho) enquanto um dos valores mais baixos ($2,8\text{m}^3/\text{CN}$) também se regista num município (Amares) da mesma região administrativa

Quanto ao indicador Efluentes/SAU este regista o seu valor mais elevado ($147,7\text{m}^3/\text{SAU}$) também no município de Vila do Conde, sendo do menor valor ($0,2\text{m}^3/\text{SAU}$) registado no município de Peso da Régua da região administrativa de Trás-Os-Montes.

2.3.2. Por espécie pecuária e sistema de manejo

De acordo com o Quadro 13 as espécies pecuárias que mais efluentes geram no nosso país é a espécie bovina, seguida dos suínos e ovinos. Os bovinos registam os maiores volumes de produção quer de estrume quer de chorume. No entanto, os suínos produzem quantidades de chorume próximas das produzidas pelos bovinos, enquanto os ovinos praticamente só produzem estrume.

Quadro 13 – Produção de efluente por espécie animal

Espécie	Efluente (estrupe e chorume)		Estrume		Chorume ^(a)	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Aves	473875	661266	392507	490393	81368	170873
Bovinos	449004	6954062	250599	3394329	198406	3559733
Suíños	281757	3610098	11963	105090	269795	3505008
Caprinos	63630	636302	63630	636302	-	-
Ovinos	310646	3106465	310646	3106465	-	-
Equídeos	34326	411912	34326	411912	-	-
Total	1613238	15380105	1063671	8144491	549569	7235614

^{a)}Para aves considerou-se a produção de excrementos; para ovinos, caprinos e equídeos não se considerou produção de chorume

Pela leitura dos Quadros 14 a 23 pode-se constatar que a produção de efluentes pelas aves é mais importante nas regiões administrativas do Ribatejo Oeste e da Beira Litoral, enquanto os bovinos, particularmente os bovinos de leite assumem maior importância na região de Entre Douro e Minho. Os ovinos e caprinos e outros herbívoros são responsáveis pelo maior volume de efluentes produzidos na região do Alentejo, enquanto os suínos assumem grande importância na região Ribatejo e Oeste. A produção de efluentes provenientes das diversas espécies pecuárias apresenta valores muito reduzidos na região do Algarve.

Efetuada-se uma leitura mais cuidadosa dos quadros é também possível analisar a produção dos dois tipos de efluentes pecuários (chorume e

estrupe) em cada região administrativa de acordo com o sistema de manejo praticado.

Quadro 14 – Produção de efluente das aves em geral

Aves						
Região	Efluente (excremento + estrume)		Excremento		Estrume	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	17885	26313	4404	9249	13480	17064
Trás-os-Montes	6819	8692	4	9	6815	8683
Beira Litoral	204064	282741	28846	60576	175218	222165
Beira Interior	16151	27400	8672	18211	7479	9189
Ribatejo e Oeste	225827	311884	39056	82018	186770	229866
Alentejo	3114	4216	385	809	2729	3407
Algarve	16	19	-	-	16	19

*Considerou-se para produção de excremento os animais alojados em jaulas

Quadro 15 – Produção de efluente dos frangos de carne

Frangos de carne						
Região	Efluente (excremento + estrume)		Excremento		Estrume	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	8876	11538	-	-	8876	11538
Trás-os- Montes	5051	6567	-	-	5051	6567
Beira Litoral	119031	154740	-	-	119031	154740
Beira Interior	2143	2786	-	-	2143	2786
Ribatejo e Oeste	57414	74638	-	-	57414	74638
Alentejo	1324	1721	-	-	1324	1721
Algarve	2	2	-	-	2	2

Quadro 16 – Produção de efluente das galinhas poedeiras e reprodutoras

Galinhas poedeiras e reprodutoras						
Região	Efluente (excremento + estrupe)		Excremento		Estrupe	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	8421	14069	4404	9249	4016	4820
Trás-os- Montes	670	808	4	9	665	798
Beira Litoral	69796	109717	28846	60576	40950	49140
Beira Interior	13465	23962	8672	18211	4793	5752
Ribatejo e Oeste	89831	142947	39056	82018	50774	60929
Alentejo	410	838	385	809	24	29
Algarve	11	13	0	0	11	13

*Considerou-se para excremento os animais alojados em jaulas

Quadro 17 – Produção de efluente dos perús e patos

Perús e patos						
Região	Efluente (excremento + estrume)		Excremento		Estrume	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	588	706	-	-	588	706
Trás-os- Montes	1098	1318	-	-	1098	1318
Beira Litoral	15237	18285	-	-	15237	18285
Beira Interior	543	651	-	-	543	651
Ribatejo e Oeste	78582	94299	-	-	78582	94299
Alentejo	1381	1657	-	-	1381	1657
Algarve	3	4	-	-	3	4

Quadro 18 – Produção de efluente dos bovinos em geral

Bovinos						
Região	Efluente (estrupe + chorume)		Estrume		Chorume	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	214401	3515229	76583	1036879	137818	2478350
Trás-os-Montes	34968	448316	31398	385566	3571	62750
Beira Litoral	51688	807418	35915	517682	15773	289736
Beira Interior	8488	126810	6586	90987	1902	35823
Ribatejo e Oeste	76631	1124336	58029	791939	18601	332397
Alentejo	60791	908301	40105	548366	20685	359935
Algarve	2037	23653	1982	22911	55	742

Quadro 19 – Produção de efluente dos bovinos de leite

Bovinos de leite						
Região	Efluente (estrupe + chorume)		Estrupe		Chorume	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	112343	2246307	22152	410922	90191	1835384
Trás-os-Montes	5598	107656	3474	64449	2123	43207
Beira Litoral	26057	503532	14845	275381	11211	228151
Beira Interior	3644	70255	2162	40107	1481	30148
Ribatejo e Oeste	29540	569321	17674	327861	11865	241460
Alentejo	24141	469017	12363	229325	11778	239692
Algarve	16	302	16	302	0	0

Quadro 20 – Produção de efluente de outros bovinos

Outros bovinos						
Região	Efluente (estrupe + chorume)		Estrupe		Chorume	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	102058	1268922	54431	625956	47627	642966
Trás-os-Montes	29371	340660	27923	321117	1448	19543
Beira Litoral	25631	303885	21070	242300	4562	61585
Beira Interior	4845	56555	4424	50880	420	5676
Ribatejo e Oeste	47091	555015	40355	464078	6736	90937
Alentejo	36650	439284	27743	319041	8907	120243
Algarve	2021	23351	1966	22609	55	742

Quadro 21 – Produção de efluente de suínos

Suínos						
Região	Efluente (estrupe + chorume)		Estrupe		Chorume	
	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Volume (m ³)
Entre Douro e Minho	6359	77300	1492	13037	4867	64263
Trás-os-Montes	3963	44890	2170	19450	1794	25440
Beira Litoral	66925	886138	3901	34443	63024	851695
Beira Interior	4185	51133	480	4115	3705	47018
Ribatejo e Oeste	149709	1900590	2548	21949	147161	1878640
Alentejo	48943	627753	931	8044	48012	619710
Algarve	1673	22294	441	4053	1232	18242

Quadro 22 – Produção de efluente de caprinos e ovinos

Região	Caprinos*		Ovinos*	
	Cabeça normal (CN)	Produção de estrume (m ³)	Cabeça normal (CN)	Produção de estrume (m ³)
Entre Douro e Minho	7857	78568	11954	119544
Trás-os-Montes	8845	88448	34508	345081
Beira Litoral	9584	95841	17702	177019
Beira Interior	10537	105372	56122	561219
Ribatejo e Oeste	8956	89561	26855	268545
Alentejo	15338	153378	157853	1578529
Algarve	2514	25135	5653	56528

*Não foram diferenciados sistemas de produção.

Quadro 23 – Produção de efluente de equídeos

Equídeos*		
Região	Cabeça normal (CN)	Produção de estrume (m ³)
Entre Douro e Minho	6502	78019
Trás-os-Montes	6115	73378
Beira Litoral	2636	31627
Beira Interior	3105	37265
Ribatejo e Oeste	8246	98954
Alentejo	6367	76409
Algarve	1355	16260

*Considerados também outros herbívoros tais como os Asininos; não foram diferenciados sistemas de produção.

2.3.3. Mapeamento da produção de efluentes em Portugal

Nas Figuras 13, 14 e 15 estão representados geograficamente, para Portugal continental, à escala do município, a produção total de efluentes pecuários e os indicadores de Efluente/cabeça normal e Efluente/superfície agrícola utilizada. Por meio do mapeamento é possível identificar as zonas do território nacional onde se concentra a maior / menor produção total de efluentes, bem como os municípios onde se verificam os maiores e menores valores dos indicadores Efluentes/CN e Efluentes/SAU.

A Figura 13 mostra a existência de uma grande dispersão geográfica ao nível da produção de efluentes, sendo possível identificar municípios que produzem elevadas quantidades de efluentes quer no litoral quer no interior do território continental, á exceção da região do Algarve.

A Figura 14 também evidencia uma grande dispersão territorial em relação ao indicador volume de efluentes produzidos por número de animais, neste caso cabeças normais presentes em cada concelho, notando-se, no entanto, uma tendência para que este indicador seja superior nalguns concelhos da região de Entre Douro e Minho, embora alguns concelhos localizados noutras regiões, nomeadamente em Trás-os-Montes, no Ribatejo Oeste e no Alentejo, também apresentem valores elevados.

A Figura 15 mostra que as zonas litorais localizadas a norte do rio Tejo apresentam maiores valores para o indicador Efluentes/SAU, enquanto que as zonas interiores de norte a sul do território continental apresentam valores relativamente baixos para este indicador.

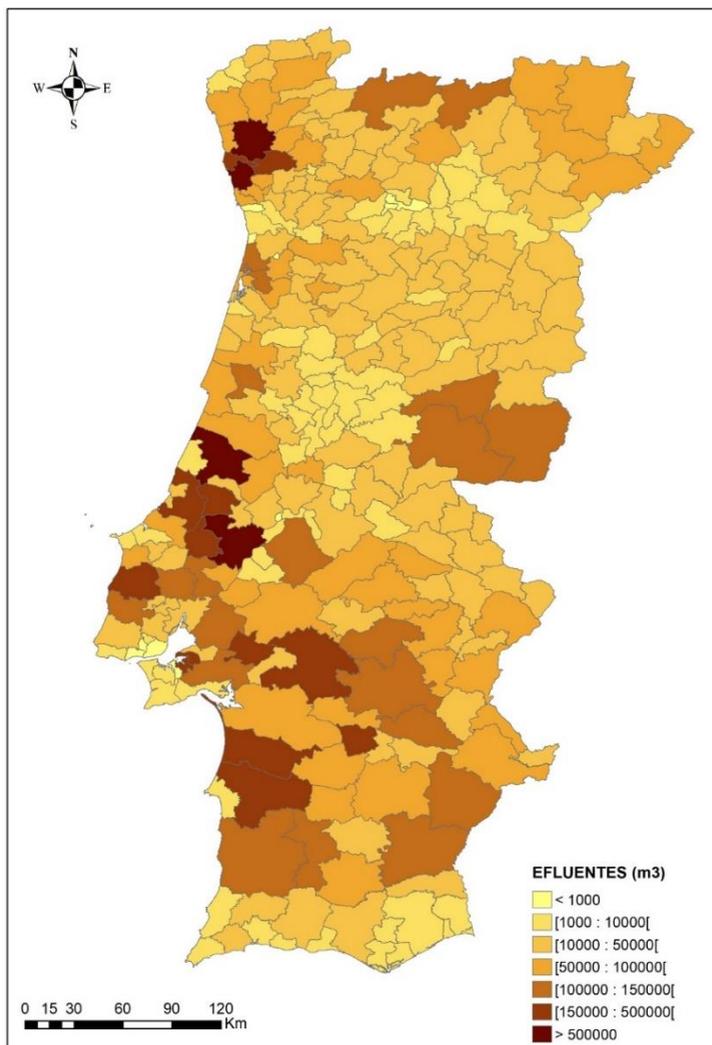


Figura 13. Volume total de efluente pecuário produzido em cada município de Portugal

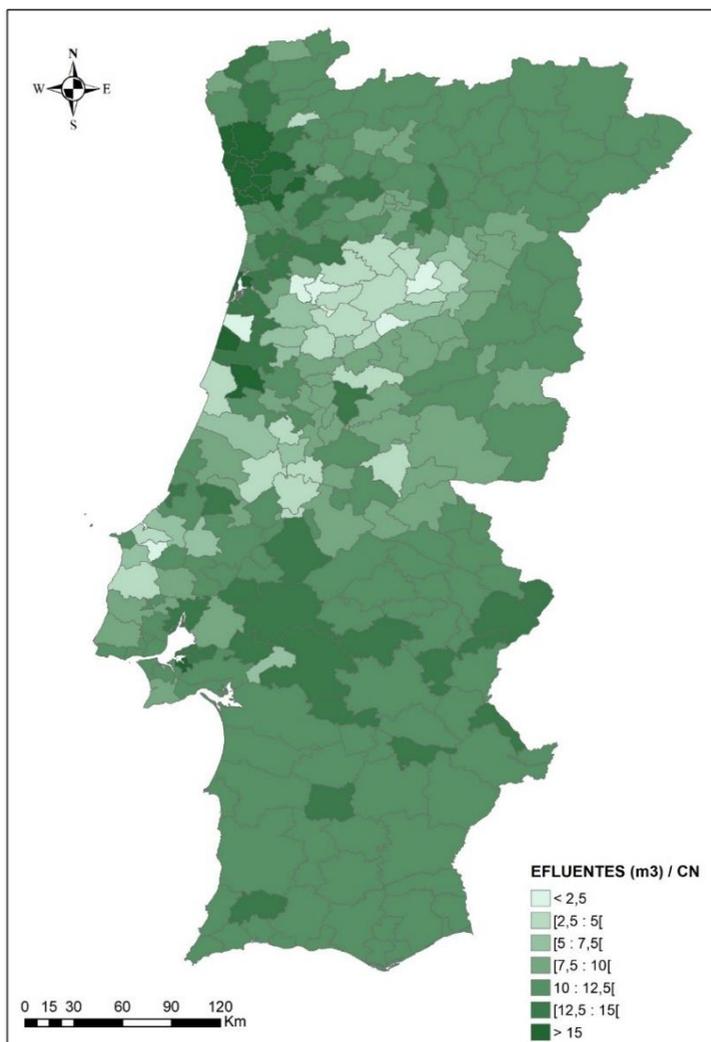


Figura 14. Volume de efluente pecuário produzido por cabeça normal em Portugal

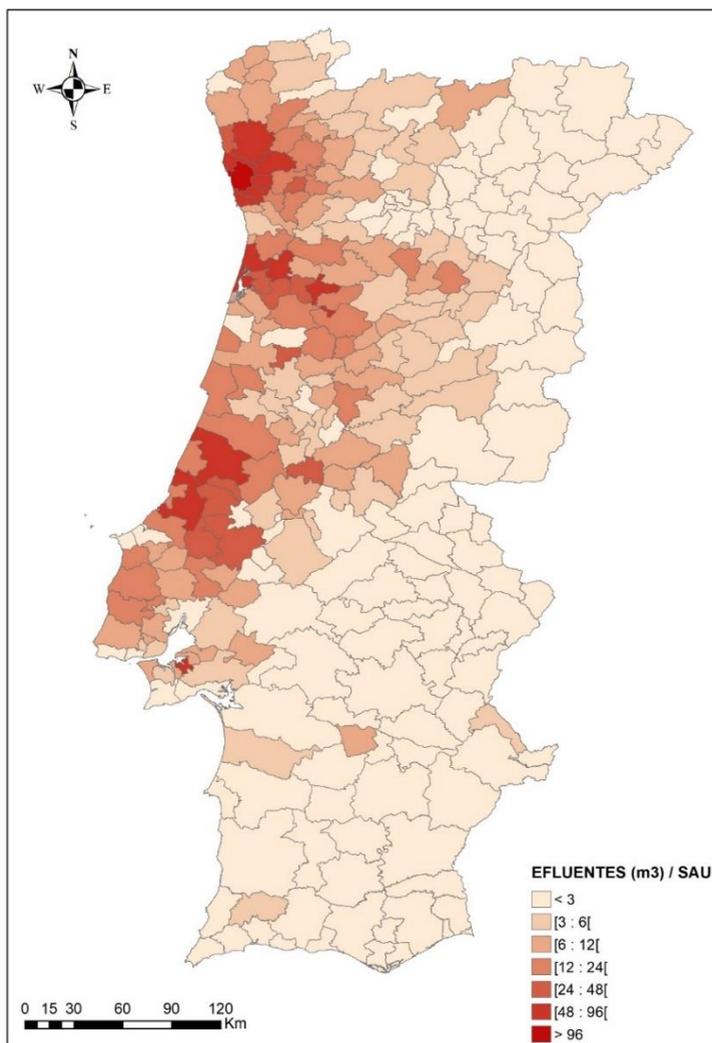


Figura 15. Volume de efluente pecuário produzido por superfície agrícola utilizada em Portugal

2.3.4. Avanço de alguns dados quantitativos

No âmbito deste grupo operacional realizaram-se recolhas de amostras de efluentes pecuárias (chorume e estrume), em vacarias de leite e de carne, pavilhões de suinicultura, instalações de ovinos e caprinos, e em pavilhões de avicultura, localizados nas regiões do Alentejo e Ribatejo Oeste. As amostras foram recolhidas de acordo com os procedimentos adequados em função do material e da análise a ser efetuada.

Estas amostras foram posteriormente analisadas em laboratórios creditados para o efeito, com vista à determinação da sua composição analítica. Os resultados destas análises encontram-se resumidos nos Quadros 24 (estrume) e 25 (chorume).

Quadro 24 – Resultados de análises em amostras de estrume

Exploração	Local da amostragem	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)	Mg (solúvel) (ppm)	Ca (solúvel) (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Boro (ppm)
Bovinos de carne	Pilha de estrume	8,5	8,0	59,7	1,9	4565	11168	240	17520	905	9,0	162,5	10	24,4
Bovinos de carne	Parque dos animais	8,5	8,1	54,5	2,0	2767	7344	45760	12160	247	7,5	101,5	110	25,5
Aves	Pavilhão galinhas reprodutoras	8,5	7,9	70,3	2,2	17016	27776	34880	88640	645	40,0	995,0	495	32,7
Aves	Pavilhão frangas de recría	7,8	7,0	93,7	2,7	12389	18144	22080	17680	250	23,5	520,0	115	21,7
Aves	Pavilhão frangos de carne	7,6	7,0	91,8	4,1	9387	16288	35200	4928	185	36,0	179,5	150	31,1
Aves	Pavilhão frangos de carne	7,3	6,8	93,2	4,4	9997	18720	34560	6496	212	29,0	235,0	10	27,0
Ovinos	Parque dos animais	8,1	7,7	88,6	1,8	14507	9568	42880	13280	150	7,0	360,0	115	17,8
Equinos	Parque dos animais	8,0	7,6	98,9	1,4	4349	3044	28800	9184	750	1,0	113,0	12	23,1
Suínos	Saída separador	7,2	6,9	84,9	1,6	945	8080	2640	5620	196	13,0	121,5	51,5	43,6
Suínos	Pilha estrume pós - separador	7,3	6,8	93,5	2,5	1748	9200	4160	22720	550	50,0	235,0	280	36,8
Bovinos	Parque vacas em gestação	8,9	8,6	93,4	2,7	695	30800	7040	14040	276	5,0	93,0	32,5	24,6
Caprinos	Pilha de estrume	9,2	8,6	59,3	2,0	6383	32840	4480	14400	108	2,0	129,0	42	37,5
Caprinos	Parque dos animais	9,4	8,5	52,6	2,5	6840	32600	4960	17920	140	3,5	151,0	54,5	32,2

Quadro 25 – Composição analisada de amostras de chorume

Exploração	Local da amostragem	Amónio (mg/l NH ₄)	Azoto Total (mg/l N)	Fósforo Total (mg/l P ₂ O ₅)	Matéria Orgânica (mg/l)	Potássio (mg/l K)	Carência Bioquímica de Oxigênio (mg/l O ₂)	Carência Química de Oxigênio (mg/l O ₂)	pH	Sólidos Totais (mg/l)
Bovinos de carne	Fossa	438,6	397,6	2973,1	2520	1685,8	3400	6888	7,2	5024
Suíños	Fossa - primeira fase	1973,70	1783,8	3448,6	14200	1038,8	9200	12848	10,3	15596
Bovinos de leite	Fossa	619,20	849,6	2466,1	3650	897,4	3000	32472	7,1	3876
Suíños	Fossa - ciclo completo	2573,55	2177,5	4637,8	5400	1822	19600	66912	7,1	15060
Bovinos de leite	Lagoa - pós separador	1883,4	1656	3492,1	11900	1837,6	7600	18696	7,5	13580
Bovinos de leite	Lagoa	1573,8	1722	2392,2	15200	721,3	10000	85608	7,7	20460
Suíños	Lagoa	1341,6	1580	3588,3	13100	1040,2	28000	76752	7,4	49788
Suíños	Fossa - segunda fase	412,8	335,2	4133,7	4150	1138,3	14800	33456	6,4	14616
Suíños	Fossa - primeira fase	1315,8	1340,8	4468,2	5250	1599,1	14400	62976	7,2	15360
Suíños	Fossa – ciclo completo	1419	1300	5256,5	13800	1788,8	26000	51168	6,8	18420
Suíños	Lagoa - pós separador	1625,4	1401,6	1480,2	4650	2029,1	10400	21648	7,7	11968
Bovinos de leite	Fossa	4128	3465	10403	65500	6300,1	44000	240096	6,7	89710

Estes resultados, muito preliminares, quando comparados com os valores constantes no anexos VI e VII do Despacho 1230/2018 (Código de Boas Práticas Agrícolas) indiciam a necessidade de recolha de mais amostras e respetiva análise de modo a que os valores constantes dos citados anexos sejam atualizados tendo em conta a realidade dos sistemas produção animal atualmente praticados no nosso país.

2.3.5. Referências

Decreto Lei nº 81/2013 de 14 de Junho. Diário de República nº 113/2012 - I Série. Lisboa: Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território

Despacho nº 1230/2018 de 05 de Fevereiro. *Diário da República nº 25/2018 – II Série*. Ambiente e Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural - Gabinetes dos Secretários de Estado do Ambiente e das Florestas e do Desenvolvimento Rural. Lisboa.

INE. (2022). *Base de dados*. Lisboa, Portugal: INE, Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_base_dados&contexto=bd&selTab=tab2

Portaria nº 79/2022 de 03 de Fevereiro. *Diário da República nº 24/2022 – I Série*. Ambiente e Ação Climática e Agricultura. Lisboa.

Portaria nº 259/2012 de 28 de Agosto. *Diário da República nº 166/2012 – I Série*. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.

2.4. SIG – Georreferenciação: efluentes pecuários e o geoportal do GoEfluentes – Terras e Efluentes

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são um conjunto de ferramentas computorizadas (hardware e software) que permitem a recolha, armazenamento, pesquisa, transformação e apresentação de dados e informação referenciada espacialmente.

Não sendo tecnologias recentes, são tecnologias em permanente evolução e atualização. Ao georreferenciar objetos e associá-los a um vasto conjunto de informação sob a forma de base de dados geográfica, estas tecnologias permitem um vasto conjunto de operações com esses dados. O SIG da Terras e Efluentes, abrangendo estes conceitos, vai mais além, no sentido de que com a integração das componentes Internet e Geoportal, abre uma nova linha de perspectivas para os intervenientes (produtores pecuários e agricultores), que utilizam a informação geoespacial disponibilizada, que pelos meios tradicionais não seria possível.

Um dos principais desenvolvimentos ao nível de ferramentas SIG, atualmente, tem sido a disponibilização de dados e informação geográfica (IG) via Internet. Disponibilizando aos utilizadores o acesso a grandes quantidades de informação, de forma simples. Os SIGWeb permitem, assim, combinar duas poderosas tecnologias: os SIG, analisando e integrando informação geográfica e a Internet, fornecendo conectividade a um nível global. O resultado desta sinergia resulta numa maior facilidade em encontrar e disponibilizar dados e, em partilhar ferramentas analíticas.

Após este enquadramento, expõe-se de seguida a relevância dos SIG na gestão da informação geoespacial da valorização agrícola dos efluentes pecuários, que assenta em três grandes variáveis:

- Ordenamento e condicionantes do território;

- Características dos parcelários, designadamente limites de propriedade, áreas úteis e ocupações culturais;
- Distâncias entre fontes produtoras de nutrientes e parcelários recetores de nutrientes.

Em matéria de valorização agrícola dos efluentes pecuários (EP), existem condicionantes ao nível do ordenamento do território que têm que de ser asseguradas na seleção das áreas úteis disponíveis, no sentido de garantir o cumprimento de determinados objetivos ambientais. Destacam-se as tipologias da Reserva Ecológica Nacional e do Domínio Hídrico.

Conforme indicado na Portaria n.º 79/2022 de 3 de fevereiro, a valorização agrícola de EP deve ter por base o Documento P3 do Sistema de Identificação do Parcelar (iSIP) correspondente ao parcelário. Neste documento são identificados, entre outros, os limites da parcela, as ocupações culturais e respetivas áreas.

Para além disso, ainda a montante, na fase de elaboração do Plano de Gestão dos Efluentes Pecuários (PGEP), conhecer atempadamente as áreas disponíveis dentro de um raio definido como a distância máxima economicamente viável para o transporte do EP, é uma variável facilitadora da exequibilidade do PGEP. Quando o produtor pecuário é detentor de áreas culturais suficientes para a valorização agrícola dos EP que produz, a gestão da valorização agrícola dos EP é realizada sem contratempos. Contudo, na realidade do nosso País, no geral, o produtor pecuário não possui áreas suficientes para a valorização agrícola do EP, necessitando de contratar externamente áreas agrícolas caso pretenda que o EP seja encaminhado para valorização agrícola. E, é para este público alvo que o geoportal do grupo operacional GOEfluentes – Terras e Efluentes foi desenhado. Tendo como objetivo influenciar a oportunidade de juntar a procura de nutrientes com a oferta de nutrientes (Figura 16).

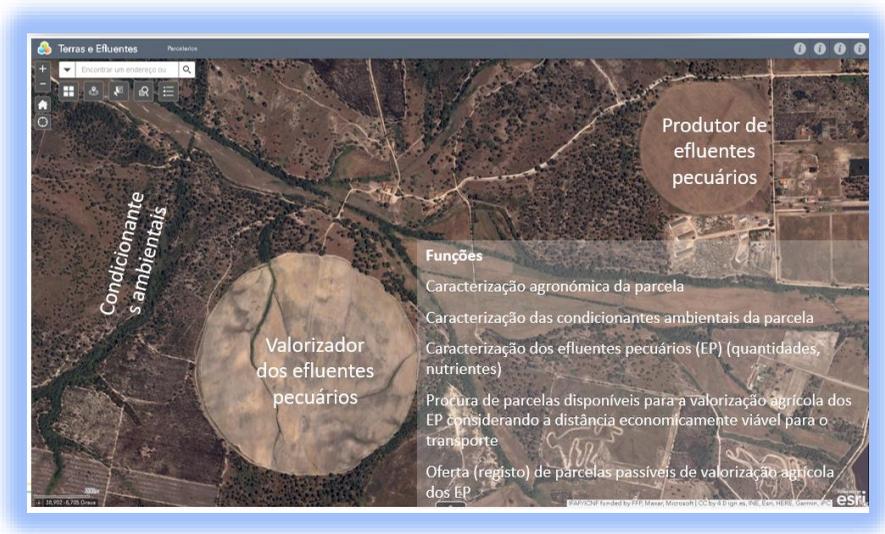


Figura 16. Plataforma Terras e Efluentes

3. LEGISLAÇÃO SOBRE EFLUENTES PECUÁRIOS

Maria Antónia Figueiredo e Maria João Figueiredo

TTerra – Engenharia e Ambiente Lda

Pretende-se neste capítulo proceder a uma análise não exaustiva, dos principais referenciais legais a atender na gestão dos efluentes pecuários de exploração de bovinos, suínos e aves.

3.1. Legislação Portuguesa

3.1.1. Regime do exercício da atividade pecuária

O **Decreto-Lei n.º 81/2013 de 14 de junho** aprova o regime do exercício da atividade pecuária (NREAP), nas explorações pecuárias, entrepostos e centros de agrupamento.

A instalação, a alteração e o exercício de uma atividade pecuária ficam sujeitos aos procedimentos e condições previstos neste diploma. O NREAP aplica-se também às atividades complementares de gestão de efluentes pecuários anexas a explorações pecuárias ou unidades autónomas, quando se tratar de unidades de compostagem, de unidades técnicas ou de unidades de produção de biogás, bem como das explorações agrícolas que sejam valorizadoras de efluentes pecuários.

É estabelecido no Decreto-Lei n.º 81/2013 que, tendo em vista o cumprimento das normas de gestão dos efluentes pecuários, as atividades pecuárias devem obrigatoriamente apresentar o Plano de Gestão de Efluentes Pecuários (PGEP), nos termos da Portaria n.º 79/2022 de 3 de fevereiro.

3.1.2. Gestão dos efluentes das atividades pecuárias

A gestão dos efluentes das atividades pecuárias está legislada com um diploma próprio, a Portaria n.º 79/2022, de 3 de fevereiro (revogou a Portaria n.º 631/2009, de 9 de junho), complementarmente, as respetivas portarias relativas à atividade de detenção e produção pecuária das

diferentes espécies animais, também estabelecem normas no âmbito desta matéria.

A Portaria n.º 79/2020, de 3 de fevereiro, estabelece as normas regulamentares a que obedece a gestão dos efluentes pecuários e as normas técnicas a observar no âmbito do licenciamento das atividades complementares de gestão de efluentes pecuários anexas a explorações pecuárias ou agropecuárias, ou autónomas.

Esta portaria assenta nos seguintes pressupostos na gestão dos efluentes pecuários: uso eficiente da água e reutilização..

No Artigo 5.º deste diploma são apresentados as condicionantes para o armazenamento de efluentes pecuários.

A **Portaria n.º 79/2022** dá prioridade à valorização agrícola, regulamentando este e os outros destinos dos efluentes pecuários (valorização orgânica, valorização orgânica e energética, valorização energética, tratamento em ETAR, e eliminação). Os requisitos e interdições para a valorização agrícola dos efluentes pecuários são estabelecidos nos artigos 12º, 13º e 14º.

O anexo III estabelece as determinações analíticas a efetuar aos efluentes pecuários, aos fertilizantes orgânicos produzidos com estes e aos solos a beneficiar, bem como a periodicidade das amostragens, sendo ainda identificados os métodos de referência para as determinações analíticas.

A **Portaria n.º 42/2015**, de 19 de fevereiro, estabelece as normas regulamentares aplicáveis à atividade de detenção e produção pecuária, ou atividades complementares, de bovinos, ovinos, caprinos e cervídeos.

Na alínea d) do Artigo 6.º é estabelecido que sempre que o sistema de produção o justifique, as instalações devem estar dotadas de sistema de recolha e drenagem dos efluentes pecuários constituídos por coletores

fechados, para reservatórios ou sistemas adequados de gestão de efluentes, nos termos da Portaria n.º 631/2009.

A **Portaria n.º 636/2009**, de 9 de junho, estabelece as normas regulamentares aplicáveis à atividade de detenção e produção pecuária ou atividades complementares de animais da espécie suína.

O n.º 8 do Artigo 5.º estabelece que as instalações abrangidas por esta portaria devem possuir infraestruturas e equipamentos que permitam implementar o plano de gestão de efluentes pecuários, que é proposto nos termos da Portaria n.º 631/2009.

O n.º 4 do Artigo 6.º define que as instalações de alojamento devem estar dotadas de sistema de recolha e drenagem dos efluentes pecuários constituídos por coletores fechados, para reservatórios ou sistemas adequados de gestão de efluentes, situados fora da barreira sanitária.

Relativamente às condições de funcionamento (Artigo 8º) as explorações deverão promover um programa de controlo ambiental, de forma a assegurar o registo da produção de efluentes quer também, dispor de procedimentos de atuação em caso de emergência ou incidente no âmbito da gestão dos efluentes pecuários.

As normas aplicáveis à atividade de detenção e produção pecuária ou atividades complementares de animais de espécies avícolas encontram-se regulamentadas pela **Portaria n.º 637/2009**, de 9 de junho. Também neste diploma a gestão dos efluentes pecuários é reportada para a Portaria n.º 631/2009 (n.º 10 do Artigo 5.º).

Nos requisitos das instalações de alojamento, que são enunciados no Artigo 6.º há também referências ao sistema de recolha e drenagem dos efluentes pecuários.

A **Portaria n.º 637/2009**, de 9 de junho, estabelece as normas regulamentares aplicáveis à atividade de detenção e produção pecuária ou atividades complementares de animais de espécies avícolas nas explorações e nos núcleos de produção de aves (NPA), bem como nos entrepostos e nos centros de agrupamento para aves.

No Artigo 6.º duas referências à gestão dos efluentes pecuários, designadamente no n.º 5 relativo à recolha e drenagem dos efluentes pecuários e, no n.º 8 referente ao sistema de armazenagem de efluentes pecuários.

A **Portaria n.º 259/2012**, de 28 de agosto, estabelece o programa de ação para as zonas vulneráveis. Este diploma tem como objetivos reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola e impedir a propagação desta poluição nas zonas vulneráveis. As explorações pecuárias localizadas nas zonas vulneráveis a nitratos são abrangidas pelas normas de gestão dos efluentes pecuários definidas neste diploma. O Artigo 10.º é dedicado à gestão dos efluentes pecuários.

O **Despacho n.º 1230/2018**, de 5 de fevereiro, aprova e publica o Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA). Este documento orientador de boas práticas tem como objetivo assegurar um nível geral de proteção de todas as águas contra a poluição causada ou induzida por nitratos de origem agrícola. Aqui constam orientações e diretrizes de apoio aos agricultores *na tomada de medidas que visem racionalizar a prática das fertilizações e de todo um conjunto de operações e de técnicas culturais que (...) interferem na dinâmica do azoto e do fósforo nos ecossistemas agrários*. O capítulo 14 do CBPA é dedicado ao armazenamento e manuseamento de efluentes pecuários. Referir ainda, os valores indicados no Anexo VII para cálculo das águas de lavagem para as diferentes espécies animais.

No próximo quadro são apresentados os principais requisitos definidos pelas Portaria n.º 631/2009, de 9 de junho e n.º 259/2012, de 28 de agosto, e as orientações estabelecidas pelo CBPA, no âmbito da gestão dos efluentes pecuários.

Quadro 26 – Principais requisitos e orientações na gestão dos efluentes pecuários

Requisitos	Portaria n.º 79/2022, de 3 de fevereiro	Portaria n.º 259/2012, de 28 de agosto	CBPA
capacidade mínima de armazenamento dos efluentes pecuários	equivalente à produção de 90 dias	equivalente à produção de 120 dias	equivalente à produção de 120 dias podendo ser alargado a 150 dias
período de armazenamento dos efluentes pecuários	não pode exceder um período superior a 12 meses	não pode exceder um período superior a 12 meses	-
infraestruturas de armazenamento de efluentes pecuários	a impermeabilização poderá ser natural ou artificial	obrigatória a sua impermeabilização	assegurar a impermeabilidade
armazenamento do chorume	cada tanque ou fossa de armazenamento de efluentes pecuários não deve exceder os 5000 m ³		-
armazenamento do estrume	nas nitreiras o estrume não deve exceder os 3 m de altura		recintos apropriados, protegidos das águas das chuvas, com pavimento impermeável, em pilhas ou medas que não devem exceder os 3 m de altura periodicamente as pilhas deverão ser revolvidas
	<p>é permitida a deposição temporária de estrumes no solo agrícola, em medas ou em pilhas, com vista à sua posterior distribuição e incorporação no solo, para valorização agrícola, desde que a referida deposição cumpra, cumulativamente, as seguintes condições:</p> <p>a) O local de deposição do estrume esteja localizado a uma distância mínima de 15 m contados da linha limite do leito dos cursos de água e de 25 m contados dos locais onde existem captações de águas subterrâneas;</p> <p>b) A deposição temporária do estrume no solo não exceda um período superior a 30 dias;</p> <p>c) Seja assegurada a proteção das águas superficiais e das águas subterrâneas face a eventuais escorrências ou arrastamentos</p>	<p>é permitida a deposição temporária de estrumes no solo agrícola, em medas ou em pilhas, com vista à sua posterior distribuição e incorporação no solo, para valorização agrícola, desde que a referida deposição cumpra, cumulativamente, as seguintes condições:</p> <p>a) O local de deposição do estrume esteja localizado a uma distância mínima de 15 m contados da linha limite do leito dos cursos de água e de 25 m contados dos locais onde existem captações de águas subterrâneas;</p> <p>b) A deposição temporária do estrume no solo não exceda um período superior a 48 horas ou, se o solo for impermeabilizado e a meda protegida superficialmente, a 30 dias;</p> <p>c) Seja assegurada a proteção das águas superficiais e das águas subterrâneas face a eventuais escorrências ou arrastamentos, nos casos em que ocorra pluviosidade</p>	<p>poderão ser empilhados temporariamente no solo, sem que haja distribuição e incorporação, em locais com declive reduzido e que não estejam sujeitos a inundações, desde que seja assegurada a proteção das águas superficiais e das águas subterrâneas, face a eventuais escorrências ou arrastamentos, nos casos em que ocorra pluviosidade. Esta deposição temporária não deverá exceder as 48 horas ou, se o solo for impermeabilizado e a meda protegida superficialmente, os 30 dias</p>

Requisitos	Portaria n.º 79/2022, de 3 de fevereiro	Portaria n.º 259/2012, de 28 de agosto	CBPA
sistema de drenagem	as instalações pecuárias devem ser dotadas de um sistema de drenagem próprio das águas pluviais não contaminadas que permita a sua separação dos efluentes pecuários		-
	As águas de lavagem dos alojamentos e dos equipamentos das atividades pecuárias, bem como as escorrências das nitreiras e dos silos, devem ser conduzidas para os locais de recolha dos efluentes pecuário		-
valorização agrícola dos efluentes pecuários e de outros fertilizantes é interdita	-	1 de novembro a 15 de fevereiro no caso de culturas arvenses, forrageiras, floricultura e culturas hortícolas 1 de novembro a 1 de fevereiro no caso de pastagens e relvados e arbóreas e arbustivas	-
quantidade máxima de azoto total de efluentes pecuários a aplicar às culturas	não exceder a quantidade desse nutriente necessária à cultura	170 kg/ha SAU	-
métodos de aplicação	-	-	os chorumes devem ser preferencialmente aplicados com equipamentos de injeção direta ou sistema de baixas pressão que minimizem a sua dispersão

3.2. Legislação europeia

No que se refere à gestão dos efluentes pecuários, importa referir a Diretiva 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de dezembro de 1991, relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola, também designada como **Diretiva Nitratos**, foi transposta para o direito interno através do Decreto-lei n.º 235/97 de 3 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99, de 11 de março. A identificação das zonas vulneráveis e o CBPA referidos no anterior capítulo provêm da aplicação do disposto no Decreto-lei n.º 235/97.

3.3. Limites máximos de emissões

3.3.1. Água

O Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto define as normas de descarga das águas residuais na água e no solo, visando a promoção da qualidade do meio aquático e a proteção da saúde pública e dos solos. Aplica-se à descarga de águas residuais em águas superficiais e do litoral, em águas territoriais, em águas subterrâneas e no solo, assim como à descarga em coletores.

A descarga de águas residuais deverá ser entendida como a introdução nas águas ou no solo de águas residuais.

As normas gerais de descarga, constantes do anexo XVIII do Decreto-Lei nº 236/98, são apresentadas no Quadro 27.

O valor limite de emissão (VLE) deve ser entendido como a média mensal, definida como média aritmética das médias diárias referentes aos dias de laboração de um mês, que não deve ser excedido. O valor diário, determinado com base numa amostra representativa da água residual descarregada durante um período de vinte e quatro horas, não poderá

exceder o dobro do valor médio mensal (a amostra num período de vinte e quatro horas deverá ser composta tendo em atenção o regime de descarga das águas residuais produzidas). Sempre que existirem estações de tratamento, os VLE referem-se à qualidade das águas residuais à saída das mesmas.

A Agência Portuguesa do Ambiente poderá determinar condições mais exigentes na descarga de águas residuais do que aquelas que constam das normas gerais de descarga. As razões justificativas para a determinação de condições mais exigentes de descarga de águas residuais poderão ser as seguintes:

- O meio recetor estar classificado como zona sensível, nos termos do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de julho, alterado pelos Decretos-Lei n.º 348/98, 261/99, 172/2001, 149/2004, 198/2008, 133/2015;
- A poluição originada pela descarga poder ter efeitos a longa distância ou transfronteiriços;
- O meio recetor estar classificado como zona vulnerável, nos termos do Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99;
- O meio recetor estar situado em área designada para a proteção de habitats ou espécies relativamente às quais a conservação ou a melhoria da qualidade das águas seja um fator importante para a sua proteção;
- O meio recetor se encontrar classificado como Reserva Agrícola Nacional, nos termos do Decreto-Lei n.º 73/2009, de 31 de março, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 199/2015.

A emissão ou descarga de águas residuais na água e no solo por uma instalação carece de uma licença, a emitir pela APA, na qual será fixada a norma de descarga e demais condições que lhe forem aplicáveis. Nos solos agrícolas e florestais a emissão de licença carece de parecer da DRAP da área da respetiva competência territorial.

Quadro 27 – Normas Gerais de Descarga – Valores limite de emissão na descarga de águas residuais (Anexo XVIII do DI 236/98)

Parâmetro	Expressão dos resultados	VLE
pH	Escala de Sörensen	6,0 - 9,0 ⁽²⁾
temperatura	°C	aumento de 3 °C ⁽³⁾
CBO ₅	mg O ₂ /L	40
CQO	mg O ₂ /L	150
SST	mg/L	60
Alumínio	mg Al/L	10
Ferro total	mg Fe/L	2,0
Manganês total	mg Mn/L	2,0
Cheiro	-	não detetável na diluição 1:20
Cor	-	não visível na diluição 1:20
Cloro residual disponível		
Livre	mg Cl ₂ /L	0,5
Total	mg Cl ₂ /L	1,0
Fenóis	mg C ₆ H ₅ OH/L	0,5
Óleos e gorduras	mg/L	15
Sulfuretos	mg S/L	1,0
Sulfitos	mg SO ₃ /L	1,0
Sulfatos	mg SO ₃ /L	2000
Fósforo total	mg P/L	10
		3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras)
		0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto amoniacal	mg NH ₄ /L	10
Azoto total	mg N/L	15
Nitratos	mg NO ₃ /L	50
Aldeídos	mg/L	1,0
Arsénio total	mg As/L	1,0
Chumbo total	mg Pb/L	1,0
Cádmio total	mg Cd/L	0,2
Crómio total	mg Cr/L	2,0
Crómio hexavalente	mg Cr (IV)/L	0,1
Cobre total	mg Cu/L	1,0
Níquel total	mg Ni/L	2,0
Mercúrio total	mg Hg/L	0,05
Cianetos totais	mg CN/L	0,5
Sulfuretos	mg S/L	1,0
Óleos minerais	mg/L	15
Detergentes (sulfato de lauril e sódio)	mg/L	2,0 ^(4,5)

(2) O valor médio diário poderá, no máximo, estar compreendido no intervalo 5,0-10,0. (3) Temperatura do meio recetor após a descarga de água residual, medida a 30 m a jusante do ponto de descarga, podendo o valor médio exceder o valor médio mensal do 2º. (4) O valor médio diário não poderá exceder o dobro do valor médio mensal. (5) Valor relativo à descarga da unidade industrial para a produção de HCH extracção de lindano ou, simultaneamente, produção de HCH e extracção de lindano.

A Agência Portuguesa do Ambiente poderá determinar condições mais exigentes na descarga de águas residuais do que aquelas que constam das normas gerais de descarga. As razões justificativas para a determinação de condições mais exigentes de descarga de águas residuais poderão ser as seguintes:

- O meio recetor estar classificado como zona sensível, nos termos do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de julho, alterado pelos Decretos-Lei n.º 348/98, 261/99, 172/2001, 149/2004, 198/2008, 133/2015;
- A poluição originada pela descarga poder ter efeitos a longa distância ou transfronteiriços;
- O meio recetor estar classificado como zona vulnerável, nos termos do Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99;
- O meio recetor estar situado em área designada para a proteção de habitats ou espécies relativamente às quais a conservação ou a melhoria da qualidade das águas seja um fator importante para a sua proteção;
- O meio recetor se encontrar classificado como Reserva Agrícola Nacional, nos termos do Decreto-Lei n.º 73/2009, de 31 de março, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 199/2015.

A emissão ou descarga de águas residuais na água e no solo por uma instalação carece de uma licença, a emitir pela APA, na qual será fixada a norma de descarga e demais condições que lhe forem aplicáveis. Nos solos agrícolas e florestais a emissão de licença carece de parecer da DRAP da área da respetiva competência territorial.

3.3.2. Solo

Nos Quadros 28 e 29 apresentam-se os valores máximos admissíveis de metais pesados nos fertilizantes (corretivos) orgânicos e as quantidades máximas que se podem incorporar anualmente nos solos que são estabelecidos no Anexo IV da Portaria n.º 79/2022 de 3 de fevereiro.

Quadro 28 – Valores máximos admissíveis para os teores «totais» (*) de metais pesados nos fertilizantes orgânicos (em matéria seca), quantidades máximas que se podem incorporar anualmente nos solos e valores máximos admissíveis de concentração de microrganismos patogénicos nos fertilizantes (em matéria fresca).

Elemento* / parâmetro	Valores máximos admissíveis nos fertilizantes orgânicos (mg/kg em matéria seca)	Valores máximos das quantidades que se podem incorporar por ano nos solos (g/ha/ano) (**)
Cádmio (Cd)	3	30
Chumbo (Pb)	300	2250
Cobre (Cu)	400	3000
Crómio (Cr)	300	3000
Mercúrio (Hg)	3	30
Níquel (Ni)	200	900
Zinco (Zn)	1000	7500
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente em 25 g de matéria fresca	-
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	< 1000 células/g de matéria fresca	-

(*) Fração solúvel em água-régia; (**) Estas quantidades dependem das características do fertilizante, bem como do solo em que irá ser aplicado; as quantidades indicadas referem-se a valores médios de metais pesados incorporados ao solo num período de 10 anos de aplicação do fertilizante; NMP = número mais provável.

Quadro 29 – Valores máximos admissíveis dos teores «totais» (*) de metais pesados nos solos (em matéria seca) em que se pretenda aplicar o fertilizante orgânico

Elemento	Valores máximos admissíveis no solo (mg/kg)		
	5 ≤ pH < 6	6 ≤ pH < 7	pH ≥ 7
Cádmio (Cd)	0,5	1	1,5
Chumbo (Pb)	50	70	100
Cobre (Cu)	20	50	100
Crómio (Cr)	30	60	100
Mercúrio (Hg)	0,1	0,5	1
Níquel (Ni)	15	50	70
Zinco (Zn)	60	150	200

3.3.3. Atmosfera

O Decreto-Lei nº 102/2010 de 23 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015, de 27 de março e, pelo Decreto-lei n.º 47/2017, de 10 de maio, estabelece o atual regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, através do qual determina as medidas destinadas a:

- Definir e fixar objetivos relativos à qualidade do ar ambiente, destinados a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente;
- Avaliar, com base em métodos e critérios comuns, a qualidade do ar ambiente no território nacional;
- Obter informação relativa a qualidade do ar ambiente, a fim de contribuir para a redução da poluição atmosférica e dos seus efeitos e acompanhar as tendências a longo prazo, bem como as melhorias obtidas através das medidas implementadas;

- Garantir que a informação sobre a qualidade do ar ambiente seja disponibilizada ao público;
- Preservar a qualidade do ar ambiente quando ela seja boa e melhorá-la nos outros casos;
- Promover a cooperação com os outros Estados membros de forma a reduzir a poluição atmosférica.

No Anexo I deste diploma são listados os poluentes atmosféricos que devem ser tomados em consideração no âmbito da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, a saber:

- Dióxido de enxofre (SO₂);
- Dióxido de azoto (NO₂);
- Óxidos de azoto;
- Partículas em suspensão (PM₁₀ e PM_{2,5});
- Chumbo;
- Benzeno;
- Monóxido de carbono (CO);
- Ozono;
- Arsénio;
- Cádmio;
- Níquel;
- Benzo(a)pireno, como indicador de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos;
- Mercúrio.

Os valores-limite, valores-alvo, limiares de alerta, entre outros, destes poluentes são indicados também em anexo do Decreto-lei n.º 47/2017.

Compete à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), da área da respetiva competência territorial, efetuar a gestão e avaliação da qualidade do ar ambiente. A gestão das redes de qualidade do ar é da competência da CCDR.

4. IMPACTES DOS EFLUENTES PECUÁRIOS

Maria Antónia Figueiredo e Maria João Figueiredo

TTerra – Engenharia e Ambiente Lda

4.1. Enquadramento

Na avaliação dos impactes dos efluentes pecuários são considerados dois focos de análise complementares entre si. Um diz respeito às características físico-químicas e microbiológicas do efluente pecuário que lhe conferem o carácter de potencial de dano no ambiente. O segundo tem a ver com a gestão dos efluentes pecuários em particular no alojamento dos animais, na drenagem e armazenamento dos efluentes pecuários e na valorização agrícola dos efluentes pecuários.

Relativamente à gestão dos efluentes pecuários, importa ter em consideração que, conforme é referido no BREF relativo à produção intensiva de aves e suínos (Santonja *et al*, 2017), as emissões associadas ao alojamento dos animais e aos locais ou equipamentos de armazenamento dos efluentes pecuários, com potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas ou águas superficiais, ocorrem devido à inadequação destes órgãos ou devido a falhas operacionais. A utilização de equipamentos adequados, uma monitorização frequente e uma operação apropriada pode prevenir derrames e fugas e conseqüentemente a contaminação.

A composição dos efluentes pecuários é muito variável e depende de diversas variáveis: espécie, idade, sexo e fase de ciclo produtivo do animal, alimentação e excreção de nutrientes, consumo de água, modo de limpeza e águas de lavagem, quantidade de palhas e/ou de outros materiais usados nas camas, entre outros.

Os principais componentes dos efluentes pecuários que afetam os solos e as massas de água compreendem:

- Matéria orgânica,
- Nutrientes, em especial azoto e fósforo,

- Metais pesados, em particular o cobre e o zinco,
- Microrganismos patogénicos, e
- Substâncias farmacológicas e seus metabolitos.

Desde o momento em que os efluentes pecuários são produzidos até à sua aplicação no solo, podem ocorrer alterações de composição, por exemplo por perdas de nutrientes. Esta é, pois, a razão pela qual os impactes dos efluentes pecuários dependem em grande medida da forma como são disponibilizados no meio. Por exemplo um efluente pecuário sujeito a um tratamento por digestão anaeróbia, caracteriza-se por uma menor concentração de microrganismos comparativamente com um efluente bruto, sem tratamento.

Antes de se iniciar uma explanação mais detalhada dos potenciais impactes associados aos efluentes pecuários (que tem como objetivo principal alertar para uma gestão cautelosa e adequada às condições de biofísicas do meio), importa enfatizar que *a utilização de efluentes pecuários na fertilização das culturas agrícolas pode oferecer vantagens de tipo agronómica, ambiental e económica, para além de constituir uma medida de implementação de políticas agrícolas e ambientais, nomeadamente as que promovem os princípios da economia circular* (ENEAPAI 2030). Complementarmente, o fornecimento de matéria orgânica permite também a nutrição da mesofauna do solo, aumentando a sua atividade e a produtividade do solo.

4.2. Nos ecossistemas e saúde pública

Os impactos associados aos efluentes pecuários nos ecossistemas compreendem as potenciais emissões para a atmosfera, de amoníaco (NH_3), de odores, e de gases com efeito de estufa [metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O)], para o solo, águas subterrâneas e águas superficiais, de

microrganismos patogênicos e de nutrientes, em particular de azoto (N) e fósforo (P).

Dependendo da concentração dos poluentes, do meio e modo de dispersão e da persistência das emissões, os seus efeitos serão sentidos com maior ou menor intensidade e magnitude nos ecossistemas.

O amoníaco é o principal componente associado aos efluentes pecuários, que potencia as chuvas ácidas e a consequente acidificação do solo e da água. Quando depositado, o NH_3 tem efeitos adversos nos ecossistemas aquáticos e ripícolas, causando danos na floresta e em culturas agrícolas. O amoníaco, pelo enriquecimento de azoto nas águas superficiais e no solo, contribui para a eutrofização, com efeitos adversos nos ecossistemas aquáticos, designadamente, devido à deterioração da qualidade da água e à perda de biodiversidade.

Os odores são produzidos no processo de degradação microbológica do efluente pecuário e contêm uma complexa mistura de vários compostos, designadamente, compostos sulfurosos, grupos de fenóis e de indóis e amoníaco.

As principais causas dos odores que são libertados pelos efluentes pecuários estão associadas à forma como é efetuada o seu armazenamento e a sua aplicação no solo. Longos períodos de armazenamento em condições anaeróbicas em lagoas, são disso exemplo. É aconselhada a incorporação do efluente pecuário tão breve quanto possível, em menos de 24 horas, de forma a minimizar a libertação de odores e de amoníaco.

O metano e o óxido nitroso são alguns dos compostos que integram a lista de gases com efeito de estufa (GEE). Os GEE são um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas. As repercussões do aquecimento

global são sentidas nos fenômenos climáticos extremos, na subida do nível das águas do mar, nas alterações dos ecossistemas e na consequente perda de biodiversidade.

O enriquecimento de nutrientes, em particular de azoto e fósforo nas massas de água, origina fenômenos de eutrofização que compromete a qualidade da água, e consequentemente, a biodiversidade.

Sabemos que os produtos farmacêuticos, nomeadamente os antibióticos, têm um papel essencial para garantir um elevado nível de saúde animal. Os antibióticos contribuem indiretamente para a segurança alimentar e protegem o sustento de milhões de produtores que dependem da pecuária para subsistência. Os antibióticos são usados em várias aplicações, na agropecuária, designadamente na produção de alimentos, na agricultura e em aplicações industriais. Na produção pecuária, os antibióticos são normalmente usados para três finalidades: razões terapêuticas (curar uma doença), razões profiláticas (prevenir uma doença) e como promotores de crescimento (quantidades subterapêuticas de antimicrobianos aumentam as taxas de crescimento animal e melhoram a eficiência alimentar) (OCDE, 2015).

A ampla utilização de fármacos nas prescrições veterinárias tem vindo a contribuir para o aumento da sua concentração em muitos reservatórios ambientais, como os solos, os sedimentos e as massas de água. Em particular, a utilização inadequada de antibióticos tornaram progressivamente a resistência aos antimicrobianos uma grande ameaça para a saúde humana e animal (Buşoi *et al*, 2020).

Conforme referido em artigo publicado na Ordem dos Farmacêuticos (Nunes, 2011) os compostos farmacêuticos são propositadamente desenhados com o objetivo de alterar funções biológicas por razões

terapêuticas e/ou profiláticas. *No sentido do aumento da sua eficácia, possuem elevada biodisponibilidade, e uma elevada potência farmacológica, pelo que pequenas quantidades podem já exercer efeitos assinaláveis.* São estas características que geram os *efeitos tóxicos tanto em humanos, como em organismos não alvo, expostos por via ambiental.*

Na produção pecuária, as portas de entrada destes produtos farmacêuticos para o solo e águas subterrâneas e para as águas superficiais, são o pastoreio dos animais e a gestão dos efluentes pecuários, em particular, através da valorização agrícola. De acordo com Kemper *et al.* (2008) e Kleiner *et al.* (2007) (*in* Nunes, 2011) a consequência mais evidente do espalhamento dos efluentes pecuários nos solos é a alteração das comunidades bacterianas nos solos, bem como a sua lixiviação para as massas de água da qual resulta um aumento na dispersão das substâncias ativas dos fármacos (Bialk-Bielit\ska *et al.*, 2009 *in* Nunes, 2011).

Os efeitos dos produtos farmacêuticos nos ecossistemas e nos organismos não alvo estão ainda pouco estudados, contudo atendendo ao estado da arte, é possível tecer duas linhas de efeitos: i. a resistência aos antibióticos promovida pela ingestão de alimentos e água e; ii. as alterações biológicas e bioquímicas nos organismos vivos.

4.3. No ciclo do azoto

Para a nutrição das plantas o N orgânico (presente no efluente pecuário) necessita de ser mineralizado ou transformado na forma nítrica (NO_3^-) ou amoniacal (NH_4^+).

Quando é fornecido ao solo N orgânico, através dos efluentes pecuários, a sua mineralização será inicialmente rápida, seguindo-se a mineralização mais lenta dos compostos mais recalcitrantes. A libertação e

disponibilização do azoto pode prolongar-se por vários anos dependendo da sua natureza, sendo naturalmente mais rápida nos chorumes diluídos e mais lenta no caso dos estrumes (Dias, J.C.).

Quando o efluente pecuário é aplicado no solo podem ocorrer várias formas de libertação do N. A operação de aplicação do efluente pecuário no solo, as emissões de N para a atmosfera ocorrem sob a forma de amoníaco (NH_3), azoto (N_2) e óxido nitroso (N_2O). Por nitrificação do NH_4^+ o azoto é lixiviado e/ou sujeito a escorrência superficial para as massas de água sob a forma nitrato (NO_3^-).

A emissão de compostos de azoto para a atmosfera contribui para a redução dos valores de pH dos solos e das águas. A acidificação destes meios, quando muito acentuada, conduz à libertação de metais tóxicos como o alumínio e à lixiviação de nutrientes do solo, causando perturbações na biodiversidade e ao nível da produtividade dos solos.

O enriquecimento das águas em NO_3^- provoca uma aceleração do crescimento de algas e plantas superiores, ocasionando uma perturbação indesejável do equilíbrio dos organismos presentes na água e da qualidade das águas em causa. Este processo designa-se por eutrofização.

4.4. No ciclo do fósforo

À semelhança do azoto, o fósforo (P) é um nutriente essencial para as plantas, sendo assimilado sob a forma de ião ortofosfato (PO_4^{3-}).

Nos efluentes pecuários o P está principalmente presente na matéria orgânica, necessitando de ser mineralizado em ortofosfato (forma dissolvida e reativa) para poder ser utilizado pelas plantas. A forma dissolvida do P pode ser arrastada por escorrências superficiais e ser

facilmente fixado por vários constituintes do solo. O principal efeito do aumento da concentração de P nas águas superficiais é a eutrofização.

A maioria do P nos solos encontra-se em frações sólidas pouco lábeis pelo que a sua perda está principalmente relacionada com o processo de erosão, com as maiores perdas a verificarem-se quando o P se encontra concentrado à superfície do solo (solos sem mobilização recebendo em cobertura adubos ou efluentes pecuários contendo P).

O P não mineralizado, por ser pouco móvel no solo, acarreta um elevado potencial de acumulação de fósforo neste reservatório, decorrente da aplicação de efluente pecuário durante anos sucessivos. As emissões de P para a atmosfera são vestigiais.

4.5. No ciclo do carbono

O carbono (C) orgânico no solo é um componente importante para a qualidade do solo e para a sua produtividade. O C tem um papel insubstituível na transformação de nutrientes, designadamente na mineralização e imobilização biológica do N, afetando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Nos efluentes pecuários o C está presente na matéria orgânica e sob a forma de CO₂ e metano (CH₄). Na operação de espalhamento, as formas gasosas são libertadas para a atmosfera e, o C orgânico é transformado e retido no solo em formas mais estáveis (húmus), ocorrendo por esta última via, o sequestro de carbono.

4.6. Na cadeia alimentar

Conforme referido acima, os efluentes pecuários são uma fonte de nutrientes para as plantas. É a partir das plantas (produtores) que os

animais e o Homem, pela alimentação, obtêm os nutrientes e elementos essenciais à vida. Aliás, o azoto encontra-se em todas as proteínas e ácidos nucleicos, sendo um elemento essencial dos organismos vivos.

Nos sistemas agrícolas, o fornecimento de nutrientes passíveis de serem absorvidos pelas plantas/culturas que serão posteriormente fonte de alimento para os animais e Homem.



Figura 17. Cadeia alimentar e o ciclo de nutrientes

4.7. Vetores de contaminação

Para a melhoria da produtividade dos sistemas culturais a fertilização com azoto, fósforo e potássio é quase sempre imprescindível. Contudo, quando

a fertilização é efetuada recorrendo aos efluentes pecuários há que ter em consideração que podem estar presentes organismos patogénicos, existindo a possibilidade de transferência para os alimentos. Em regra, quando o efluente pecuário é digerido e/ou estabilizado, quer em condições aeróbias como anaeróbias, o número de organismos patogénicos é menor.

Como boa prática, em culturas hortícolas com curto período de cultivo e que se destinam ao consumo cru, a valorização agrícola com efluente pecuário deverá ser efetuada pelo menos quatro meses antes da sementeira (Koller, M., 2011).

A sobrevivência de microrganismos patogénicos no chorume depende da espécie pecuária e das características do efluente. Por outro lado, a sobrevivência dos agentes patogénicos decresce acentuadamente durante o período de armazenamento dos efluentes pecuários e com o seu tratamento. Para a redução, ou mesmo a eliminação, de microrganismos como *Salmonella* sp. ou *Escherichia coli* é aconselhável o armazenamento de chorumes por um período mínimo de um mês no Verão e de dois meses no Inverno.

4.8. Referências

Buşoi, Cristian-Silviu; Sidl, Günther; Huitema, Jan; Rivasi, Michèle; Baldassarre, Simona; Kopcińska, Joanna; Konečná, Kateřina: Proposta de resolução sobre uma abordagem estratégica relativa aos produtos farmacêuticos no ambiente. Comissão do Ambiente, da Saúde Pública e da Segurança Alimentar. 2020.
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/B-9-2020-0242_PT.html

Dias Soveral J.C.: Código de boas práticas agrícolas. Laboratório químico-agrícola Rebelo da Silva.

<http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/conteudos/zv/codigobpa.pdf>

ENEAPAI 2030.

<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/comunicado?i=estrategia-nacional-para-os-efluentes-agropecuarios-e-agroindustriais-eneapai-2030>

Santonja, German Ginger; Georgitzikis, Konstantinos; Scalet, Bianca Maria; Montobbio, Paolo; Roudier, Serge; Delgado Sancho, Luis: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs (BREF). Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). 2017. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/best-available-techniques-bat-reference-document-intensive-rearing-poultry-or-pigs>

Nunes, Bruno: A presença de fármacos no ambiente. Ordem dos Farmacêuticos. 2011. <http://www.actafarmacaceuticaportuguesa.com/index.php/afp/article/view/31>

Soares, José Martins *et al*: Estratégia Nacional para os efluentes agropecuários e agroindustriais (ENEAPAI 2030). Gabinete do Ministro do Ambiente e Ação Climática. 2020. https://participa.pt/contents/consultationdocument/ENEAPAI_2030.pdf

OCDE (Organization for Economic Co-operation and Development): Global antimicrobial use in the livestock sector. 2015. [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=TAD/CA/APM/WP\(2014\)34/FINAL&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=TAD/CA/APM/WP(2014)34/FINAL&docLanguage=En)

Pires, Susana. Valorização agronómica de chorumes de suinicultura digeridos e co-digeridos. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Especialização em Tecnologias Ambientais. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2009.

Zhao, Zhanhui; Zhang, Congzhi; Li, Fang; Gao, Songfeng; Zhang, Jiabao: Effect of compost and inorganic fertilizer on organic carbon and activities of carbon cycle enzymes in aggregates of an intensively cultivated Vertisol. 2020.

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0229644>

Koller, Martin; PathOrganic consortium: Manure for vegetables. Farm practice recommendations for minimizing human pathogenic bacteria contamination in vegetal production. Forschungsinstitut für biologischen Landbau. Order number 1562. International edition 2011.

5. GESTÃO E VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES PECUÁRIOS

Separação mecânica

Vasco Fitas da Cruz e José Carlos Rico

*Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, MED - Instituto
Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento*

Valorização de efluentes por compostagem

Maria Cecília Amaral Nestler e Hartmut Nestler

Leal & Soares, SA (SIRO)

Digestão anaeróbia

Elizabeth D'Almeida Duarte, Rita do Amaral Fragoso e Inês Silva

Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa

Uso de aditivos

Henrique Trindade

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Bioremediação por larvas de insetos

Carolina Ligeiro e Rui Nunes

Ingredient Odyssey SA, Entogreen

Valorização agrícola de efluentes pecuários

Regina Menino e Maria Amélia Castelo-Branco

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

5.1. Separação mecânica

Os efluentes pecuários possuem um elevado potencial de valorização. Porém, a sua utilização sem quaisquer tipos de tratamentos possui um forte impacto ambiental ao nível das emissões atmosféricas e da contaminação dos solos. Neste sentido, de modo a extrair todo o seu potencial, os efluentes devem ser sujeitos a tratamentos.

Existem hoje diversas alternativas para o tratamento dos efluentes no seu local de produção. Uma dessas alternativas é a separação da água dos sólidos que se encontram em suspensão ou que ficam flutuando, seja por processos físicos (gravitacionais e mecânicos), químicos ou biológicos (Szogi et al., 2015).

5.1.1. Resumo

O processo de separação de sólidos é um dos tratamentos possíveis e consiste, basicamente, na separação entre a fração líquida e sólida do efluente. Esta separação pode ocorrer por processos físicos (gravitacionais e mecânicos), químicos ou biológicos. A separação mecânica é uma técnica comum nas explorações pecuárias da Europa, uma vez que é relativamente barata e necessita de pouca manutenção. Existem diversos métodos e tecnologias para a separação mecânica de sólidos tais como: grades de retenção de detritos, tanques de sedimentação, tamisadores, filtros de banda, prensas e centrífugas, os quais são revistos ao longo deste capítulo. A eficiência de qualquer um destes métodos depende de fatores relacionados com o animal e o seu manejo bem como de fatores intrínsecos aos próprios métodos. Os mecanismos utilizados ou suas combinações devem estar adaptados ao tipo de efluente e às suas perspetivas de armazenamento e utilização posterior (valorização).

5.1.2. Introdução

O processo de separação de sólidos consiste na remoção parcial de matéria orgânica e inorgânica contida nos efluentes (Mukhtar et al., 1999; Pereira, 2005). Esta separação tem-se revelado bastante eficiente no controlo dos impactos ambientais possibilitando o reaproveitamento das águas residuais (frações líquidas) e a reciclagem de nutrientes.

A separação entre a fração líquida e sólida dos efluentes requer alguma ação ou força externa para quebrar a tensão do líquido. A gravidade é a força mais comum utilizada, uma vez que necessita de pouca ou nenhuma entrada de energia. Porém, também são utilizadas a pressão e a força centrífuga, bem como combinações de todas essas forças (USDA, 2011).

Os diferentes métodos desenvolvidos para a separação de sólidos podem ser divididos nas seguintes categorias (Bernal et al., 2015; Hjorth et al., 2010):

- Sedimentação;
- Triagem ou Peneiramento;
- Filtração pressurizada;
- Centrifugação;
- Combinação de todos eles com adição química.

A separação de sólidos por processos físicos é caracterizada por uma simples sedimentação ou por peneiramento (Kunz et al., 2009). Para melhorar a eficiência de remoção de material em suspensão, podem-se empregar processos de coagulação e floculação através de substâncias químicas. Esta prática para além de diminuir a concentração de nutrientes (matéria orgânica, fósforo, nitrogênio) da fração líquida, facilita o tratamento da fração sólida devido à redução de seu volume (Sánchez-Martin et al., 2010), sendo isto realizado com um inevitável aumento dos custos de tratamento.

O Quadro 30 apresenta a percentagem de sólidos e nutrientes separados em efluentes de explorações suínícolas com recurso a processos de floculação.

Quadro 30 – Percentagem de sólidos e nutrientes separados em efluentes de explorações suínícolas com recurso a processos de floculação (Adaptado de: Pereira, 2005)

Parâmetros	Características do efluente antes de ser sujeito a pré-tratamento (mg L ⁻¹)	Separação por tamisação * (%)	Separação por tamisação após floculação ** (%)
Sólidos suspensos totais	2200 - 15800	15,4	89,5
Sólidos suspensos voláteis	1700 - 12600	15,0	89,2
Carência bioquímica em oxigénio	600 - 31300	8,0	64,6
Azoto orgânico	210 - 1280	13,2	80,0
Fósforo orgânico	60 - 510	10,6	85,2

* Utilizado crivo com malha de 1 mm de abertura

** Doses de floculante entre 80 a 120 mg L⁻¹ (média de 100 mg L⁻¹)

A simples aplicação do tratamento primário (separação mecânica) possui baixo custo em relação aos outros processos e relativa eficiência, dependendo da concentração de sólidos grosseiros presentes nos efluentes animais, geralmente superior a 3% e do tipo de crivo utilizado (Burton, 2007).

5.1.3. Separação mecânica em explorações pecuárias

A aplicação de processos de separação mecânica no tratamento dos chorumes é uma técnica comum nas explorações pecuárias da Europa, uma vez que é relativamente barata e necessita de pouca manutenção (Bernal et al., 2015). Em termos gerais, desta separação resulta uma fração líquida com 1% a 6% de matéria seca (Quadro 31), que pode ser facilmente armazenada e submetida a tratamentos secundários e/ou terciários; e uma fração sólida com teor mais elevado de matéria seca (elevada concentração de carbono e nutrientes) e que pode ser utilizada como: (i) fertilizante ou corretivo orgânico dos solos; (ii) material para as camas dos animais nas instalações; (iii) produção de composto; (iv) valorização energética; e (v) matéria-prima para a alimentação animal (Birchall et al., 2008; Hjorth et al., 2010; Mukhtar et al., 1999; Pereira, 2005).

A separação de sólidos torna o processo de armazenamento do efluente líquido e do resíduo sólido mais fácil e seguro, reduzindo o potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Mukhtar et al., 1999; Szogi et al., 2015); possibilita a exportação para fora da exploração de excedentes de nutrientes recicláveis (Kellog et al., 2000); permite reduzir a acumulação de sólidos (lodo) em lagoas de tratamento, o que diminui a frequência da sua remoção e, conseqüentemente, prolonga a vida útil das estruturas de armazenamento (Birchall et al., 2008; Mukhtar et al., 1999); contribui para uma redução na emissão de odores das instalações de armazenamento e tratamento (Hjorth et al., 2010; Mukhtar et al., 1999); permite a aplicação em sistemas de irrigação da fração líquida (USDA, 2011); e facilita a utilização de outros métodos para recuperar nutrientes, que de outra forma seriam inadequados para uso com o efluente em bruto (Szogi et al., 2015).

No entanto, os processos de separação de sólidos não removem o excesso de azoto amoniacal, não reduzem a carga de matéria orgânica biodegradável e o conteúdo de patogénicos (Burton, 2007), pelo que,

ambas as frações necessitam de uma gestão e tratamento adicional eficientes (Bernal et al., 2015). Para além disso, estas técnicas provocam um aumento na concentração de metais pesados, como Cu e Zn, na fração sólida, o que pode representar um problema ambiental se utilizada como fertilizante (Hjorth et al., 2010).

Este processo tem também custos associados nomeadamente no que respeita à aquisição de equipamentos e ao consumo de energia. Se por um lado quanto maior a eficiência da separação mais caro o equipamento, por outro, quanto maior a eficiência menor o custo energético, podendo muitas vezes os equipamentos operarem nas horas de vazio e recorrendo a fontes de energia renováveis.

Quadro 31 – Teor em matéria seca, eficiência de remoção e redução do volume em processos de separação mecânica de efluentes pecuários (adaptado de Pereira, 2005)

Tipo de Separador mecânico	Filtro de banda	Centrífuga	Prensa
Teor em matéria seca			
Chorume bruto (%)	8,9	6,5 - 8,3	8,9
Fração sólida separada (%)	21,3	-	21,5
Eficiência de remoção			
MS (%)	62,0	67,0	58,2
Azoto total (%)	23,0	30 - 40	27,7
Fósforo total (%)	20,0	52,5 - 66,5	21,9
Redução de volume (%)	24,0	20 - 30	19,7

5.1.4. Equipamentos

Existem hoje várias tecnologias para a separação de sólidos que usam equipamentos como: grades de retenção de detritos, tanques de

sedimentação, tamisadores, filtros de banda, prensas e centrífugas. Qualquer que seja o equipamento utilizado, convém referir que antes e durante o processo de separação, os efluentes devem ser agitados continuamente de modo a minimizar-se a sedimentação de sólidos no tanque de recepção e, desta forma, aumentar a eficiência do processo de separação (Metcalf et al., 2004).

A seleção do mecanismo mais apropriado ou a combinação deles depende da forma, densidade, tamanho e concentração das partículas envolvidas. Os critérios a serem considerados antes de selecionar o equipamento incluem:

- Conteúdo de humidade do resíduo – alguns separadores requerem uma pasta diluída, neste sentido pode ser necessário adicionar água;
- Tamanho da abertura do separador – pequenas aberturas removem sólidos, no entanto, diminuem a taxa de transferência do sistema;
- Taxa de transferência ou capacidade – determina o tamanho do separador necessário para o sistema. É expresso em termos de volume por unidade de tempo;
- Manutenção – o equipamento deve ser preservado;
- Custos com equipamentos periféricos – pavimento, suporte para o separador, bombas, transportadores, cárteres, energia elétrica e custos de construção.

A espécie animal também afeta a composição dos resíduos a serem tratados e por isso deve ser tida em consideração aquando da seleção do equipamento mais apropriado (Hjorth et al., 2010).

Embora existam diferentes tipos de separadores mecânicos, a maioria deles pode ser agrupada em cinco categorias (Bernal et al., 2015; Birchall et al., 2008; Hjorth et al., 2010; Mukhtar et al., 1999; USDA, 2011):

- Grades de detenção de detritos
- Tanques de sedimentação;
- Telas (tamisadores);

- Prensas;
- Centrífugas.

a) Grades de retenção de detritos

A gradagem é uma operação unitária para a remoção de sólidos grosseiros transportados nos efluentes, destinada a proteger equipamentos e sistemas de armazenamento. Os sólidos e detritos de grandes dimensões são removidos através de grades constituídas por uma série de varões em aço galvanizado colocadas longitudinalmente em relação ao fluxo da caleira do efluente e inclinadas entre 30 a 45° em relação ao fundo do canal (Figura 18). O processo de limpeza das grades metálicas pode ser manual ou mecanizado (Metcalf et al., 2004).



Figura 18. Grades de retenção de detritos

(Fonte: <http://proencis.site.com.br/portfolio-view/elevatoria-agua-bruta/>)

b) Tanques de sedimentação

Os tanques de sedimentação, também conhecidos como tanques de decantação, são unidades de tratamento inseridas no canal/troço do coletor que transporta os efluentes, podem ser do tipo subterrâneo ou

cônico e ambos utilizam a ação da gravidade para separar os sólidos dos líquidos.

O princípio de funcionamento dos tanques de sedimentação subterrâneos (Figura 19), baseia-se na redução da velocidade do fluxo, o que permite a sedimentação discreta dos sólidos em suspensão (Eckenfelder et al., 1989; USDA, 2011).

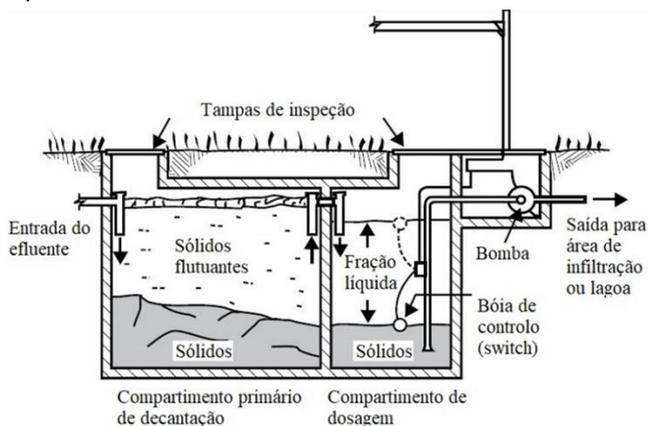


Figura 19. Tanque de sedimentação subterrâneo (Adaptado de: USDA, 2011)

A maioria dos tanques de sedimentação cónicos consiste num recipiente cilíndrico na parte superior e cónico na parte inferior (Figura 20). No seu processo operativo, a pasta é adicionada pela parte superior do tanque e os sólidos assentam na parte inferior da parte cónica, por onde podem ser removidos (Bernal et al., 2015).

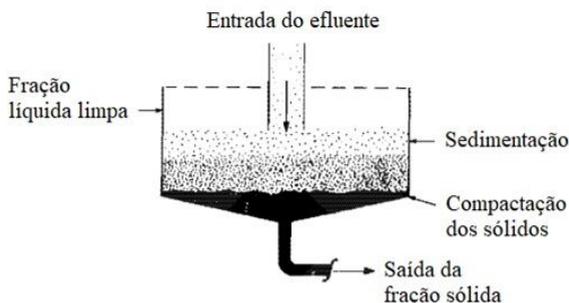


Figura 20. Tanque de sedimentação cônico

(Adaptado de: <https://www.911metallurgist.com/desliming/>)

c) Separadores de telas (tamisadores)

O mecanismo de funcionamento desta tecnologia de separação resulta numa triagem que envolve uma tela com poros de um tamanho específico e que permite que apenas um determinado tamanho de partículas sólidas passe pelas suas aberturas. Deste modo, a fração líquida flui através da tela e é drenada (Bernal et al., 2015; USDA, 2011).

A tecnologia de separação por telas é geralmente utilizada como pré-tratamento do efluente, de modo a que seja possível evitar fenómenos de sedimentação durante o processo de armazenamento e/ou combinar esta técnica com outros sistemas de separação mais eficientes (Flotats et al., 2011).

Os tamisadores são equipamentos eletromecânicos que permitem a remoção de sólidos em suspensão, de pequenas dimensões e com diferentes densidades através da filtração sobre uma tela metálica ou têxtil. Os modelos mais utilizados em Portugal, em efluentes pecuários, são de crivo vibratório e de tambor rotativo. Os tamisadores podem ser instalados sobre o terreno ou abaixo do nível do solo, podendo ser alimentados por gravidade ou através de um sistema de bombagem. A descarga é feita,

geralmente, por gravidade. De uma maneira geral, apresentam baixas eficiências de remoção de matéria seca e de nutrientes relativamente aos modelos de separadores mais sofisticados (Bicudo, 1991) como as centrífugas. Podem ser classificados como estacionários, vibratórios e rotativos (Bernal et al., 2015; Birchall et al., 2008; Mukhtar et al., 1999; USDA, 2011).

Telas estacionárias ou tamisadores estáticos

O separador de telas estacionárias, inclinado (Figura 21), utiliza a força da gravidade para separar o efluente líquido do sólido. O chorume é bombeado para a parte superior da tela. A fração líquida passa pelas aberturas da tela, enquanto que os sólidos se acumulam e deslizam para serem depositados numa almofada de armazenamento e drenagem (Figura 22) (Birchall et al., 2008; Mukhtar et al., 1999). Este sistema pode produzir uma fração de sólidos de 12 a 23% de material seco, dependendo do conteúdo total de sólidos dos resíduos brutos e do tamanho das aberturas da tela (USDA, 2011).

Este tipo de separador é muito utilizado para remover partículas fibrosas e grosseiras dos efluentes das instalações de bovinos de leite, o que facilita o manuseamento, armazenamento e tratamento da fração sólida e a reciclagem dos líquidos para descarga nas lagoas/aplicação ao solo (Mukhtar et al., 1999).

A grande vantagem destas telas está no facto de que não possuem partes móveis e requerem pouca energia. No entanto, necessitam de um sistema de lavagem separado para impedir a obstrução da tela; um reservatório e uma bomba para remover a fração líquida e induzir o fluxo sobre a tela (Mukhtar et al., 1999).



Figura 21. Separador de tela estática inclinada

(Fonte: <https://www.nuevaferia.com.ar/mp.asp?i=10141&n=Tamiz-estatico-curvo---Enviroline>)

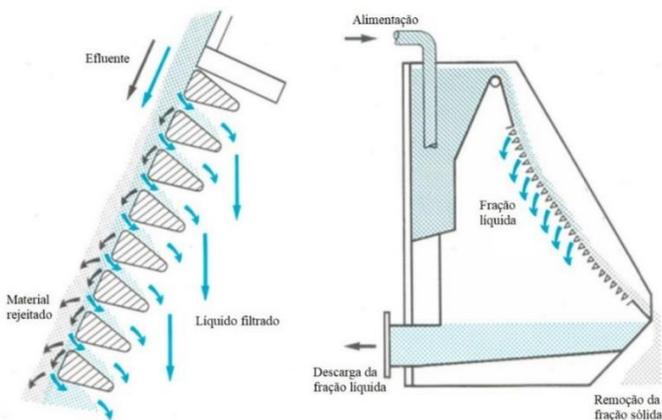


Figura 22. Princípio de funcionamento de separador de tela inclinada

(Adaptado de: <https://hidrometalica.com/tamiz-estatico/>)

Telas vibratórias (tamisadores de crivo vibratório)

As telas vibratórias (Figura 23) solucionam alguns dos problemas de entupimento associados às telas estacionárias, no entanto este tipo de equipamento apresenta maiores custos de operacionalidade e manutenção associados, uma vez que necessita de energia mecânica para o seu

funcionamento vibratório. Ao contrário das telas estacionárias, estas são instaladas na horizontal (Bernal et al., 2015; USDA, 2011).



Figura 23. Separador de tela vibratória

(Fonte: <https://www.mylittlesalesman.com/gator-6%E2%80%99-wide-x-16%E2%80%99-long-three-deck-incline-vibrating-screen-9468025>)

O material a ser separado é transportado para a tela, que vibra vertical e horizontalmente, a uma frequência controlada (Mukhtar et al., 1999). Os líquidos ou materiais menores passam pela tela e são recolhidos num recipiente que se encontra abaixo dela. Os sólidos separados são movidos até às extremidades da tela, onde são removidos (Figura 24). Alguns sólidos são quebrados através das vibrações e passam com líquidos, diminuindo a eficiência da separação com determinados tipos de materiais. A eficiência de separação normal para esse tipo de separador é de 15 a 30% (USDA, 2011).

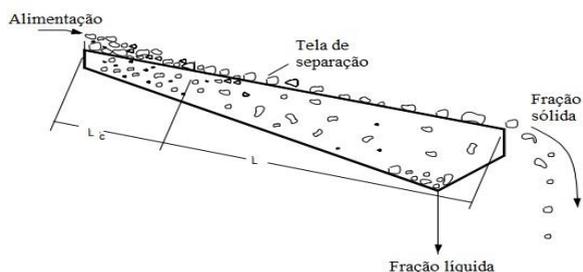


Figura 24. Princípio de funcionamento de separador de tela vibratória (Adaptado de: <https://www.911metallurgist.com/blog/vibrating-screen-working-principle>)

Telas rotativas (tamisadores de tambor rotativo)

As telas rotativas (Figura 25) consistem num cilindro horizontal perfurado (10 a 35 rpm) cuja superfície gira e que possui uma área de alimentação na extremidade superior e um raspador fixo para remover os sólidos que se acumulam na tela (Bernal et al., 2015; USDA, 2011).

Os sólidos que se acumulam na tela são empurrados pelo raspador e movidos para a extremidade oposta. O líquido passa pela tela e é drenado para um tanque de armazenamento (Figura 26) (Birchall et al., 2008; Mukhtar et al., 1999). Este separador apresenta um volume relativamente alto e uma eficiência de separação relativamente baixa (15 a 20%) para uma única passagem (USDA, 2011).



Figura 25. Separador de tela rotativa (Adaptado de Bernal et al., 2015)

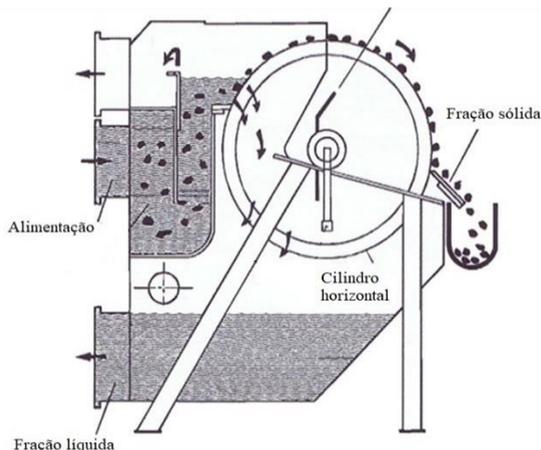


Figura 26. Princípio de funcionamento de separador de tela rotativa
(Adaptado de: <https://hidrometalica.com/tamiz-rotativo/>)

d) Separadores de prensas

A fração sólida resultante do processo de sedimentação, triagem e centrifugação é chamada de “bolo sólido” e pode conter até 85 a 95% de humidade (apenas 5 a 15% de sólidos totais). As prensas são utilizadas normalmente para remover mais água do bolo sólido, de modo a que este possa ser compostado ou utilizado para outro fim. Ou seja, estes dispositivos ajudam a remover partículas de textura fina (Mukhtar et al., 1999).

Este tipo de equipamentos permite operar com um teor total de sólidos mais elevado do que os separadores de telas. As prensas produzem um sólido mais seco que a maioria dos dispositivos mecânicos (cerca de 30% de matéria seca) (Flotats et al., 2011; Hjorth et al., 2010). A sua eficiência diminui à medida que o teor total de sólidos do efluente aumenta. No entanto, de acordo com Burns e Moody (2003), a eficiência de separação

de matéria seca destes equipamentos varia entre 10 a mais de 50%, de acordo com o teor de sólidos da mistura.

Os separadores de prensas podem ser classificados como prensas de rolos, correias ou parafuso (Bernal et al., 2015; Birchall et al., 2008; Mukhtar et al., 1999; USDA, 2011).

Prensas de rolos

Uma prensa de rolos (Figura 27) possui telas côncavas e uma série de rolos e escovas que pressionam o efluente contra as telas. Os líquidos são espremidos e os sólidos permanecem na tela (Mukhtar et al., 1999).

O rolo sólido superior da prensa faz compressão sobre o rolo inferior que, pelo facto de possuir aberturas, permite que o líquido seja drenado.

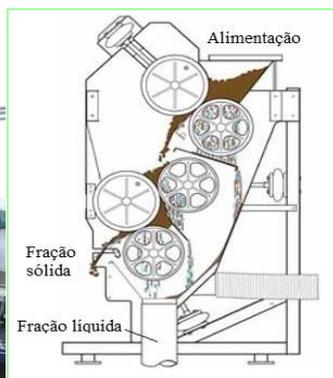


Figura 27. Separador de prensas de rolos e princípio de funcionamento (Fonte: <https://www.melkvee.nl/artikel/43434-boersma-maakt-nieuwe-start-na-van-bakel-debacle/>) / (Adaptado de: USDA, 2011)

O separador de prensas de rolos é frequentemente incorporado e utilizado em combinação com o separador de tela estática inclinada e de tela rotativa, de modo a melhorar a sua eficiência de separação (Figura 28). Os

rolos são motidos por motores elétricos e o rendimento depende da compressão entre os rolos (distância entre rolos). A eficiência de separação de sólidos totais pode variar entre 30 a 50% (USDA, 2011).



Figura 28. Separador de prensas de rolos combinado com separador de tela rotativa

(Fonte: <https://www.agriexpo.online/pt/prod/daritech-inc/product-171469-65740.html>)

Prensas de correias ou filtros de banda

Uma prensa de correia (Figura 29) usa uma correia de tecido plano, que corre horizontalmente entre os rolos. Os rolos comprimem o estume líquido através de perfurações na correia, que retém os sólidos (Mukhtar et al., 1999).

O separador de prensas de correia é semelhante ao separador de prensas de rolos, no entanto, em vez de drenar o líquido através do rolo inferior perfurado, a própria correia é feita de um material permeável e o líquido é espremido quando a correia passa entre dois rolos. Este separador é mais adequado para filtrar efluentes com 6% a 8% de matéria seca (Burton e Turner, 2003).

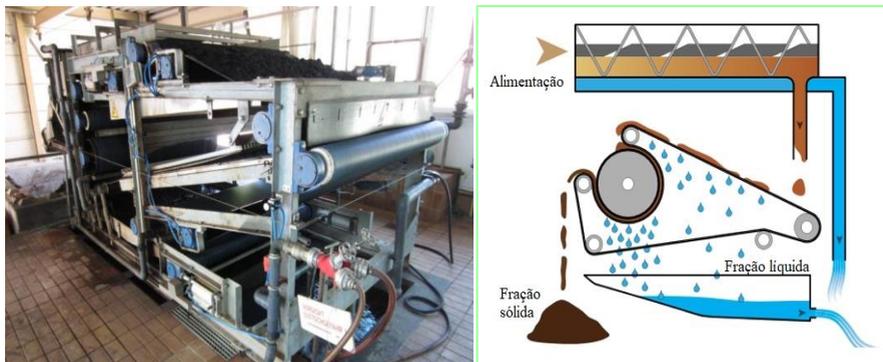


Figura 29. Separador de prensas de correia e princípio de funcionamento (Fonte: <https://www.exapro.com/used-klein-bs-20-belt-press-dewatering-p80215128/>) (Adaptado de: <https://oceaniawatertreatment.com.au/belt-press-sludge-dewatering/>)

Prensas de parafuso

O separador de prensas de parafuso (Figura 30) é o mais utilizado entre as tecnologias de filtração pressurizada. Estes separadores conjugam os mecanismos de separação gravítica de sólidos com a separação mecânica por compressão, através de um parafuso sem-fim (Pereira, 2005).

Este separador utiliza um parafuso reto ou cônico para comprimir sólidos dentro de um cilindro perfurado ou com fenda. O líquido é expelido pelas aberturas da tela através da pressão da bomba e do parafuso sem-fim. Os sólidos são empurrados para fora da extremidade do cilindro através de um retentor ajustável (Figura 31) (Birchall et al., 2008; Brendal et a., 2015; Mukhtar et al., 1999; USDA, 2011).



Figura 30. Separador de prensas de parafuso (Fonte: Brendal et al., 2015)

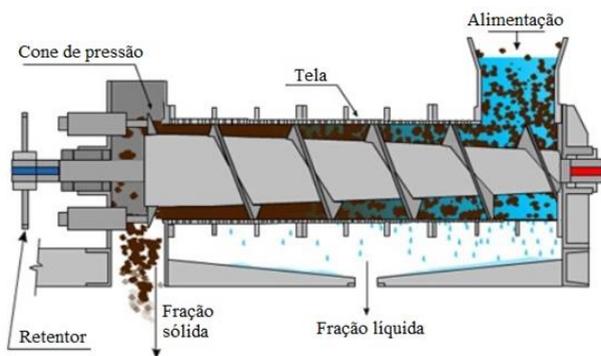


Figura 31. Princípio de funcionamento do separador de prensas com parafuso

(Adaptado de: <https://oil-expeller.net/edible-oil-press-machine/screw-oil-press.html>)

e) Centrífugas

Um separador centrífugo utiliza a força centrífuga para aumentar a velocidade de sedimentação das partículas em suspensão e, conseqüentemente, causar a separação do material sólido (mais denso) do líquido (Brendal et al., 2015; Mukhtar et al., 1999; USDA, 2011). Existem

centrífugas horizontais e verticais, no entanto, as centrífugas horizontais são as mais comuns no tratamento de efluentes pecuários (Figura 32).

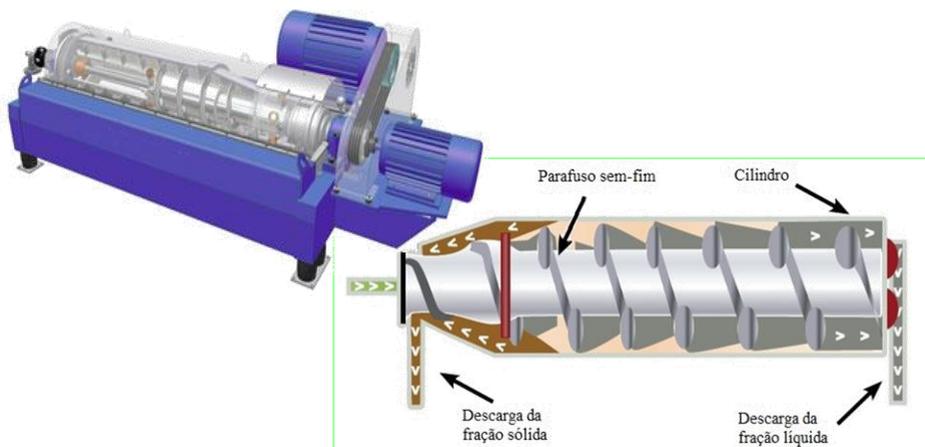


Figura 32. Separador centrífugo horizontal e princípio de funcionamento

(Fonte: <https://www.environmental-expert.com/products/decapress-model-dp-two-phase-decanter-centrifuge-585562>) (Adaptado de: Brendal et al., 2015)

As centrífugas horizontais, também conhecidas por decantadoras, consistem num cilindro rotativo que centrifuga o efluente a alta velocidade, resultando na separação das partículas sólidas da fração líquida. Estas partículas são deslocadas e espessadas para a extremidade cônica da centrífuga, onde são descarregadas e armazenadas, através de um parafuso sem-fim que possui uma velocidade de rotação superior à do cilindro (Hjorth et al., 2010; Mukhtar et al., 1999). Conforme ilustrado na Figura 18, a fração líquida, contendo uma suspensão de colóides, componentes orgânicos e sais, é descarregada na parte cilíndrica oposta e enviada para uma caixa de receção (Brendal et al., 2015; Hjorth et al., 2010).

As centrífugas são separadores eficazes e podem remover até 70% de sólidos totais, sendo mais eficientes com efluentes com um teor de sólidos

de 5 a 8% ou quando combinadas com processos de adição química. No entanto, este tipo de equipamento possui um custo inicial e de manutenção mais elevado do que outros tipos de separadores (Birchall et al., 2008; USDA, 2011).

5.1.5. Considerações finais

Existem diversos métodos e tecnologias para realizar a separação mecânica de sólidos. A seleção do mecanismo mais apropriado ou a combinação deles depende de fatores como a espécie animal e o tipo de efluente, ou seja, a forma, densidade, tamanho e concentração das partículas envolvidas. Neste sentido, a eficiência deste processo está diretamente relacionada, por um lado, com o tipo de equipamento e por outro, com a constituição do efluente.

Estes sistemas permitem criar diversas oportunidades / desafios para o setor agrícola, na medida em que contribuem para a diminuição do impacto ambiental ao nível das emissões atmosféricas e contaminações de solo, possibilitando o reaproveitamento das águas residuais e a reciclagem de nutrientes.

Numa ótica de sustentabilidade e circularidade, a gestão de efluentes pecuários com recurso à separação mecânica contribui para a criação de valor dos resíduos / subprodutos, o que permite, através da partilha de recursos, o desenvolvimento de relações de simbiose entre fileiras e setores económicos, incrementando a competitividade das empresas.

5.1.6. Referências

Bernal, M. P., Bescós, B., Burgos, L., Bustamante, M., Clemente, R., Fabbri, C., ... & Moscatelli, G. (2015). Evaluation of manure management systems in Europe. Relatório do Projeto LIFE09 ENV/ES/000453. 180 pp.

Bicudo, J. R. (1991). O sector da suinicultura na perspectiva do ambiente- Aspectos técnicos do tratamento e destino final dos efluentes de suinicultura. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 167 pp.

Birchall, S., Dillon, C., & Wrigley, R. (2008). Effluent and manure management database for the Australian dairy industry. Dairy Australia: Melbourne. Available at: <http://www.dairyingfortomorrow.com/index.php>.

Burns, R. T., & Moody, L. B. (2003). Development of a standard method for testing mechanical manure solids separators. Paper number 034131, 2003 ASAE Annual Meeting.) American Society of Agricultural and Biological Engineers. (doi: 10.13031/2013.13886)

Burton, C. H. (2007). The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure. *Livestock Science*, 112(3), 208-216.

Burton, C. H., & Turner, C. (2003). *Manure management: Treatment strategies for sustainable agriculture*. 2nd edition, Silsoe Research Institute, Silsoe, UK, 451 pp.

Eckenfelder, W. W., Clark, B. J., & Morriss, J. M. (1989). *Industrial water pollution control*. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering.

Flotats, X., Foged, H.F., Bonmatí, A., Palatsi, J., Magri, A., Schelde, K.M. (2011). *Manure Processing Technologies*. In: Technical Report No. II Concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission. Directorate-General Environment, 184 pp.

Hjorth, M., Christensen, K. V., Christensen, M. L., & Sommer, S. G. (2011). Solid–liquid separation of animal slurry in theory and practice. In

Sustainable Agriculture Volume 2 (pp. 953-986). Springer, Dordrecht.The Netherlands

Kellogg, R. L., Lander, C. H., Moffitt, D. C., & Gollehon, N. (2000). Manure nutrients relative to the capacity of cropland and pastureland to assimilate nutrients. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service and Agricultural Research Service. NRCS and ERS GSA Publ. N.er nps 00-0579. Washington, D.C.: USDA.

Kunz, A., Steinmetz, R. L. R., Ramme, M. A., & Coldebella, A. (2009). Effect of storage time on swine manure solid separation efficiency by screening. *Bioresource technology*, 100(5), 1815-1818.

Metcalf, L.; Eddy, H.P. & Tchobanogolous, G. (2004). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. Mcgraw Hill, New York, 1889 pp.

Mukhtar, S., Sweeten, J. M., & Auvermann, B. W. (1999). Solid-liquid separation of animal manure and wastewater. Texas Agricultural Extension Service E-13 9-99. <http://tammi.tamu.edu/soild-liquidseparationE13> [1]

Pereira J., 2005. Manipulação de efluentes de bovinicultura: Pré-tratamento e aplicação ao solo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 152 pp.

Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Solera-Hernández, C. (2010). Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. *Journal of environmental management*, 91(10), 2051-2058.

Szogi, A. A., Vanotti, M. B., & Ro, K. S. (2015). Methods for treatment of animal manures to reduce nutrient pollution prior to soil application. *Current Pollution Reports*, 1(1), 47-56.

United States Department of Agriculture (2011). *Agricultural Waste Management: Field Handbook*. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=31481.wba>

5.2. Valorização de efluentes por compostagem

O crescimento populacional e económico mundial das últimas décadas tem obrigado a uma intensificação das explorações pecuárias e agrícolas para obtenção de alimento para a população. Desta forma, a quantidade de efluentes pecuários e subprodutos animais tem crescido e conseqüentemente os problemas ambientais. Ao utilizar estes subprodutos - estrumes, contribuimos para a redução dos seus impactes ambientais. O processo de compostagem aeróbia transforma-os em fertilizantes que ao serem reincorporados no solo, contribuem para uma economia circular.

Os estrumes deixam assim de ser um problema ambiental para as explorações pecuárias e passam a ser uma matéria-prima que vai ser transformada num fertilizante orgânico estável, higienizado, rico em matéria orgânica, ácidos húmicos e fúlvicos e nutrientes, com elevado potencial de valorização agronómica. O mesmo se passa com a biomassa utilizada no processo de compostagem, funcionando como uma fonte de carbono e estruturante do composto, contribuindo para a limpeza das matas e florestas, diminuindo o combustível disponível para incêndios, um problema atual resultante das alterações climáticas e também da estrutura silvícola em Portugal.

5.2.1. O processo de compostagem

É um processo de decomposição aeróbia controlada e de estabilização da matéria orgânica em condições de temperatura que favorecem o desenvolvimento dos microrganismos termófilos, com a obtenção de um produto final estável, higienizado, rico em compostos húmicos e cuja utilização no solo, promove a sua fertilidade sem oferecer riscos ao meio ambiente. O produto final, designado por composto, é um produto

estabilizado, higienizado e livre de substâncias fitotóxicas, benéfico para a produção vegetal (Zucconi Bertoldi, 1987; Brito, 2005).

Há vários fatores que influenciam a compostagem: microrganismos, relação C/N, temperatura, humidade, arejamento e granulometria dos materiais.

Microrganismos

Os principais nutrientes encontrados nos resíduos vegetais e animais estão na forma orgânica e são decompostos em diferentes estágios (Kiehl, 1985), com diferentes intensidades e por diferentes populações de microrganismos: fungos, bactérias, insetos e pequenos animais.

Relação C/N

Diversos investigadores afirmam que a relação C/N ideal para iniciar o processo de compostagem está entre 25/1 e 35/1 (Zucconi e Bertoldi, 1986; Lopez-Real, 1994; Fonget *et al*, 1999, Kiehl, 2004), uma vez que durante a decomposição, os microrganismos absorvem C e N da matéria orgânica na relação 30/1, sendo que das 30 partes de C assimiladas, cerca de 20 são eliminadas para a atmosfera (CO₂) e 10 são incorporadas no protoplasma das células.

No nosso caso, a fonte de azoto é fornecida pelos estrumes e a fonte de carbono tem origem na biomassa e serrim da cama dos animais.

Temperatura

A compostagem decorre em 3 fases: fase mesófila, termófila e de maturação.

Fase mesófila – fase inicial em que a temperatura aumenta na razão da atividade dos microrganismos aeróbios mesófilos atingindo rapidamente temperaturas de 40-45°C. São decompostas as substâncias de degradação mais fácil (hidratos de carbono, lípidos e proteínas) (Hoitink *et al*, 1997; Day

Shaw, 2005), dominando as bactérias mesófilas consumidoras destas substâncias (Hoitink *et al*, 1997).

Fase termófila – a temperatura atinge valores elevados que podem ir até 70°C higienizando o composto e eliminando agentes patogênicos e sementes de infestantes. Esta fase pode levar várias semanas por ação de microrganismos termófilos resistentes a elevadas temperaturas (bactérias termófilas, actinomicetes e fungos).

Fase de maturação – fase final que corresponde à diminuição da atividade microbiana, mais longa; as matérias orgânicas estabilizam-se e a temperatura atinge valores próximos da temperatura ambiente por ação dos microrganismos mesófilos (actinomicetes, bactérias e fungos mesófilos). Nesta fase, dá-se uma lenta e longa degradação das moléculas mais resistentes como a lenhina e formam-se moléculas complexas como os ácidos fúlvicos e os ácidos húmicos com crescente peso molecular (Brito, 2017).

Humidade

A humidade é indispensável para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos, sendo que o valor considerado ideal para a compostagem varia entre 50 e 60% (Stentiford, 1996; Rodrigues *et al*, 2006).

Teores abaixo deste valor diminuem a atividade microbiana e acima destes valores podem levar a condições de anaerobiose e lixiviação.

Arejamento

O arejamento é o fator mais importante no processo de decomposição de matéria orgânica (Peixoto, 1988), sendo classificado como o principal mecanismo capaz de evitar altos valores de temperatura durante o processo de compostagem, de aumentar a velocidade de oxidação, de diminuir a libertação de odores e reduzir o excesso de humidade de um material em decomposição (Pereira Neto, 1994; Kiehl, 2004).

Granulometria

A decomposição da matéria orgânica está relacionada com a superfície específica do material a ser compostado, sendo que quanto menor é a granulometria, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição (Kiehl, 1985; Keener e Das, 1996; Fernandes e Silva, 1999).

5.2.2. Caso de estudo - Compostagem de fração sólida de chorumes de bovino

Objetivos

O objetivo deste estudo foi verificar se diferentes tipos de manejo na produção de bovinos influenciam o processo de compostagem e a qualidade do fertilizante obtido. Nomeadamente, verificar se as diferenças na alimentação e na reutilização das camas em uma das explorações (B) provocam alterações significativas no estrume quando comparados com a segunda exploração (A) e por consequência no composto final.

As explorações foram-nos indicadas pela APCRf, parceira no projeto GO Efluentes, devido às características de gestão da produção nessas explorações e à sua proximidade do local de compostagem.

Material e métodos

O estrume de bovino foi proveniente de 2 explorações intensivas de vacas leiteiras de raça Frísia, designadas por exploração A e B. Ao dois estrumes foi adicionada 20% de biomassa e efetuada a avaliação do desenvolvimento do processo de compostagem durante 7 meses. Houve trituração e homogeneização dos lotes, viragem e crivagem final, monitorização de temperaturas e análises químicas, físicas e biológicas.

Em ambas explorações foi utilizada a fração sólida do chorume (FSC). Com base nos inquéritos efetuados, caracterizam-se sumariamente no Quadro 32 as explorações e as principais diferenças entre elas.

Os compostos finais foram posteriormente utilizados para os ensaios de valorização agronómica no INIAV (ponto 6.7.).

Quadro 32 – Principais características das explorações onde se procedeu à recolha da fração sólida de chorume para a compostagem

Exploração A	Exploração B
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efetivo leiteiro: 140 vacas ✓ Alimentação com adição de silagem e concentrado comercial, fenos e palhas em sistema de alimentação TMR com distribuição manual ✓ Sistema de separação dos estrumes sólidos/líquidos ✓ Cama de serrim 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efetivo leiteiro: 1000 vacas ✓ Produção de alimentos na exploração e sistema de alimentação TMR (Total mixed ration) com distribuição automática. ✓ Adição de granulados, silagem, palhas e fenos produzidos na exploração. ✓ Sistema de separação dos estrumes sólidos/líquidos ✓ Cama de serrim e reutilização da cama 2 a 3 vezes.



O processo de compostagem decorreu nas instalações da empresa Leal & Soares, SA (SIRO) na Zona Industrial de Mira.

A receção dos estrumes e biomassa foi efetuada de acordo com os procedimentos internos de controlo e pesagem.

Formaram-se 2 lotes de estrume aos quais foram adicionados 20% de biomassa para melhorar a estrutura, evitar a compactação e fornecer uma fonte de carbono. Os lotes tinham cerca de 200 m³/cada (160 m³ de

estrupe e 40 m³ de biomassa), foram homogeneizados, moídos e construídas pilhas de 4 m de altura com a forma trapezoidal. Trata-se de uma unidade industrial e estas quantidades mínimas representativas visam estabelecer as mesmas condições que são usadas pela empresa nos processos de processamento.

As máquinas e equipamentos utilizados no ensaio são propriedade da empresa: máquina de pá Volvo, retroescavadora Hitachi, trituradora Jenz e crivo Edge.

As temperaturas de compostagem foram monitorizadas e a sua evolução condicionou os reviramentos necessários. No final da compostagem, os lotes foram transportados para a zona de seleção e calibração, de forma a obter um produto com a granulometria de 0-20 mm.

Foram recolhidas amostras para análises físicas, químicas e biológicas durante o processo de compostagem. Este, iniciou-se no dia 20 de setembro de 2018 com a receção das primeiras cargas de estrupe e finalizou a 10 de abril de 2019. As principais operações realizadas apresentam-se na Figura 33.



Constituição dos lotes



Mistura



Trituração e homogeneização



Viragem durante a compostagem para arejamento



Crivagem no fim da compostagem, para obter uma granulometria 0-20 mm



Figura 33. Principais operações do processo de compostagem

Resultados e discussão

Foram retiradas no início, meio e fim da compostagem, amostras de estrume de ambos os lotes, da biomassa que se adicionou e do serrim aplicado nas camas dos animais, apresentando-se nos Quadros 33 e 34 as principais características desses materiais.

Quadro 33 – Principais características físico-químicas do substrato inicial e do composto final das explorações A e B

Parâmetro	Unidades	Exploração A		Exploração B	
		Início	Fim	Início	Fim
Humidade*	%	75,2	66,3	75,6	70,0
pH*		8,15	7,6	8,1	7,7
Condutividade*	mS/cm	2,38	1,80	1,59	1,20
MO	% na MS	71,2	52,4	68,9	55,4
C orgânico	% na MS	41,3	30,4	40	32,2
C/N		34,4	12,9	30,1	11,8
N total	% na MS	1,2	2,35	1,33	2,73
Azoto amoniacal*	mg/kg	86,9	17,5	405	2,5
Azoto nítrico*	mg/kg	1140	791	114	658
Azoto orgânico	% na MS	1,08	2,27	1,28	2,66
P ₂ O ₅	% na MS	0,67	0,65	0,67	0,66
K ₂ O	% na MS	1,29	0,88	0,96	0,74
Ca	% na MS	0,99	2,57	0,9	2,32
Mg	% na MS	0,35	0,25	0,28	0,30
SO ₃	% na MS	0,86	0,52	0,65	0,69
B	mg/kg MS	6	13	5,3	21,1
Fe	mg/kg MS	1330	1299	923	1365
Mn	mg/kg MS	925,1	132	988	153
Mo	mg/kg MS	0,55	0,69	0,81	0,9
Na	mg/kg MS	0,28	0,21	0,25	0,18
Cd	mg/kg MS	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Cr	mg/kg MS	1,5	2,0	<0,4	3,7
Cu	mg/kg MS	49,5	26,3	51,9	66,4
Ni	mg/kg MS	2,6	4,0	2,3	5,8
Pb	mg/kg MS	5,6	4,7	3,6	6,2
Zn	mg/kg MS	121,0	106,8	109,1	177,3
Maturação*	Classe	nd	V	nd	V
Ácidos hum	% na MS	nd	4,90	nd	6,80
Fúlvicos	% na MS	nd	1,09	nd	0,64
<i>E. coli</i> *	ufc/g	87000	< 10	18000	< 10
<i>Salmonella</i> *		Ausente em 25g	Ausente 25g	Positivo em 25g	Ausente 25g

*Os resultados referem-se aos valores obtidos na matéria fresca

Quadro 34 – Principais características físico-químicas da biomassa adicionada e do serrim aplicado nas camas dos animais

Parâmetro	Unidades	Biomassa	Serrim
Humidade	%	70,5	44,7
pH		6,6	5,0
Condutividade	mS/cm	0,34	0,06
C _{orgânico}	%	46,8	46,4
MO	%	80,7	80,0
C/N		88,3	2320
Azoto total	% na MS	0,53	0,02
P ₂ O ₅	% na MS	0,19	0,0087
K ₂ O	% na MS	0,52	0,083

As temperaturas foram monitorizadas ao longo da compostagem com o recurso a 3 sondas colocadas em diferentes locais da pilha de compostagem, tendo sido registados os valores constantes dos gráficos apresentados na Figura 34.

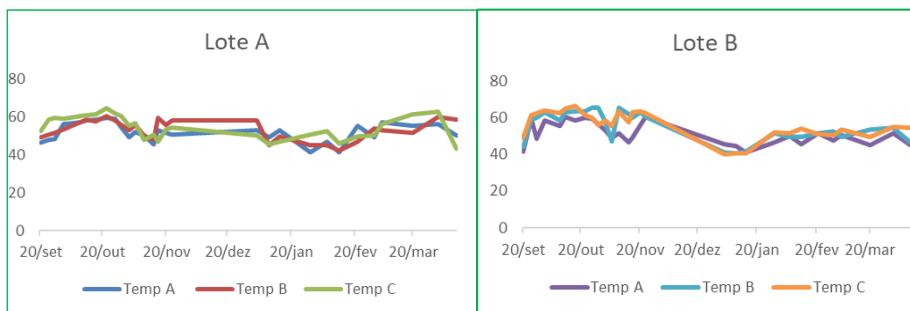


Figura 34. Valores de temperatura registados nas pilhas de compostagem das misturas com FSC provenientes das explorações A e B

Foram enviados big bags de cada lote para a Estação Zootécnica Nacional (INIAV) para efetuar os estudos de valorização agronómica.

Conclusões

O processo de compostagem dos dois lotes teve uma evolução de resultados conforme o esperado.

Durante a compostagem, sensivelmente metade da massa e do volume da pilha foi perdida com a decomposição dos materiais, perdendo-se parte do carbono na forma de dióxido de carbono. Houve diminuição do carbono orgânico, consequentemente da matéria orgânica e da relação C/N. Por outro lado, devido ao aumento da densidade causada pela redução da massa, aumentaram os teores de azoto em ambos os compostos.

Houve higienização dos compostos, devido à exposição prolongada a elevadas temperaturas resultantes da atividade microbiana passando de valores de 87000 e 18000 ufc/g para < 10 ufc/g, sendo negativa a deteção de Salmonella no composto final.

Obtiveram-se 2 fertilizantes estáveis, maturados, higienizados, com resultados muito semelhantes em vários parâmetros, mas destacando-se as seguintes diferenças:

- Valor superior de azoto total e orgânico no lote B;
- Teor superior de ácidos húmicos no lote B;
- Maior concentração de micronutrientes e metais pesados no lote B.

Os testes realizados em vasos no INIAV mostraram que o fertilizante orgânico obtido a partir de estrume de bovino, proporcionou maior rendimento à cultura de azevém, quando comparado com os tratamentos com fertilizantes minerais, comprovando-se o seu valor agronómico (ponto 6.7), contribuindo para uma agricultura mais sustentável, ecológica e favorecendo a economia circular.

5.2.3. Referências

Brito, L.M., Amaro, A. L., Fernandes, A. S. e Mourão, I. Influências físicas sobre características químicas na compostagem da fração sólida de chorume de bovinos leiteiros.

Brito, Luís Miguel (2017). Compostagem – Fertilização do Solo e Substratos.

Brito, Luis Miguel, Amaro, Ana Luisa, Mourão, Isabel e Coutinho, João (2008). Transformação da Matéria Orgânica e do Nitrogênio durante a compostagem da Fração Sólida do Chorume bovino.

Burés, Silvia (1997). Substratos

Miner, Javier Ansorena (1984). Sustratos – Propriedades y caracterización

Mustin, Michel (1987). Le Compost – Gestion de la Matière Organique

Sempiterno, Cristina (2016). Artigo na revista Vida Rural (maio 2016).

Compostagem

5.3. Digestão anaeróbia (digestão e codigestão)

Enquadramento

A necessidade de atenuar ou mitigar as alterações climáticas, em grande parte resultantes das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) associadas à utilização de combustíveis fósseis, têm levado à procura de novos modelos económicos baseados numa economia circular e à promoção das energias renováveis.

As energias renováveis assumem um papel preponderante para se alcançar a transição energética e a neutralidade carbónica, com metas ambiciosas para 2030, em matéria de redução das emissões de gases com efeito de estufa, de adoção de energias renováveis e de eficiência energética. No âmbito do Plano Nacional Energia e Clima (PNEC 2030) Portugal comprometeu-se a atingir uma incorporação de 47% de fontes renováveis no consumo final de energia, atingindo pelo menos 80% de renováveis na produção de eletricidade. A produção de bioenergia, a partir de bioresíduos como o chorume animal, é um dos caminhos a seguir para atingir as metas estabelecidas.

Por outro lado, a produção/gestão de chorume é responsável pela emissão de óxido nitroso e de metano, cujo poder de aquecimento global é, respetivamente, 265 e 28 vezes superior ao do dióxido de carbono. Para além do impacte ambiental associado às emissões atmosféricas, uma gestão inadequada do chorume pode levar à contaminação dos recursos hídricos e do solo, com azoto (em particular nitratos) e fósforo (Figura 35).

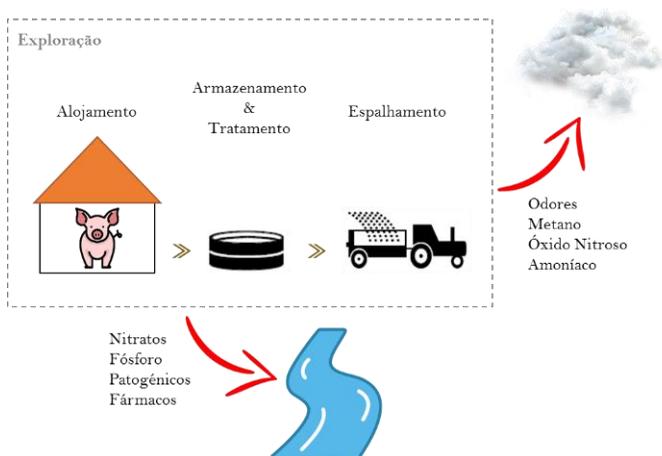


Figura 35. Possíveis rotas de contaminação associadas à produção animal

Assim, há que desenvolver estratégias de tratamento/valorização do chorume que eliminem ou mitiguem os potenciais impactes ambientais associados.

A produção de biogás pela tecnologia de **digestão anaeróbia (DA)** pode ter um papel fulcral na gestão e valorização de chorume, contribuindo para a mitigação de GEE e consequentemente para a diminuição do aquecimento global. A utilização do biogás/Bio-CH₄ pode fornecer a energia necessária com níveis de emissão de CO₂ inferiores a outras fontes convencionais, nomeadamente o carvão. Para além do biogás, o processo de DA dá origem a um digerido com poder fertilizante que, desde que devidamente estabilizado, pode ser reintroduzido no ciclo de produção agrícola promovendo a circularidade.

5.3.1. A tecnologia de digestão anaeróbia (DA)

A digestão anaeróbia (DA) é um processo biológico que ocorre naturalmente na ausência de oxigénio molecular (O_2), em que substratos orgânicos complexos são degradados em metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), e outros componentes minoritários, tais como sulfureto de hidrogénio (H_2S), monóxido de carbono (CO), e amoníaco (NH_3), entre outros gases vestigiais. A Figura 36 ilustra as etapas do processo biológico de DA.

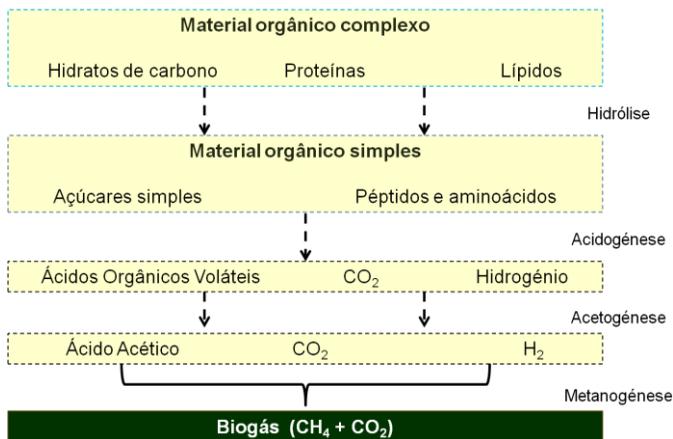


Figura 36. Etapas do processo biológico de DA (Li, Chen and Wu, 2019)

5.3.2. Práticas de manejo com impacto na produção energética por DA

A gestão da água numa unidade de produção pecuária tem implicações diretas na gestão do chorume animal. De facto, o desperdício de água

associado ao abeberamento e à ineficiência do processo de limpeza e higienização faz com que o chorume resultante esteja diluído. Por exemplo, em Portugal, em explorações suínolas de ciclo fechado é comum que o efluente resultante possua um teor de sólidos na ordem dos 2% (Neumann et al., 2020). Este facto cria constrangimentos à valorização do chorume por DA pois obrigará à existência de reatores de maior volume e o rendimento de produção de biogás estará condicionado pelo baixo conteúdo em matéria orgânica biodegradável.

Foi por este motivo que no âmbito do caso de estudo desenvolvido no GOEfluentes se avaliou a qualidade do chorume suíno gerado em ciclo fechado (CF), mas também da fase de engorda/acabamento (CEA). Os resultados obtidos permitiram concluir que o conteúdo em sólidos voláteis (matéria orgânica que se converte em biogás) do CEA poderá ser 3 a 5 vezes superior ao do chorume gerado em CF, o que conduzirá a um maior rendimento do processo de bioconversão.

Outro aspeto que influencia as características do chorume é o desperdício de ração. Dependendo do tipo de comedouro, há um maior ou menor desperdício de ração, que fica no pavimento e é recolhida juntamente com o chorume e águas de lavagem. Deste modo, o chorume terá um maior conteúdo orgânico, em particular de fibra e outros compostos cuja complexidade poderá dificultar o processo de digestão anaeróbia. Eventualmente, poderá ser necessário efetuar o pré-tratamento do efluente para tornar a matéria orgânica mais disponível para o processo de bioconversão.

Assim, antes da conceção e implementação da solução de valorização energética deve realizar-se um diagnóstico que permita identificar a melhor forma de gestão dos fluxos gerados.

O que é e quais as vantagens da codigestão anaeróbia (Co-DA)

O processo da codigestão anaeróbia consiste na utilização simultânea de dois ou mais substratos na mistura a digerir. Desta estratégia resulta o aumento da produção de biogás devido a sinergias positivas estabelecidas pelos substratos e pela presença de nutrientes necessários ao processo (Iacovidou *et al.*, 2012; Mata-Alvarez *et al.*, 2000).

O chorume animal é rico em azoto pelo que beneficiará da mistura com substratos com maior conteúdo em carbono, aumentando a razão C/N para valores próximos do ótimo (25). Por outro lado, a utilização do chorume confere uma boa capacidade tampão à mistura, permitindo a utilização de outros substratos que conferem carácter ácido e consequentemente poderiam comprometer o processo (Seppälä *et al.*, 2013).

5.3.3. Caso de Estudo: Avaliação do potencial da aplicação da DA a uma exploração suinícola - Abordagem desenvolvida ao longo do Projeto GoEfluentes

A **primeira etapa** foi selecionar uma exploração suinícola-tipo, que fosse considerada como modelo do setor para implementar novas práticas de gestão de efluentes pecuários, nomeadamente a valorização bioenergética e agrónómica dos fluxos gerados permitindo a sua circularidade.

A exploração suinícola selecionada foi a Herdade do Pessegueiro, operada pela empresa Valorgado – Agricultura e Pecuária, Lda. Localizada numa propriedade de 380 ha a cerca de 90 km de Lisboa, no concelho de Salvaterra de Magos, distrito de Santarém, estando inserida na região Alentejo (NUT II) e na sub-região Lezíria do Tejo (NUT III). A unidade tem capacidade para 997 porcas reprodutoras e 4501 lugares de engorda (Figura 37).



Figura 37. Imagem satélite da exploração da Herdade do Pessegueiro: 1 – Quarentena, 2 – Gestação, 3 – Maternidades, 4 – Engordas, 5 – ETAR, 6 – Lagoa. Fonte: Valorgado

A **segunda etapa** foi fazer a caracterização da situação de referência relativamente à gestão do chorume produzido, identificando as práticas e procedendo à recolha de amostras, não só amostra composta do chorume gerado em ciclo fechado (CF), mas também da fase de engorda/acabamento (CEA) (Figura 38).

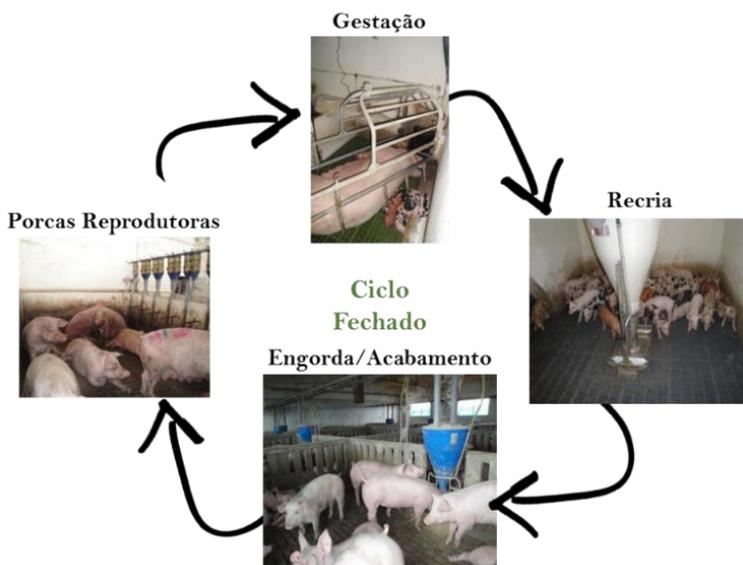


Figura 38. Fases de Produção em Ciclo-Fechado

A caracterização físico-química destas amostras permitiu determinar parâmetros-chave para a avaliação do potencial bioenergético do chorume gerado nas diferentes fases do ciclo de produção. O objetivo era identificar a fase que permita maximizar a recuperação de bioenergia.

Os resultados obtidos na etapa dois permitiram concluir que se deveria selecionar o chorume de CEA para aumentar a eficiência do processo de digestão anaeróbia. O seu conteúdo em sólidos voláteis pode ser cerca 3 a 5 vezes superior ao do chorume gerado em CF, o que conduzirá a um maior rendimento do processo de bioconversão.

Assim, a **terceira etapa** contemplou a realização de ensaios de DA à escala laboratorial, utilizando numa primeira fase o chorume de CF e posteriormente o de CEA. Para tal, recorreu-se a uma unidade piloto

constituída por um reator semi-contínuo de mistura completa, com volume útil de 4,80 L, em condições de mesofilia ($36 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) onde o gás produzido foi armazenado, como se encontra esquematizado na Figura 39 e ilustrado na Figura 40.

Os ensaios foram realizados ao longo de 36 meses tendo-se avaliado a influência da variação de alguns parâmetros operacionais, nomeadamente da taxa de carga orgânica (OLR) - quantidade de sólidos voláteis (SV) que se aporta no caudal de alimentação fornecido ao reator; e do tempo de retenção hidráulico (TRH); e como *output* a produção específica de biogás (SGP) e de biometano (SMP).

Para avaliar a estabilidade e desempenho do processo de DA, determinaram-se vários parâmetros entre os quais o pH do digerido, a percentagem de remoção de matéria orgânica expressa em sólidos voláteis, a razão entre a alcalinidade intermédia e a alcalinidade em bicarbonatos (AI/AB) e o SELR (*Specific Energy Loading Rate*) – a razão entre a carga orgânica da alimentação diária e a quantidade de biomassa no interior do reator.

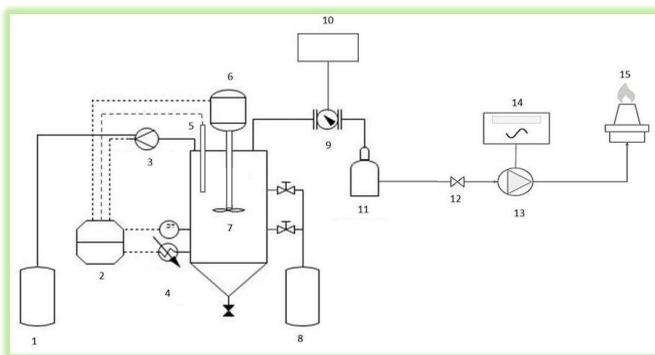


Figura 39. Diagrama da unidade piloto.

Legenda: 1 – Entrada de alimentação, 2 – Controlador, 3 – Bomba de alimentação, 4 – Sistema de aquecimento, 5 – Sensor de temperatura, 6 – Agitador, 7 – Reator, 8 – Saída do digerido, 9 – Medidor do fluxo de biogás, 10 – Analisador portátil de biogás, 11 – Sistema de

armazenamento de biogás, 12 – Bomba de alimentação do biogás, 13 – Válvula de segurança, 14 – Gerador de tensão, 15 – Queimador de Bunsen.

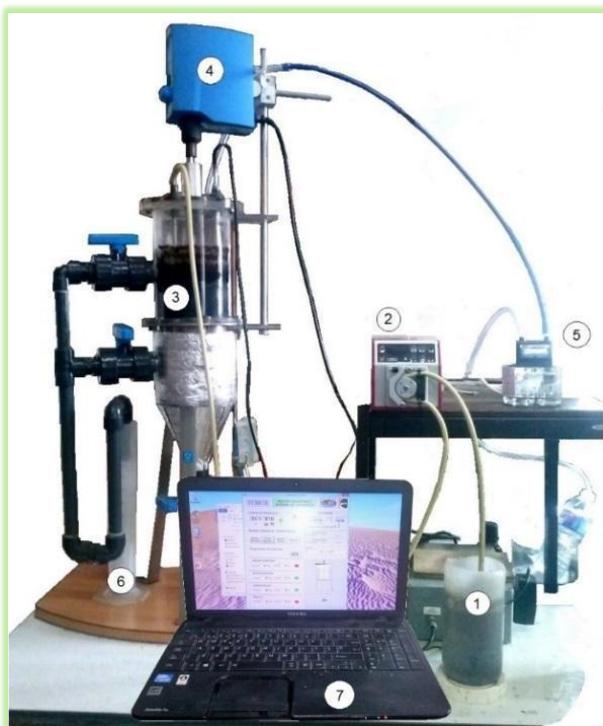


Figura 40. Fotografia da unidade piloto de digestão anaeróbia

Legenda: 1 – Entrada de alimentação, 2 – Bomba de alimentação, 3 – Reator, 4 – Agitador, 5 – Medidor de fluxo de biogás, 6 – Saída do digerido, 7 – Sistema de painel de controle.

No que se refere ao TRH, verificou-se que a adoção de 16 dias constitui o melhor compromisso para maximizar o rendimento do processo e minimizar o volume de reator necessário.

Os ensaios experimentais desenvolvidos abrangeram valores de OLR na gama de $0,78 \pm 0,10 \text{ g}_{\text{SV}} \text{ L}_{\text{Reator}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (CF) e $1,50 \pm 0,02 \text{ g}_{\text{SV}} \text{ L}_{\text{Reator}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (CEA) com o objetivo de maximizar a produção de biogás/biometano.

Para as condições otimizadas, a taxa de produção de biogás foi de $225 \pm 10 \text{ mL L}_{\text{reator}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para o CF e $690 \pm 9 \text{ mL L}_{\text{reator}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para o CEA, com um conteúdo em metano de 63% para o CF e de 71% para o CEA. Correspondendo a um aumento de cerca de três vezes, quando comparado o CEA com o CF.

No que se refere aos parâmetros indicadores da estabilidade do processo, a razão AI/AB ($0,242 \pm 0,009$ para o CF e $0,273 \pm 0,012$ para o CEA) manteve-se abaixo do valor limite recomendado (0,3). O SELR obtido ao longo dos ensaios ($0,202 \pm 0,010 \text{ d}^{-1}$ para o CF e $0,296 \pm 0,030 \text{ d}^{-1}$ para o CEA) manteve-se sempre abaixo do valor máximo recomendado de $0,4 \text{ d}^{-1}$, indicando que há margem para um aumento da carga orgânica de alimentação. Por último, o pH do digerido ($7,4 \pm 0,2$ para o CF e $7,8 \pm 0,1$ para o CEA) e a remoção de sólidos voláteis (52,3% para o CF e 54,3% para o CEA) também suportam a estabilidade do processo.

A **quarta etapa** do trabalho foi calcular o potencial bioenergético para os cenários de CF e CEA, objetos de estudo. Uma vez que na exploração a fonte de energia usada é a elétrica, assumimos para os cálculos um cenário de co geração (CHP) em que o biogás gerado é convertido em energia elétrica. Deste modo, determinou-se a **produção específica de energia elétrica – E_p** (kWh obtido por kg de sólidos voláteis fornecidos) a partir da produção média diária de biogás, de acordo com os resultados obtidos na etapa três, e respetivo conteúdo em metano, tendo em conta a eficiência da CHP. Concluiu-se que o valor de E_p referente ao CF foi de $1,68 \text{ kWh kg}_{\text{SV}}^{-1}$, enquanto o E_p do CEA foi de $3,15 \text{ kWh kg}_{\text{SV}}^{-1}$, correspondendo a um incremento de cerca de duas vezes (Figura 41).

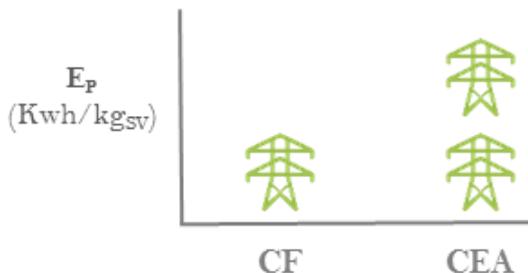


Figura 41. Comparação da produção específica de energia elétrica (EP) correspondente aos ensaios com chorume de ciclo fechado (CF) e da fase de engorda/acabamento (CEA) realizados à escala laboratorial

Na **última etapa** estimou-se o potencial bioenergético para implementação à escala real, assumindo os seguintes pressupostos:

- os resultados obtidos à escala laboratorial (etapa três);
- recurso à informação fornecida relativamente à exploração suinícola da Valorgado (efetivo animal, retirado da Declaração de Existências de Suínos de abril de 2021; estimativa do efluente gerado para cada um dos cenários, com base no código de boas práticas agrícolas).

A estimativa do potencial bioenergético, bem como dos benefícios económicos previstos, suporta a tomada de decisão para contribuir para a transição energética. A estimativa efetuada para o cenário CEA considerou dois níveis de desempenho:

1. **nível otimizado**, em que há um uso eficiente da água e o efluente alimentado ao reator teve um tempo de armazenamento curto, não sofrendo degradação relevante. Para estas condições a OLR pode atingir valores na ordem das $4,0 \text{ kg}_{\text{SV}} \text{ m}^{-3} \text{ Reator d}^{-1}$;

2. **nível conservador**, em que o efluente gerado tem um teor de sólidos mais baixo e já sofreu alguma degradação, em que a OLR será de $1,5 \text{ kg}_{\text{SV}} \text{ m}^{-3} \text{ Reator d}^{-1}$.

Concluiu-se que, para o cenário de utilização do efluente do CF seria possível obter 838 MWh ano^{-1} , e caso a estratégia de gestão fosse segregar o CEA poderia obter-se 978 MWh ano^{-1} para o nível otimizado (Figura 42). Considerando que a exploração consome anualmente 240 MWh de energia da rede elétrica, verifica-se que a implementação da DA permitiria tornar a exploração autossuficiente em termos energéticos.

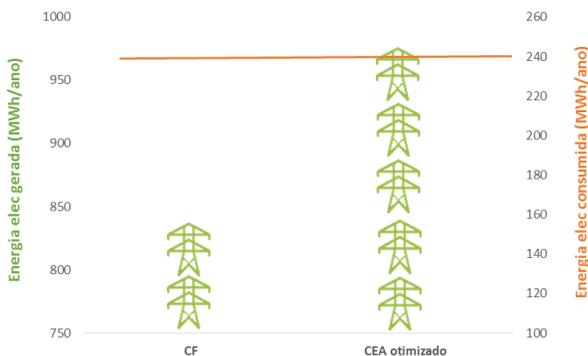


Figura 42. Comparação do potencial bioenergético para o cenário com chorume de ciclo fechado (CF) e da fase de engorda/acabamento (CEA) à escala real.

Apesar de haver um excedente de energia em todos os cenários, é importante referir que a utilização de CEA traz outro benefício económico associado ao menor investimento necessário, já que para esse caso o volume do reator será 8 vezes inferior. Já o cenário de tratamento do efluente de CF tem o constrangimento do reduzido teor de sólidos deste

tipo de efluente que tornará a solução pouco sustentável em termos económicos.

Assim, recomenda-se que a metodologia descrita seja adotada para outras explorações por forma a suportar a tomada de decisão para a transição energética, devendo ser complementada por uma análise de custo-benefício.

Conclusões

O trabalho desenvolvido ao longo do projeto GoEfluentes permitiu demonstrar que a tecnologia de DA pode contribuir para a circularidade do bioresíduo gerado em explorações suinícolas, promovendo o conceito de bioresíduos-zero e, simultaneamente, reduzindo os potenciais impactes ambientais associados à atividade.

Verificou-se que o chorume proveniente da fase de engorda/acabamento apresenta um conteúdo de sólidos voláteis superior ao chorume do ciclo fechado. Por este facto, foi possível obter uma produção diária de metano 13% superior, bem como uma maior produção específica de metano (cerca de duas vezes superior), em relação ao cenário de referência (chorume de ciclo fechado).

O atual contexto criado pela **Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais 2030** (ENEAPAI) é favorável ao desenvolvimento de soluções de tratamento de efluentes pecuários que apresente uma visão integradora e alinhada com os princípios da bioeconomia circular. Por outro lado, as medidas legislativas propostas no sentido de acelerar a transição energética irão criar oportunidades de investimento em energias renováveis, sendo importante que as explorações pecuárias não deixem passar esta oportunidade. De referir ainda que, a ação climática é um ponto central do **Pacto Ecológico Europeu** (*Green Deal*) que pretende impulsionar a utilização eficiente de recursos através da promoção da economia circular. Para atingir este objetivo haverá

5.3.4. Exemplos internacionais da aplicação da DA a efluentes pecuários

De forma não exaustiva, apresentam-se de seguida alguns exemplos da implementação da tecnologia de DA à escala industrial, no sentido da valorização de efluentes pecuários.

Brasil

No contexto brasileiro a DA é vista como uma oportunidade, existindo as condições técnicas e económicas para explorar esta tecnologia utilizando os efluentes suínolas como substrato.

O município de Entre Rios do Oeste é o quarto maior produtor de suínos do estado do Paraná, com 19 propriedades suínolas, num total de 155 mil suínos. O projeto desenvolvido na cidade teve como objetivo a produção de energia elétrica a partir de biogás gerado em suiniculturas. A rede coletora de gás transporta o biogás das propriedades rurais (unidades produtoras) para uma minicentral termoelétrica de 480 kW de potência. A unidade de DA tem capacidade de tratar diariamente 215 t de chorume, produzindo 4.600 m³/dia de biogás, com uma geração de 3.000 MWh/ano de energia elétrica. A energia elétrica produzida abastece vários prédios públicos do município, mas o objetivo é que toda a população tenha acesso à energia limpa produzida com o biogás local.

A propriedade Granja de São Pedro, localizada em São Miguel do Iguazu, tem cerca de 5.000 suínos e 350 bovinos, e utilizam o biofertilizante obtido como produto final da DA para fertilização de pastagens. A elevada produção de suínos aliada à necessidade de encaminhar corretamente os efluentes gerados, levou à adoção da tecnologia de DA para obter biogás e gerar energia elétrica na propriedade. Assim, a propriedade passou a produzir diariamente 1.000 m³ de biogás, destes 810 m³ são consumidos

pelo gerador, correspondendo a 1.260 kWh de energia elétrica e os restantes queimados numa tocha.

Estados Unidos da América

A tecnologia de DA está implementada em várias explorações de vacas leiteiras nos Estados Unidos da América. Em Berkshire County (Massachusetts), a Pine Island Farm tem aproximadamente 1.000 cabeças de gado Holstein e produz anualmente cerca de 6000 m³ de leite. Desde 2011, que passou a usar o chorume gerado como substrato na digestão anaeróbia, complementado com 8-10% de soro de leite gerado em excesso por um produtor de laticínios da zona.

A unidade de cogeração tem capacidade de geração elétrica de 225 kW, e o processo de bioconversão gerou mais de 1,1 GWh de eletricidade renovável logo nos primeiros oito meses de operação. A energia elétrica produzida cobre todas as necessidades de eletricidade da exploração, sendo o excedente vendido à rede. A energia térmica é usada para aquecer água e o digestor.

Outro exemplo é a AGreen Energy, LLC, que juntou cinco explorações de vacas leiteiras numa visão comum de gestão de chorume. Cada exploração tem uma unidade de DA a operar em co-digestão, por exemplo para uma delas, para além do chorume (cerca de 9 kt ano⁻¹) usam-se resíduos orgânicos separados na origem em várias empresas alimentares locais (cerca de 16,5 kt ano⁻¹). A referida instalação tem capacidade de 300 kW e estima-se que gera 2,24 GWh de eletricidade por ano, o suficiente para abastecer as explorações e 300 casas. A fração sólida do digerido é usada para a cama dos animais e a fração líquida como fertilizante.

Bélgica

Na Bélgica há vários exemplos de unidades de DA que processam chorume animal. Um exemplo é a unidade existente em Bree, na província de

Limburg, que é caracterizada pela pecuária intensiva. A unidade, a funcionar desde 2013, opera em regime mesofílico e usa 30% de chorume de suínos (recolhido num raio de até 20 km) e 70% resíduos agroindustriais. Anualmente a unidade processa 25 kt de chorume, 26 kt de resíduos agrícolas e 34 kt de outros resíduos biodegradáveis (ex. lama de ETAR).

O chorume de suíno é previamente desidratado e é digerido num digestor dedicado, obtendo-se 4,2 kt de digerido/ano que após secagem corresponde a 1,5-2 kt. Os resíduos agroindústrias são digeridos em 3 digestores, gerando 43 kt de digerido/ano que é sujeito a centrifugação obtendo-se uma fração líquida (37 kt/ano) com 60% do P_2O_5 , 80-90% do N e 90-95% do K_2O ; e uma fração sólida (6 kt) com 80-85% de matéria seca. Ambas as frações são usadas nas próprias terras (100 ha) ou cedidas a agricultores. Importa salientar que as características do digerido (elevada viscosidade) tornam o processo de centrifugação pouco eficiente no que se refere à recuperação de P para a fração sólida (apenas 40%) e com um custo elevado de operação devido à necessidade de uso de um polímero para floculação.

Do processamento anual das 85 kt resultam 12 Mm^3 de biogás (com cerca de 58% de metano) que é convertido por CHP em 28 GWh de eletricidade e calor. Da eletricidade produzida, 6% é usada na unidade e 94% é injetada na rede. Todo o calor gerado é usado para desidratar o chorume e secar o digerido.

O exemplo da Bélgica, que fez uma aposta na Co-Digestão, poderá servir de inspiração para a conceção de um cenário futuro para o sector suinícola em Portugal.

O Quadro 35 apresenta mais alguns exemplos de aplicação da tecnologia de DA ao setor de produção animal intensiva.

Quadro 35 – Explorações ou fornecedores com aplicação da tecnologia de DA ao setor de produção animal intensiva

Exploração ou fornecedor	País	Substrato/Co-substrato
Purines Almazán, S.L.	Espanha	Chorume suíno
BIOGAZ Hochreiter	França	Chorume/bioresíduos, culturas energéticas
IVACO	Bélgica	Chorume suíno/culturas energéticas
Clovermead farms	Canadá	Chorume vacas leiteiras
Cooperativa Agro-Energia	Brasil	Chorume vaca
Peruvian Amazon	Perú	Chorume suíno e equino
DA de Yucatan Peninsula (solução comunitária, 44 explorações)	México	Chorume suíno

5.3.5. Referências

Artigos científicos

Azevedo, A., Gominho, J., and Duarte, E. (2021). Performance of anaerobic codigestion of pig slurry with pineapple (ananas comosus) bio-waste residues. *Waste Biomass Valor.* 12, 303–311.

<https://doi.org/10.1007/s12649-020-00959-w>

Duarte, E., Fragoso, R., Smozinski, N., and Tavares, J. (2021). Enhancing bioenergy recovery from agro-food biowastes as a strategy to promote circular economy. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.* 9:1080320.

<https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0320>

Ferreira L., Duarte E., Figueiredo D. (2012) Utilization of wasted sardine oil as co-substrate with pig slurry for biogas production - A pilot experience of decentralized industrial organic waste management in a Portuguese pig farm. *Bioresource Technology.* 116. 285-289.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.063>

- Li, Y.; Chen, Y.; Wu, J. (2019) Enhancement of methane production in anaerobic digestion process: A review. *Applied Energy*. 240. 120-137. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.243>
- Neumann, N.F., Neumann, L.A., Belli Filho, P., Tavares, J.M.R. (2020). Efficiency of water use for dairy cattle production in Brazil. *Water Supply*, 20, 459-468. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.176>
- Santos, L.D.dos., Mayerie, S.F., Tavares, J.M.R., Schindwein, S.L. (2020). Optimization of a system for collection, transport and processing of pig manure into biofertilizer and biogas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9, 883-910. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020883-910>
- Silva, I., Jorge, C., Brito, L., Duarte, E. (2021) A pig slurry feast/famine feeding regime strategy to improve mesophilic anaerobic digestion efficiency and digestate hygienisation. *Waste Management & Research*. 39 (7). 947-955. <https://doi.org/10.1177/0734242X20972794>
- Sousa, Sílvia & Duarte, Elizabeth & Mesquita, Marta & Saraiva, Sandra. (2021). Energetic Valorization of Cereal and Exhausted Coffee Wastes Through Anaerobic Co-digestion With Pig Slurry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.642244>
- Tavares, J.M.R., Belli Filho, P., Coldebella, A., Oliveira, P.A.V.d. (2014). The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. *Livestock Science*, 169, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.09.006>

Livros

Souza, J.C.P.V.B., Oliveira, P.A.V.d., Tavares, J.M.R., Belli Filho, P., Zanussi, C.d.M.S., Tremea, S.L., Piekas, F., Squezzato, N.C., Zimmermann, L.A., Santos, M.A., Amaral, N.d. 2016. *Water management in pig farms*. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia/SC, Brazil, 32 pp.

Links

Propriedades suinícolas de Entre-os-Rios do Oeste e propriedade Granja de São Pedro: <https://cibiogas.org/>

Pine Island Farm: <https://pineislandfarmdigester.com/>

AGreen Energy, LLC:

<http://biomassmagazine.com/articles/2358/massachusetts-dairy-farmers-form-agreen-energy>

Unidade de Bree:

<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bb160f6b&appId=PPGMS>

Purines Almazán, S.L.:

https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/4presentacionnadiaahag_omerkerr_tcm30-108243.pdf

BIOGAZ Hochreiter: <https://www.biogaz-hochreiter.fr/>

IVACO: <https://www.biogas->

[e.be/sites/default/files/attachments/pocketdigestion_brochure.pdf](https://www.biogas-e.be/sites/default/files/attachments/pocketdigestion_brochure.pdf)

Clovermead farms: <https://www.2g-energy.com/media/2117/clovermead.pdf>

Cooperativa Agro-Energia: <https://www.oikos.pt/o-que-fazemos/vida-sustentavel/projectos-de-vida-sustentavel/item/245-5a24>

5.4. Uso de aditivos

O tratamento de estrumes animais com a utilização de aditivos tem o objetivo da alteração das características dos efluentes para a redução das emissões gasosas de NH_3 e de GEE e o aumento da eficiência da sua utilização pelas culturas. Entre as melhores práticas disponíveis no que respeita ao tratamento de chorumes por aditivos inclui-se a utilização de substâncias acidificantes, os inibidores da nitrificação, o biochar e o uso crescente de aditivos biológicos. A aplicação destas substâncias é realizada em diferentes momentos do ciclo do efluente em função da sua atuação, do tipo de composto gasoso que se pretende controlar e de outras práticas de gestão do efluente que possam condicionar a eficácia da sua atuação.

5.4.1. Acidificação de chorumes

A acidificação de chorumes é considerada uma das práticas mais eficazes para a redução da volatilização de amoníaco em todas as etapas de gestão do efluente. A acidificação pode ocorrer logo após a excreção de dejeções no estábulo, durante o armazenamento ou na distribuição ao solo. O pH atingido na acidificação varia, em geral, entre o valor de 4,5 e 6,5, dependendo do tipo de efluente, do momento da acidificação e da substância acidificante utilizada (Fangueiro et al. 2015a). A acidificação inicial logo no estábulo apresenta a vantagem do controlo da emissão de NH_3 até à distribuição do efluente no solo. Contudo, devido ao poder tampão do chorume poderá ser necessária a repetição do tratamento várias vezes e correspondente aumento da quantidade de substância acidificante. No extremo oposto a acidificação apenas no momento da distribuição ao solo requer menores quantidades de aditivo acidificante. Um aspeto de grande importância na operação de acidificação é a homogeneidade conseguida durante a realização do processo, pelo que é fundamental garantir uma mistura eficiente (agitação do tanque) e existir um

equipamento de controlo do valor de pH que se vai obtendo (Figura 44). Nos estábulos com fossas interiores ou valas por baixo de pavimento em ripado, a acidificação deve ser efetuada num tanque exterior sendo de seguida o efluente tratado bombeado novamente para as fossas ou valas por forma a que os novos dejetos ao serem incorporados fiquem logo num meio ácido. O ácido sulfúrico, pelo seu baixo custo, é o aditivo acidificante mais comum, podendo também ser utilizados o ácido nítrico, o ácido clorídrico, o ácido láctico e sais de alumínio (cloreto e sulfato) ou o superfosfato (Fangueiro et al. 2015a), embora o último seja de evitar quando o chorume se destine a ser aplicado em solos já ricos em fósforo.



Figura 44. Unidade de controlo da adição de ácido sulfúrico e monitorização de pH de chorume na fase de armazenamento exterior ou interior de instalações pecuárias

A acidificação de chorumes permite uma redução máxima potencial da volatilização de NH_3 de 70, 90 e 80 % respetivamente em estábulos, no armazenamento e na aplicação ao solo do chorume (Feilberg and Sommer,

2013). Relativamente aos gases com efeito de estufa, a acidificação durante o armazenamento reduz a emissão de metano (CH_4) mas apresenta um efeito menos notório sobre a emissão de óxido nítrico (N_2O), com alguns estudos a referirem o aumento da emissão (Kupper et al., 2020). Já a aplicação ao solo de chorumes acidificados (Figura 45) reduz em pelo menos 50% as emissões de CH_4 (Fangueiro et al. 2015b) e de N_2O (Owusu-Twum et al. 2016), comparativamente a chorumes não acidificados.



Figura 45. Cisterna com dispositivo de acidificação de chorume no momento de aplicação ao solo. A adição do ácido ocorre dispositivo que está montado no topo da cisterna (câmara de acidificação). O ácido é transportado num tanque protegido que está montado na frente do trator (fotografia encastrada no canto inferior direito)

5.4.2. Inibidores da nitrificação

Inibidores da urease são compostos que impedem ou retardam a oxidação biológica de amónio a nitrato por bloquearem a atividade das bactérias *Nitrosomonas* spp. as quais são responsáveis pela primeira etapa da nitrificação correspondente à oxidação de amónio a nitrito (Zerulla et al.

2001). Esses inibidores permitem assim reduzir a formação de nitrato (NO_3^-) a partir amónio presente nos efluentes animais e consequentemente reduzir as perdas de nitratos por desnitrificação e por lixiviação. Os inibidores mais utilizados com os chorumes são o DCD (Diciandiamida) e o DMPP (3,4-dimetilpirazol fosfato). A aplicação destes inibidores é efetuada por mistura prévia com os efluentes contendo amónio numa dose calculada com base na área (por ha) ou com base na concentração de N-amoniaco do efluente, tendo o inibidor DMPP demonstrado ser mais eficaz do que o DCD (Pereira et al. 2010).

A aplicação dos inibidores da nitrificação pode resultar num pequeno aumento das perdas de azoto por volatilização de amoníaco, aspeto pouco relevante comparado com a redução das perdas de N por desnitrificação (N_2 e N_2O) e por lixiviação de nitrato. Por outro lado, a redução da conversão de amónio a nitrato tem forte implicações no valor agronómico dos chorumes, especialmente em momentos de elevada precipitação (Outono-Inverno). A adição de DCD e de DMPP a chorumes bovinos aplicados à instalação de culturas forrageiras de Outono-Inverno nas condições climáticas de Portugal continental permitiu aumentos de produção de biomassa e de exportação de azoto (Fangueiro et al., 2009; Owusu-Twum. 2016).

5.4.3. Biochar

O biochar é obtido por um processo de pirólise em reatores com temperaturas entre os 200 e os 1000 °C (raramente são empregues temperaturas > 700 °C), a partir de materiais orgânicos como resíduos lenhosos, estrumes animais sólidos ou outros subprodutos (feno, palha, bagaços, casca de arroz; o biochar é um produto possuindo genericamente baixa densidade, elevada porosidade, grande capacidade de retenção de água e de nutrientes e, consequentemente, de interesse no tratamento de

efluentes animais (Kalus et al., 2019; Khan et al., 2021). As características do biochar variam em função dos materiais de origem, da temperatura de pirólise e da duração do processo. O aumento da temperatura de pirólise origina biochar com maior concentração de C, menor densidade e maior porosidade e superfície específica, enquanto que, o aumento do tempo de pirólise aumenta a concentração em C e a superfície específica (Qambrani et al., 2017).

O Biochar pode ser utilizado como aditivo com objetivos ambientais e agronômicos no tratamento de chorumes e estrumes, durante o armazenamento, na compostagem ou aquando da aplicação ao solo desses materiais. Os principais efeitos observados pela sua adição (Quadro 36) incluem a redução da volatilização de NH_3 , das emissões de gases com efeito de estufa e de compostos responsáveis por maus odores. Adicionalmente aos efeitos observados sobre a redução de emissões gasosas que possam ocorrer a partir de efluentes animais, o biochar permanece no solo por milhares de anos, sendo considerado método efetivo de sequestro de carbono a longo prazo (Qambrani et al., 2017). O biochar pode ainda beneficiar os compostados e o solo, pelo seu pH elevado, capacidade de fornecer e adsorver nutrientes, nomeadamente amónio reduzindo os riscos da sua perda, fornecer habitat aos microrganismos e a possibilidade de melhorar a capacidade dos solos e compostados em adsorver hidrocarbonetos poliaromáticos, pesticidas e herbicidas e, em consequência, influenciar a toxicidade, transporte e destino destes contaminates (Amin et al., 2016).

Quadro 36 – Efeito sobre diferentes emissões gasosas pela adição de biochar a efluentes animais (adaptado de (Kalus et al., 2019)

Autores	Efluente animal tratado	Origem do Biochar	Dose do Biochar	Efeito
Brennan et al. [39]	Chorume bovino	Fitas de madeira	12% (v/v) chorume bovino	Redução de 77% da emissão de NH ₃ Redução de 63% da emissão de N ₂ O Redução de 84% da emissão de CO ₂
Maurer et al. [40]	Chorume suíno	Madeira de pinho	1,14 a 4,56 m ² de superfície de efluente	Redução até 23% da emissão de NH ₃ Redução até 30% da emissão de H ₂ S Redução até 24% da emissão de CH ₄
Steiner et al. [41]	Compostagem de camas de frango	Aparas de pinho	5 e 20% (m/m) de camas de frango	Redução de 58% da emissão de NH ₃ Redução de 71% da emissão de H ₂ S
Janczak et al. [43]	Compostagem de camas de frango e palha	Aparas de salgueiro	5 e 10% (m/m) de mistura de camas de frango/palha de trigo	Redução até 44% da emissão de NH ₃
Wei et al. [44]	Compostagem de camas de frango e resíduos	Biochar comercial	1% (m/m) de mistura de camas de frango/palha de tomate	Melhoria das características físico-químicas e da atividade microbiana do compostado
Czekala et al. [45]	Compostagem de camas de frango e palha	Madeira	5 e 10% (m/m) de mistura de camas de frango/palha de trigo	Redução da fase termófila Aumento da temperatura de compostagem Aumento até 7,4% da emissão de CO ₂
Agyarko-Mintah et al. [46]	Compostagem de camas de frango e palha	Resíduos verdes/cama de frango	10 % (m/m) de mistura de camas de frango/palha de trigo	Redução até 75% da emissão de N ₂ O Retenção de até 40% do N total no compostado

5.4.4. Aditivos biológicos

O uso de aditivos biológico para o tratamento de efluentes animais tem sido recomendado com alguma precaução uma vez que a comprovação dos seus efeitos continua a ser investigada. Os aditivos biológicos são constituídos por estirpes de microrganismos e por enzimas que degradam alguns dos compostos dos efluentes modificando a suas características químicas e a sua composição e alterando assim o seu comportamento ambiental e o seu valor fertilizante (McCrory and Hobbs, 2001). Os aditivos biológicos podem ser utilizados quer em chorumes quer durante o processo de compostagem. Owuso-Twum (2016) ao rever os efeitos dos aditivos biológicos sobre as emissões de amoníaco conclui que a sua eficiência na redução das emissões é influenciada pela sua composição, pela dose de aplicação e pela composição do efluente, podendo a sua ação ser vantajosa em algumas situações como seja a adição a chorumes com elevadas concentrações de matéria seca. Num outro estudo, o mesmo autor (Owuso-Twum et al., 2017) conclui que o uso de aditivos biológicos com o objetivo de redução das emissões gasosas (NH_3 , CH_4 , CO_2 e N_2O) não foi confirmado, embora tenha sido observada uma tendência para a redução da volatilização de NH_3 (menos 20%) quando os efluentes tratados com aditivos biológicos foram aplicados ao solo (Figura 46).

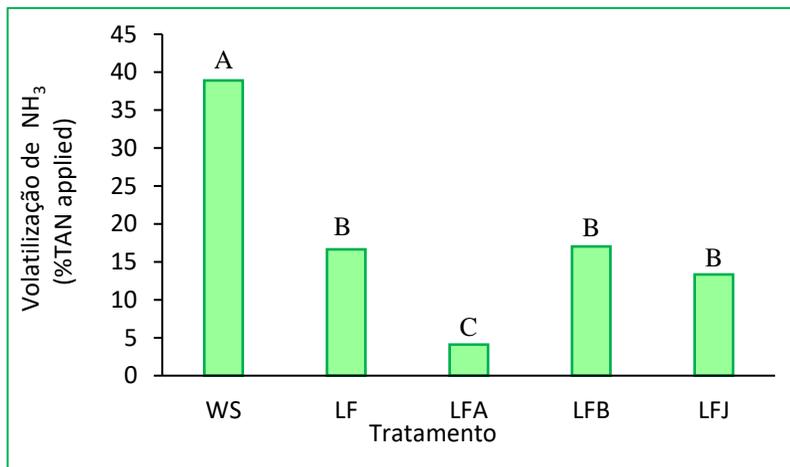


Figura 46. Perda acumulada de NH₃ após aplicação ao solo de efluentes bovinos tratados por diferentes métodos; descrição dos tratamentos: WS – Chorume bruto; LF – Fração líquida; LFA – Fração líquida acidificada; LFB- Fração líquida aditivada com uma formulação líquida de microrganismos e enzimas, e; LFJ - Fração líquida aditivada com uma formulação líquida de microrganismos (adaptado de Owuso-Twum et al., 2017).

Relativamente ao efeito dos aditivos biológicos utilizados em simultâneo com os efluentes, vários autores referem a vantagem da sua utilização no aumento da produção das culturas e no incremento do valor agronómico dos efluentes (Khaliq et al., 2006; Hu et al., 2013).

5.4.5. Referências

Agyarko-Mintah, E.; Cowie, C.; Singh, P.S.; Joseph, S.; van Zwieten, L.; Cowie, A.; Harden, S.; Smillie, 2017. R. Biochar increases nitrogen retention and lowers greenhouse gas emissions when added to composting poultry litter. *Waste Manag.*, 61, 138–149.

- Amin, F.R.; Huang, Y.; He, Y.; Zhang, R.; Liu, G.; Chen, C. 2016. Biochar applications and modern techniques for characterization. *Clean Techn Environ Policy*, 18:1457–1473. DOI 10.1007/s10098-016-1218-8
- Brennan, R.B.; Healy, M.G.; Fenton, O.; Lanigan, G.J. 2015. The Effect of Chemical Amendments Used for Phosphorus Abatement on Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Dairy Cattle Slurry: Synergies and Pollution Swapping. *PLoS ONE*, 10, e0111965.
- Czekała, W.; Malińska, K.; Cáceres, R.; Janczak, D.; Dach, J.; Lewicki, A. 2016. Co-composting of poultry manure mixtures amended with biochar—The effect of biochar on temperature and C-CO₂ emission. *Bioresour. Technol.*, 200, 921–927.
- Fangueiro, D., Hjorth, M. and Gioelli, F., 2015a. Acidification of animal slurry—a review. *Journal of Environmental Management*, 149, pp.46-56.
- Fangueiro, D., Ribeiro, H., Vasconcelos, E., Coutinho, J. and Cabral, F., 2009. Treatment by acidification followed by solid–liquid separation affects slurry and slurry fractions composition and their potential of N mineralization. *Bioresource Technology*, 100(20), pp.4914-4917.
- Fangueiro, D., Surguy, S., Fraga, I., Cabral, F. and Coutinho, J., 2015b. Band application of treated cattle slurry as an alternative to slurry injection: Implications for gaseous emissions, soil quality, and plant growth. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, pp.102-111.
- Feilberg, A. and Sommer, S.G., 2013. Ammonia and malodorous gases: sources and abatement technologies. *Animal Manure Recycling: Treatment and Management*, pp.153-175.
- Hu, C. and Qi, Y., 2013. Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China. *European journal of agronomy*, 46, pp.63-67.
- Janczak, D.; Malińska, K.; Czekała, W.; Cáceres, R.; Lewicki, A.; Dach, J. 2017. Biochar to reduce ammonia emissions in gaseous and liquid phase during composting of poultry manure with wheat straw. *Waste Manag.*, 66, 36–45.
- Kajetan Kalus, K.; Koziel, J.A. and Sebastian Opalinski, S. 2019. A Review of Biochar Properties and Their Utilization in Crop Agriculture and Livestock Production. *Applied Sciences*, 9:3494. DOI:10.3390/app9173494

- Khaliq, A., Abbasi, M.K. and Hussain, T., 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource technology*, 97(8), pp.967-972.
- Khan, N.; Chowdhary, P.; Gnansounou, E.; Chaturvedi, P. (2021). Biochar and environmental sustainability: Emerging trends and techno-economic perspectives. *Bioresource Technology*, 332: 25102. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125102
- Kupper, T.; Häni, C.; Neftel, A.; Kincaid, C.; Bühler, M.; Amon, B. and VanderZaag, A. (2020). Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage - A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300: 106963. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106963>
- Maurer, D.L.; Koziel, J.A.; Kalus, K.; Andersen, D.S.; Opalinski, S. 2017. Pilot-Scale Testing of Non-Activated Biochar for Swine Manure Treatment and Mitigation of Ammonia, Hydrogen Sulfide, Odorous Volatile Organic Compounds (VOCs), and Greenhouse Gas Emissions. *Sustainability*, 9, 929.
- McCrary, D. F. and Hobbs P. J. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A review. *Journal of Environmental Quality* 30(2), 345-355.
- Owusu-Twum, M.; Polastre, A.; Subedi, R.; Santos, A. S.; Ferreira, L.M.; Coutinho, J. and Trindade, H. (2017). Gaseous emissions and modification of slurry composition during storage and after field application: Effect of slurry additives and mechanical separation. *Journal of Environmental Management*, 200:416-422.
- Owusu-Twum, M.Y., Loick, N., Cardenas, L.M., Coutinho, J., Trindade, H., Figueiro, D., (2017). Nitrogen dynamics in soils amended with slurry treated by acid or DMPP addition. *Biology and Fertility of Soils*, 53:339-347.
- Owusu-Twum, M. 2017. Field application and gas emissions from dairy slurry treated by additives and mechanical separation. PhD thesis in Agricultural and Forestry Sciences. UTAD, Vila Real. 142 p.
- Pereira, J., Figueiro, D., Chadwick, D.R., Misselbrook, T.H., Coutinho, J. and Trindade, H., 2010. Effect of cattle slurry pre-treatment by separation and addition of nitrification inhibitors on gaseous emissions and N dynamics: A laboratory study. *Chemosphere*, 79(6), pp.620-627.

Qambrania, N.A.; Rahmana, Md. M.; Won, S.; Shim, . Ra, S. (2017) Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79:255–273.

Steiner, C.; Das, K.C.; Melear, N.; Lakly, D. 2010. Reducing Nitrogen Loss during Poultry Litter Composting Using Biochar. *J. Environ. Qual.*, 39, 1236–1242.

Wei, L.; Shutao,W.; Jin, Z.; Tong, X. 2014. Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. *Bioresour. Technol.*, 154, 148–154.

Zerulla, W., Barth, T., Dressel, J., Erhardt, K., von Locquenghien, K.H., Pasda, G., Rädle, M. and Wissemeier, A., 2001. 3, 4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP)—a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils*, 34(2), pp.79-84.

5.5. Bioremediação por larvas de insetos

5.5.1. Insetos como animal de produção

Os insetos constituem um dos grupos mais diversos em termos de abundância e biomassa da terra, sendo considerados uma fonte promissora de nutrientes. Estes são cada vez mais utilizados como uma fonte de proteínas e gorduras, tanto para a nutrição animal como também diretamente para a nutrição humana.

As larvas de inseto são consideradas uma fonte proteica segura e saudável. No caso particular da mosca soldado-negro (BSF, *Black Soldier Fly*), o facto de digerirem quaisquer subprodutos de origem orgânica, dá-lhes a vantagem de serem consideradas ambientalmente mais sustentáveis, facultando novos destinos a produtos que, sem a sua ação, teriam como destino final um aterro. Estes são os insetos que se pretende usar para “food & feed” (i.e., alimentação humana e animal).

Em 15 de setembro de 2021 foi redigida nova regulamentação do NREAP com a Nota Informativa NREAP n.º20/2021 que para além de regular a produção para consumo animal e humano, também clarifica alguns aspetos, limitando o processo de biorremediação, tendo o seguinte alerta nas linhas finais escritas pelo regulador:

“Alerta: ► A alimentação de insetos de criação com subprodutos animais de categoria 2 (chorume/efluente pecuário) constitui uma violação grave das regras de saúde pública e de saúde animal previstas nos Regulamentos (CE) n.º 999/2001 de 22 de maio, (CE) n.º 1069/2009 de 21 de outubro, e (EU) n.º 142/2011 de 25 de fevereiro, colocando em risco a segurança da cadeia alimentar humana e animal.”

A partir do momento em que os insetos são animais de criação/produção, fica-lhes vedado, pelos regulamentos acima mencionados, que possam usar como “fonte de nutrientes” estrumes e chorumes. No entanto, alguns

estudos demonstram que com o correto pós-processamento, de forma a garantir a destruição de todas as bactérias patogénicas, as larvas e os produtos obtidos com elas podem chegar a parâmetros corretos de biossegurança, mesmo quando utilizados subprodutos de origem animal na sua alimentação (Gold et al., 2018).

5.5.2. Insetos como instrumentos de biorremediação

Há insetos que sempre tiveram ligação ao processo de decomposição e transformação de subprodutos e resíduos. Sempre que se discute a decomposição de resíduos entramos na área da biorremediação, sendo que os insetos envolvidos neste processo não podem ser utilizados na alimentação humana nem animal, pois estes materiais muitas vezes podem estar contaminados com microrganismos patogénicos.

O “Alerta” constante no NREAP vem limitar o destino dos insetos utilizados na decomposição de efluentes, não permitindo o seu uso na alimentação, quer humana, quer animal, pois tal uso poderia pôr em risco a segurança da cadeia alimentar. Desta forma, terá que se ponderar qual o destino a dar às larvas de insetos que promovem a degradação de efluentes, uma vez que executam uma tarefa importante na natureza, com benefícios na redução destes resíduos no ambiente, transformando-os em produtos que podem ser utilizados noutras cadeias de valor. O processo de biorremediação de efluentes, utilizando as larvas de BSF, permite-nos obter, como exemplo de produtos de valor económico:

- O *frass*, que pode ser utilizado como fertilizante orgânico;
- A biomassa de larvas, ricas em gordura, da qual se pode extrair óleo para a indústria (biodiesel).

O *frass* é o resultado da digestão dos nutrientes pelos insetos, sendo composto por fezes de insetos, partes de insetos, indivíduos que não sobreviveram durante o processo de digestão; e partes dos resíduos/subprodutos não assimiláveis pelos insetos, como lenhina e açúcares indigeríveis, por exemplo. Será abordado em outra parte do documento a sua aplicação.

Para que o processo de digestão seja eficiente, garantindo que a digestão dos subprodutos estará completa, deve controlar-se a relação entre matéria digerível e quantidade de larvas presente, tendo o cuidado de ter na unidade de digestão apenas a quantidade de alimento necessário para alimentar as larvas presentes na referida unidade. Só assim se poderá obter frass bem maturado.

De observar, que não podemos associar a compostagem à digestão por insetos, pois são processos independentes, com velocidades naturais muito diferentes e, caso haja digestão completa por insetos, não haverá quase lugar a compostagem, nem conseqüente emissão de gases de compostagem (como o metano). Adicionalmente, a conversão de resíduos com larvas de BSF é reconhecida por ser menos impactante em termos de libertação de gases com efeito estufa em comparação com a compostagem (Mertenat et al., 2019).

O momento da introdução dos insetos na caixa de tratamento dos subprodutos orgânicos vai determinar a velocidade do processo final e a gestão dos outputs da produção de biogás ou compostagem. Temos digestões a serem feitas em média em 15 dias podendo ir mais longe dependendo das temperaturas de operação, sendo que temperaturas próximas a 26-28 °C favorecem a aceleração do processo como um todo.

A lógica de transformar resíduos e efluentes através da digestão por insetos, está bem patente na natureza. Este processo é muito comum na

ordem *Coleoptera*, que tem cerca de 350 mil espécies diferentes, conhecidas como “besouros, escaravelhos, gorgulhos e joaninhas”. Estes insetos, entre outras coisas, transportam e degradam as fezes de mamíferos e de outros animais de grande porte, tendo como exemplos mais conhecidos os “Dung Beetles” e os seus amigos elefantes. Nestes casos os excrementos de elefante são usados pelos insetos como ninho, como fonte de nutrientes e até como maternidades, dependendo das espécies, fazendo bolas que são separadas e depois transportadas pelos adultos.

Ao usar alguns insetos desta forma, como gestores de excrementos, estamos a usar as características deles em todo o seu potencial como já a natureza o faz. Estamos também, com este processo, a transformar o modelo natural e a tentar industrializa-lo de forma a ser mais controlado, replicável e reprodutível, para assim ser usado de forma sistematizada. O processo de industrialização de um modelo natural envolve a criação de um processo repetitivo e industrial que conhecendo a natureza consiga mimetiza-la. Este é um desafio que, do ponto de vista da produção animal com mamíferos ou aves, tem milénios de experiência. Já no caso dos insetos estamos apenas a começar. Existe um longo caminho de aprendizagem pela frente, nestes temas. Não podemos esquecer que o oriente, onde há maior consumo de insetos, não é fornecedor de grande tecnologia e conhecimento sobre o assunto pois o consumo de insetos no oriente estava mais baseado na recolção e não na criação autónoma e independente que pretendemos fazer, de forma a podermos garantir a segurança alimentar que esperamos neste setor.

A utilização de larvas BSF para alimentação animal e humana foi possível devido a um processo em que tivemos de alterar a alimentação natural das BSF de omnívora e coprofágica, para vegetariana. Para poderem ser usadas como fontes de nutrientes tivemos de controlar o que comem, só podendo comer vegetais, ou, no extremo, lácteos e ovos. Para isso as BSF têm de ser

“vegans” ou no máximo “ovolactovegetarianas” não lhes sendo permitido ingerir e degradar outros produtos de origem animal. Desta forma, defendemos os consumidores e a qualidade final dos nutrientes dos insetos, mas não o inseto em si, que teria capacidade e interesse natural por produtos de origem animal. Temos, no tema da biorremediação, processos por vezes mais próximos da natureza das espécies e usamos as espécies de uma forma mais normal e da maneira que a natureza as foi moldando ao longo da evolução natural.

A BSF é uma das espécies há muito estudada, tendo no início sido estudada em medicina forense, como indicador de tempo de decomposição de cadáveres. De algumas décadas para cá, outros interessados nesses organismos começaram a estudá-los e o interesse foi tomando novos rumos, devido à grande capacidade que as larvas de BSF têm para digerir uma ampla variedade de materiais orgânicos, incorporando os seus nutrientes na sua massa corporal. Como a BSF só se alimenta durante a fase larvar, tem uma grande capacidade devoradora nessa fase da sua vida, para acumular reservas para a fase adulta (em que apenas vai procriar). Este fator também é uma vantagem em relação a outras espécies no sentido em que, como esta espécie não se alimenta enquanto adulta, minimiza o risco de ser um vetor de doenças.

A BSF tornou-se um verdadeiro caso de estudo global na forma como os insetos podem transformar matéria orgânica dando-lhes novo uso. Esta potencialidade, em específico, de digestão de efluentes, tornou-a num caso de estudo que considerámos interessante para o Projeto GO-Efluentes. Pretendendo encontrar um inseto que digerisse e transformasse qualquer efluente em produtos com valor económico e ambiental, a BSF respondeu a esse desafio. A gordura acumulada pelas larvas da BSF é bastante elevada, chegando a 30% em matéria seca, o que lhe confere grande interesse na transformação de efluentes em gordura.

Assim, o objetivo deste ensaio foi de avaliar a bioconversão de efluentes agropecuários (bovinos, aves e suínos) por larvas de BSF e a produção resultante de biomassa de larvas no final do processo.

5.5.3. Caso de estudo: uso de larvas de BSF na biorremediação de efluentes de galinha, porco e vaca

Metodologia

Com base nos objetivos estabelecidos no projeto GoEfluentes no que diz respeito ao uso de efluentes agropecuários, foram realizados diferentes ensaios utilizando-se os efluentes oriundos da produção bovina, suína e de frangos como substrato para o crescimento de larvas de BSF. Os efluentes provieram de explorações do INIAV e da Escola Superior Agrária de Santarém com quem colaborámos. Assim, foram definidos três tratamentos no ensaio, com um controlo estabelecido com ração Gainesville, sendo este um substrato alimentar comumente utilizado em estudos com esses insetos. Adicionalmente, 5 caixas foram preparadas apenas com os efluentes. A caracterização dos materiais utilizados neste ensaio está apresentada no Quadro 37.

Quadro 37 – Caracterização físico-química dos efluentes utilizados como substrato para o crescimento de larvas de BSF

Ingredientes	MS	Proteína	Gordura	Hidratos	Fibras	Cinzas
				de carbono		
				% -----		
Bovino	22,0	2,20	0,40	7,90	3,39	8,11
Aves	76,7	5,84	5,84	5,84	59,10	0,0
Suíno	10,0	1,22	1,22	1,22	6,34	0,0
Ração Gainesville	88,0	15,0	3,0	5,0	58,0	7,0

Cada tratamento foi estabelecido com cinco repetições, representadas por caixas plásticas de 60 x 40 cm, nas quais foram colocados 13,5 kg de misturas feitas com os efluentes avaliados e uma quantidade pré-estabelecida de larvas de BSF com 5 dias de idade, usando o processo padrão de testes realizado na EntoGreen. De salientar que foram preparadas caixas apenas com os efluentes e sem larvas com o objetivo de perceber se havia digestão/oxidação pelo ar, além da evolução térmica das mesmas sem a ação das larvas.

As dietas fornecidas às larvas foram pré-estabelecidas para conterem 65% de humidade, de modo a garantir o consumo das dietas de maneira adequada e possibilitar, ao final do ensaio, a correta separação das larvas e do resíduo processado, também chamado de *frass*, o qual pode ser considerado um fertilizante orgânico. Como os ensaios com cada efluente foram independentes no tempo, e, de forma a minimizar o erro (devido a diferentes pressões e temperaturas), foi efetuado um padrão como um termo de comparação em cada ensaio com ração Gainesville. A formulação das dietas está apresentada no Quadro 38.

Quadro 38 – Formulação das dietas experimentais com diferentes efluentes agropecuários, utilizadas para o crescimento de larvas de BSF

	Efluente bovino	Efluente Aves	Efluente suíno	Ração Greensville	Água	Proteína	Gordura	Hidratos de Carbono	Fibra
	----- % -----								
Controlo	-	-	-	40	60	6,0	1,0	2,0	23,0
Bovino	60	-	-	25	15	5,0	1,0	6,0	16,0
Aves	-	40	-	5	55	3,0	2,0	3,0	27,0
Suíno	-	-	68	32	-	6,0	2,0	2,0	23,0

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente quanto à normalidade dos erros (teste de Levene) e homocedasticidade das variâncias (teste de

Shapiro-Wilk). Em seguida, esses grupos independentes foram submetidos a teste *t* de Student, de modo a encontrar diferenças significativas entre os dados de produção de larvas por tratamento, com seus respectivos controlos, considerando um nível de 5% de probabilidade. Os testes foram realizados no software RStudio (R Core Team, 2021).



Resultados

As larvas de BSF cresceram de maneira satisfatória em todos os tratamentos com diferentes efluentes agropecuários, obtendo-se entre 1,12 e 1,57 kg de larvas frescas por unidade experimental. A maior produção foi obtida com o efluente de galinhas, tratamento este que gerou em média 2,54 kg de larvas em comparação com 1,56 kg no seu controlo, sendo esta diferença significativa estatisticamente ($p < 0,0001$). Semelhantemente, o efluente de suínos resultou numa maior produção de larvas (2,18 kg) em comparação com o seu controlo (1,41 kg) ($p < 0,0001$). Já a produção de larvas com efluente de bovinos (1,24 kg em média) foi estatisticamente similar ($p = 0,2916$) ao seu controlo (1,34 kg em média) (Figura 47).

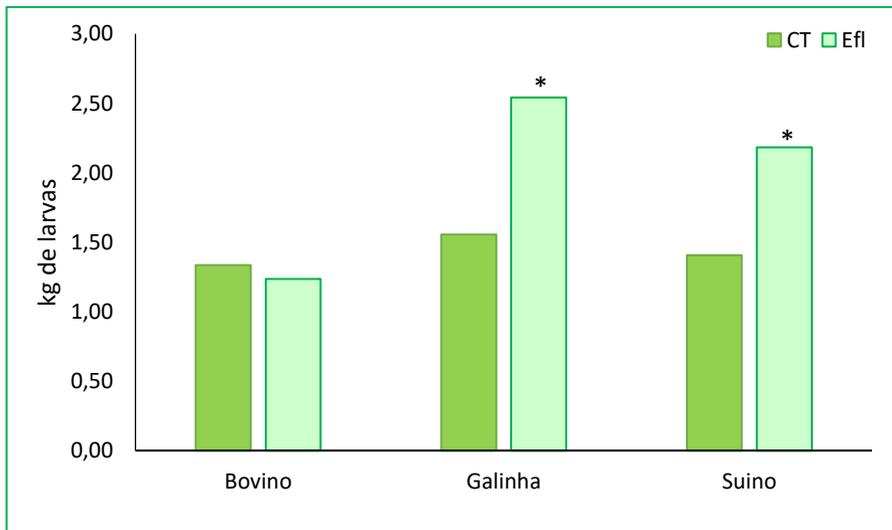


Figura 47. Representação gráfica da produção de larvas de BSF (kg) alimentadas com diferentes efluentes agropecuários. Asteriscos acima das barras indicam diferenças significativas do tratamento com seu respectivo controle, de acordo com o teste t de Student

Com base na “ferramenta” utilizada neste estudo, ou seja, larvas de BSF, é importante levar em consideração o destino final dessas larvas. A quantidade de gordura das larvas é algo altamente promissor para diversos fins, como por exemplo a produção de biodiesel. A percentagem em quilogramas de gordura obtida a partir de cada efluente variou entre 2 a 6%. Quando comparado com a parcela de maior custo, que é a ração Gainesville, esse valor chegou a 49% de óleo obtido para cada quilograma de ração adicionada (Quadro 39). Surendra et al. (2016) descreveram que o óleo proveniente das larvas de BSF possui alta qualidade e poder calorífico, tendo pouca viscosidade e alta estabilidade oxidativa. Isso deve-se ao facto deste óleo apresentar uma concentração relativamente alta de ácidos gordos saturados e baixas concentrações de ácidos gordos polinsaturados.

Quadro 39 – Gorduras obtidas com o tratamento de diferentes efluentes agropecuários utilizados como substrato alimentar para larvas de BSF

	Efluente	Ração	Gordura obtida	Gordura vs efluente	Gordura vs ração
	----- kg -----			----- % -----	
Controlo					
Bovino	8,10	3,34	0,16	2,0	4,8
Aves	5,40	0,68	0,34	6,3	40
Suíno	9,17	4,33	0,29	3,2	6,7

O menor desempenho do efluente bovino em relação aos outros efluentes, inclusive, ligeiramente menor que o seu respetivo controlo (não significativo), revelou que os outros efluentes podem ser mais atrativos em relação ao uso para nutrir larvas de BSF.

Conclusões

As larvas de BSF demonstraram maior rendimento de biomassa (kg) quando alimentadas com efluentes de galinha e de suínos em comparação à ração Gainesville, utilizada como padrão de produção. Esses resultados estão em concordância com outros estudos realizados com estes três tipos de efluentes. É provável que o efluente de bovino que demonstrou o rendimento mais baixo em relação à produção de larvas, seja devido ao facto de ser rico em fibras como celulose, hemicelulose e lenhina. De forma a melhorar a capacidade das larvas em digerirem este efluente, seria interessante realizar uma co-digestão com um dos outros efluentes, misturando-os, visto que dois substratos com alto valor nutricional podem completar-se para suprir as necessidades nutricionais específicas das larvas, como sugerido por (Rehman et al., 2017).

5.5.4. Referências

M Gold, JK Tomberlin, S Diener, C Zurbrügg (2018), Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82: 302-318.

Adeline Mertenat, Stefan Diener, Christian Zurbrügg (2019) Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. *Waste Management*, 84: 173-181.

K.C.Surendraa, RobertOlivier, Jeffery K.Tomberlin, Rajesh Jhad, Samir Kumar, Khanal (2016) Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98: 197-202

Kashif urRehman, Abdul Rehman, Minmin Caia, Longyu Zheng, Xiaopeng Xiao, Abdul Aziz Somroo, HuiWang, Wu Li, Ziniu Yu, Jibin Zhang (2017) Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Cleaner Production* Volume, 154: 366-373.

5.6. Valorização agrícola de efluentes pecuários

Enquadramento

Logo após a domesticação das primeiras culturas agrícolas a fertilização orgânica terá sido a primeira inovação fitotécnica, inspirada na observação em sistemas agropecuários extensivos que terão caracterizado o meio rural primevo. Já no século precedente da nossa era, Vergílio, no segundo livro de uma das suas obras clássicas – geórgicas – relata técnicas orgânicas de incremento da fertilidade dos solos, tais como as consociações, as rotações e a estrumação.

Até ao dealbar da era industrial, os fertilizantes orgânicos derivados da exploração pecuária continuaram a dar o seu contributo para o equilíbrio económico, em particular de muitas explorações agrícolas de subsistência ou de vocação subsidiariamente comercial. No entanto, o aumento da pressão demográfica, em particular a partir de meados do século passado, e a conseqüente pressão para a produção intensiva, aliados ao retumbante sucesso da designada “Revolução Verde”, a que Borlaug (2002) chamou *“the miracle ahead”*, colocaram os fertilizantes químicos na preferência da maioria dos produtores agrícolas, muitas vezes sem preparação técnica para a sua gestão adequada.

As conseqüências não se fizeram esperar, e em poucas décadas os efeitos da fertilização mineral, não judiciosamente controlada, tornaram-se patentes pelo desastroso impacte na qualidade ambiental, e extensas áreas agrícolas sofreram assinalável quebra de fertilidade, até mesmo ao ponto de desertificação. A resposta não se fez esperar, e os conceitos de agricultura orgânica, com exclusão total de fertilizantes minerais, foi fazendo escola, em oposição drástica à agricultura dita “convencional” (Badgley *et al.*, 2007; Seufert *et al.*, 2012), mau grado estes mesmos autores

terem referido produções inferiores às verificadas para os sistemas de agricultura convencional.

Com base no criticismo de Kirchmann *et al.* (2016), em relação aos critérios de apreciação das diferenças entre as produções, utilizados pelos apologistas da fertilização exclusivamente orgânica, Timsina (2018), em função de uma meta análise das produções nos diferentes sistemas de fertilização, refere valores de 20 a 50% mais baixos nos sistemas de agricultura orgânica, muito embora, em alguns casos o resultado económico fosse em alguns casos superior ao verificado para o sistema de agricultura convencional, o que remete para a afirmação de que os sistemas de agricultura são adequados para nichos de agricultura de luxo ou simplesmente de subsistência (Menino e Murta, 2021).

Na argumentação destas duas perspetivas opostas, diversos mitos se foram cimentando, como bem demonstra Timsina (*op. cit.*), e a refutação assumiu prioridade sobre a conciliação de conceitos, esta última muito mais profícua. De facto, se a perspetiva prioritária da agricultura orgânica é a sustentabilidade da fertilidade dos solos e a defesa do ambiente, a perspetiva prioritária da agricultura convencional é produção.

Afirmar que a agricultura orgânica pode competir com a agricultura convencional na produção unitária, com exceção de alguns casos pouco representativos para a necessidade global, não parece realista; por outro lado, afirmar que a agricultura convencional pode competir com a orgânica, também não merece credibilidade. A solução do desiderato em causa (produção agrícola compatível com a necessidade global e resiliência das produções sem agressão ambiental) não reside, pois, em qualquer das premissas do dilema, mas sim na conciliação das duas na medida mais adequada às condições edáficas, climáticas e sociais pertinentes.

No contexto de uma economia circular, em meio rural, a fertilização orgânica tem vindo a ser desenvolvida, nas últimas décadas, em termos de propostas inovadoras, que lhe têm conferido uma maior potencialidade para redução da fertilização mineral, sem prejuízo (ou mesmo em benefício) das produções, e para salvaguarda (ou mesmo recuperação/potenciação) da fertilidade do solo.

Em alinhamento com as bem justificadas preocupações com o equilíbrio ambiental, com o incremento e sustentabilidade da produção alimentar, e com o aquecimento global, novas e diferentes perspetivas têm vindo a ser propostas para a produção agro-pecuária: desde os “sistemas agroflorestais”, promovidos pela “*Evergreen Agriculture Partnership*” – que Sanchez (1999) designou como “o segundo paradigma da fertilidade dos solos”, e que estão vocacionados para climas tropicais e subtropicais – até aos sistemas de produção vocacionados para genótipos altamente produtivos - que constituem “o primeiro paradigma” - onde o sucesso, para a conciliação das preocupações de ordem ambiental e da escala de produção de alimentos compatível com as necessidades a nível global, deverá passar, como já atrás se referiu, pela conciliação do sistema convencional com as páticas mais adequadas da agricultura orgânica.

No que se refere aos sistemas de produção vocacionados para genótipos altamente produtivos - fundamentais na contribuição para colmatar a escala necessária para a solução do problema da carência alimentar a nível planetário - e apesar da pressão da crescente exploração agropecuária, a produção de estrumes e chorumes é nitidamente insuficiente para satisfazer as exigências deste tipo de genótipos. Dada, no entanto, a necessidade crescente, sob o ponto de vista da qualidade ambiental, do descarte inócuo deste material, o que, numa opção de economia circular se traduz na potenciação e reutilização do mesmo para fertilização do solo e a produção de energia, os métodos inovadores de compostagem assumem

uma posição *pivot* no contexto das explorações agropecuárias (Menino e Murta, 2021).

No que se refere aos efluentes da exploração pecuária, e na dupla perspectiva do descarte inócuo de um produto poluente, e da sua potenciação como fertilizante, diversos sistemas de compostagem têm sido postos em prática, de entre os quais a “compostagem anaeróbica” e a “digestão biológica” se têm revelado como promissoras. A “digestão anaeróbia” deste tipo de efluentes, também designada por “biogásificação”, para além da produção de um combustível produz um fertilizante dos solos, por outro lado a biodigestão por insetos (entre outras classes da microfauna), para além da produção de um fertilizante produz larvas com utilização (entre outras) na produção de um biodiesel. Ambos os referidos sistemas de tratamento dos efluentes da exploração pecuária constituem, assim, um relevante componente no âmbito da economia circular em meio rural.

5.6.1. Caso de estudo: valorização agronómica de efluentes e co-produtos

Ensaios de campo

Os ensaios de campo foram instalados na Quinta da Fonte Boa (INIAV-Santarém), com vista ao estudo do efeito de dois produtos de compostagem tradicional (referidos por A e por B - Quadro 40), provenientes dos ensaios de compostagem realizados pela Leal&Soares, para avaliação da produção em milho forragem e em milho grão.

As parcelas experimentais abrangeram 2 tipos de solo, caracterizados como sendo um Fluvissole Gleizado (FLgl) e um Calcissolo háplico (CLha) (IUSS-FAO, 2006).

Quadro 40 – Caracterização física e química de dois lotes de estrume de bovino, tratados por compostagem tradicional, designados por A e B

Parâmetro analíticos	Resultados obtidos	
	Lote A	Lote B
Humidade* (%)	70,3 ± 0,6	73,0 ± 0,6
Cinzas (%)	36,5 ± 0,6	38,2 ± 0,6
pH*	7,7 ± 0,1	8,1 ± 0,1
Condutividade elétrica* (μS/cm)	2240 ± 12	883 ± 12
Carbono orgânico (%)	29,1 ± 0,1	24,0 ± 0,1
Matéria orgânica (%)	50,2 ± 0,2	41,4 ± 0,2
N total (%)	1,69 ± 0,05	1,35 ± 0,05
N amoniacal* (mg/kg)	128 ± 2	14 ± 2
N nítrico* (mg/kg)	680 ± 5	305 ± 5
N orgânico (%)	1,61	1,32
Razão C:N	17,2	17,8
P ₂ O ₅ água regia/P ₂ O ₅ total (%)	0,76 ± 0,00	0,68 ± 0,00
K ₂ O água regia/K ₂ O total (%)	1,47 ± 0,03	0,75 ± 0,00
Ca água regia/Ca total (%)	2,71 ± 0,04	2,03 ± 0,02
Mg água regia/Mg total (%)	0,29 ± 0,00	0,32 ± 0,00
SO ₃ água regia/SO ₃ total (%)	1,07 ± 0,00	0,93 ± 0,00
B água regia/B total (mg/kg)	15,2 ± 0,2	20,2 ± 0,3
Cu água regia/Cu total (mg/kg)	42,0 ± 0,3	86,1 ± 0,1
Fe água regia /Fe total (mg/kg)	4414 ± 49	4210 ± 2
Mn água regia/Mn total (mg/kg)	129,3 ± 3,4	182,0 ± 0,7
<i>Escherichia coli</i> * (ufc/g)	>10 e < 40	60
<i>Salmonella spp.</i> *	Ausente em 25 g	Ausente em 5 g
Massa volúmica aparente* (kg/L)	0,53±0,01	0,53±0,01

*Resultados em produto fresco

A variedade de milho utilizada em ambos os casos (forragem e grão) foi a “Sonido 400 FS”, da Bayer, numa densidade de sementeira de 83000 sementes por hectare.

Foram efetuados os seguintes tratamentos: T0 - controlo, sem qualquer tipo de fertilização; TM - fertilização mineral, na dotação de 250 kg de N por hectare; TA1 e TB1 - compostado da SIRO A e B, respetivamente, veiculando 125 kg de N por hectare; TA2 e TB2 - compostado da SIRO A e B, respetivamente, veiculando 250 kg de N por hectare e; TA3 e TB3 - compostado da SIRO A e B, respetivamente, veiculando 375 kg de N por hectare.

No tratamento com fertilizante mineral utilizou-se, em adubação de fundo, o adubo 7-18-27, da “ADP”, na dose recomendada para a cultura, de 200 kg.ha⁻¹ N, e em cobertura foi usado o adubo Nitro27, com magnésio, de forma a fornecer 50 kg.ha⁻¹ N. Os tratamentos com os compostados provenientes dos lotes A e B, foram utilizados em quantidades tais que veiculassem as doses de N requeridas em cada um dos respetivos tratamentos.

Produção

A produção, registada para toda a área em observação, chegou aos 10 867 kg.ha⁻¹, no ensaio de milho grão, e 2 487 kg.ha⁻¹ e 706 kg.ha⁻¹, respetivamente de peso verde e peso seco de forragem, não se tendo registado diferenças significativas entre os tratamentos.

Características químicas das plantas no milho forragem

No que se refere aos valores obtidos da análise química das plantas de milho, os valores médios registados, para cada um dos elementos analisados, foram os seguintes: P 1,9g.kg⁻¹; K 9,1g.kg⁻¹; Ca 2,1g.kg⁻¹; Mg

1g.kg⁻¹; Na 0,422g.kg⁻¹; Fe 99ppm; Mn 10ppm; Zn 14ppm,1; Cu 1,7ppm; B 3,9ppm.

Ensaio em vasos (em estufa)

Complementarmente realizaram-se ensaios de estufa, em vasos, com azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), por forma a estudar o efeito, na produção e na composição química das plantas de azevém, de chorumes de bovino sujeitos a diferentes métodos de compostagem, nomeadamente: compostagem tradicional, digestão anaeróbia e biodigerido por larvas da Mosca Soldado Negro (Quadro 41).

Ensaio 1

Material e métodos

O solo utilizado no ensaio foi classificado como Podzol Gleyic (IUSS-FAO, 2006). A análise da camada superficial do solo (0-25 cm) revelou textura grosseira (96% areia), pH de 6, capacidade de troca catiónica de 3,8 cmol.kg⁻¹, pobre em nutrientes e com 5,1 g de matéria orgânica por kg.

Os compostos orgânicos usados foram analisados e o resultado obtido para o chorume de bovino submetido a compostagem por digestão anaeróbica (neste ensaio referido por **D**) foi de 0,84g N kg⁻¹, e para o chorume de bovino submetido a compostagem por biodigestão pelas larvas da mosca soldado negro (neste ensaio referido por **FB**) o resultado foi de 26 g N kg⁻¹.

No presente ensaio foram utilizados vasos de plásticos cilíndricos (com 15 cm de altura, 12,5 cm de diâmetro no fundo e 17 cm de diâmetro no topo) com superfície de 226,9 cm².

Quadro 41 – Caracterização física e química de chorumes de bovino tratados por compostagem tradicional, por digestão anaeróbia e por biodigestão por larvas da Mosca Soldado Negro (MSN)

Parâmetros analíticos	Resultados obtidos		
	Compostagem tradicional	Digestão anaeróbia	Biodigestão por larvas de MSN
Humidade (%)	58,5	97,3	70,7
Matéria seca (%)	41,5	2,7	29,3
pH (H ₂ O) (25 °C)	8,2	7,9	6,5
Condutividade elétrica (25 °C) (mS/cm)	0,92	14,3	2,71
Matéria orgânica (%)	60,9	1,56	71,1
Fósforo total (P ₂ O ₅) (%)	0,60	0,25	3,35
Potássio total (K ₂ O) (%)	1,01	0,12	1,91
Cálcio total (K ₂ O) (%)	3,76	0,17	4,68
Magnésio total (K ₂ O) (%)	0,40	0,12	0,55
Boro total (K ₂ O) (mg/kg)	21,2	1,55	15,0
Sódio total (K ₂ O) (%)	0,30	0,04	0,19
Cloretos (Cl ⁻) (%)	0,51	0,08	0,75
Cobre total (K ₂ O) (mg/kg)	71,2	14,5	273
Zinco total (K ₂ O) (mg/kg)	149	56,1	971
Níquel total (K ₂ O) (mg/kg)	<33,3	<33,3	<33,3
Crômio total (K ₂ O) (mg/kg)	<16,6	<16,6	<16,6
Chumbo total (K ₂ O) (mg/kg)	<33,3	<33,3	<33,3

Durante o ciclo de crescimento das plantas, os vasos foram regados diariamente, com água desionizada, para manter a humidade do solo a 80% da capacidade de campo, estimada por diferença de peso.

O presente ensaio constou de 10 tratamentos (1 testemunha, 1 mineral, 4 doses de composto **D** e 4 doses de composto **FB** - estes últimos oito com complemento de 10% de N nitroamoniacal) com três repetições, totalizando trinta vasos. Antes da sementeira, os compostos foram misturados com o solo.

As sementes foram usadas numa densidade equivalente a 40 kg por hectare.

As plantas foram sujeitas a dois cortes, durante o período em que decorreu o ensaio, para avaliação da produtividade.

Resultados e discussão

A produção, quer em termos de peso verde, quer de peso seco, foi superior no tratamento TFB4. Tendo-se verificado que o biodigerido por larvas de mosca soldado negro foi mais eficiente como fertilizante orgânico do que o produto obtido por digestão anaeróbia.



Figura 48. Ilustração do aspeto do azevém, em cada tratamento (T0, TM, TFB, TD, respetivamente, nas diferentes doses), antes do corte

No tratamento T0 e como seria de esperar e a figura 45 ilustra, os valores de produção foram significativamente mais baixos, comparativamente com os restantes tratamentos.

Ensaio 2

Material e métodos

Utilizou-se o mesmo tipo de solo nas condições descritas no ensaio 1 e as condições de trabalho foram idênticas, quer no que se refere à espécie em estudo, quer no que diz respeito aos vasos e à preparação do ensaio, incluindo as regas.

Neste ensaio, para além do estudo do efeito dos compostos orgânicos (chorume de bovino sujeito a compostagem tradicional - designado por **C** - e o mesmo produto biodigerido por larvas de Mosca Soldado Negro – designado por **F**) na produção e composição química das plantas utilizadas, efetuou-se, antes do primeiro corte, a avaliação de alguns parâmetros fisiológicos.

Os compostos orgânicos usados foram analisados quimicamente e os resultados obtidos, no que se refere ao teor de N, para o chorume de bovino compostado (neste ensaio designado pela letra **C**) foi de 12,3 g N kg⁻¹, e para o chorume de bovino biodigerido pelas larvas de Moscas Soldado Negro (designado pela letra **F**) o resultado foi 14 g N kg⁻¹.

O presente ensaio constou de 10 tratamentos (1 testemunha, 1 mineral, 4 doses de C e 4 doses de F, estes últimos 8 com complemento de 10% de N nitroamoniaco) com cinco repetições, totalizando cinquenta vasos.

O material vegetal foi avaliado, relativamente a alguns parâmetros fisiológicos, tendo sido feita a medição de trocas gasosas em folhas de 6 semanas, antes do 1º corte, e teve o mesmo tratamento que o material vegetal do ensaio 1.

Resultados e discussão

Os resultados de produção obtidos (peso verde e peso seco), revelaram maior rendimento com o tratamento TF4, o que significa que o biodigerido das larvas foi mais eficiente que o composto tradicional e que os fertilizantes biológicos proporcionaram maior rendimento do que o tratamento com fertilizante mineral.

No que se refere à concentração de N no material vegetal, os valores mais elevados, e significativamente diferentes dos restantes tratamentos, foram registados para o TM, uma vez que a formulação diretamente assimilável do N está aqui muito mais adaptada às necessidades da planta. Por outro lado, e como seria de esperar, para um solo arenoso, a menor concentração de N foi registada para o tratamento T0, por uma diferença significativa relativamente aos outros tratamentos.

Os resultados obtidos para as características fisiológicas avaliadas revelaram um aumento significativo da atividade totossintética com o aumento das doses de composto orgânico (biodigerido ou compostado), tendo sido no tratamento TF4 que registaram os valores mais elevados, o que permite supor que as condições de desenvolvimento das plantas foram, neste caso, as melhores.

No presente ensaio, foram também registados os valores de produção ao longo do ciclo da cultura, tendo sido efetuado um total de 3 cortes. Da análise dos dados obtidos, pode observar-se que foi no tratamento TF4 que se registou o valor mais elevado. Tendo sido no primeiro corte que se obtiveram as maiores produções, tendo diminuindo até ao último corte.

A Ffigura 46 ilustra o aspeto geral das plantas antes do primeiro corte, em cada um dos tratamentos, onde é notória a diferença de crescimento da cultura por efeito da utilização dos compostos orgânicos.



Figura 49. Ilustração do aspeto do azevém, em cada tratamento, antes do corte, a título de exemplo

Conclusões

A hipótese na base do presente estudo é confirmada pelos resultados que mostram, de forma estatisticamente demonstrada, o melhor desempenho, na produção de azevém, de chorume de bovinos biodigeridos por larvas da mosca do soldado negro, em comparação com o compostado tradicional com a mesma matéria-prima, ambos com um complemento de N prontamente disponível, na forma mineral.

Ambos os fertilizantes orgânicos deram um rendimento maior do que o tratamento com o fertilizante mineral extreme, muito claramente, devido à adição de N diretamente disponível, que mais uma vez provou ser fundamental para acelerar o crescimento inicial da planta sujeita a qualquer fertilização orgânica.

O padrão dos valores registrados para Pn e WUE é consistente com o observado para a produção de biomassa, confirmando seu valor informativo a respeito do estado vegetativo das plantas.

No que diz respeito à concentração de N nos tecidos vegetal, os maiores valores, e significativamente diferentes dos restantes tratamentos, foram registrados para o TM, o que sugere a possibilidade de que os 10% de N adicionais adicionados ao fertilizante orgânico possam ter sido insuficientes.

O melhor desempenho, na produção de azevém, de chorume de bovinos biodigeridos por larvas da mosca do soldado negro, em comparação com o compostado tradicional com a mesma matéria-prima, ambos com um complemento de N prontamente disponível, na forma mineral, é evidente, tal como se tem observado em ensaios anteriores.

Contudo, ainda há resultados, nomeadamente os que se referem às análises químicas, quer do material vegetal, quer dos solos, para os diferentes tratamentos, bem como análise microbiológica do solo, que irão permitir consolidar as conclusões até agora inferidas.

5.6.2. Referências

Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakern, E., Chappell, J., Avilés-Vázquez, K., Samulon, A., Perfecto, I., 2007. . Organic agriculture and the global food supply. *Renew. Food Syst.* **22**:86-108.

Borlaug, N.E., 2002. Feeding a world of 10 billion people. The miracle ahead. *In vitro cell. dev. Biol.* **38**:221-228.

Bredemeier, C., and U. Schmidhalter, 2001. Laser-induced chlorophyll fluorescence to determine the nitrogen status of plants. In *Plant nutrition - Food security and sustainability of agro-ecosystems*. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. Eds., W.J. Horst *et al.* **92**:726-727. https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X_352

Bremner, J.M., and C.S. Mulvaney, 1982. Nitrogen-Total. In *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. (Agronomy 9). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. Eds., Page A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 595-624.

Concenço, G., E.A. Ferreira, A.A. Silva, F.A. Ferreira, L. Galon, M.R. Reis, L. d'Antonino, L. Vargas, L.V.B.D. Silva, 2008. Fotossíntese de biótipos de azevém sob condição de competição. *Planta Daninha*. **26(3)**:595-600. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000300015>

- FAO, 1998. World reference base for soil research, by ISSS-ISRIC-FAO. World Soil Reference Report No. 84, Rome, 88p.
- IUSS-FAO Working Group WRB, (2006): World reference base for soil resources 2006 - A framework for international classification, correlation and communication, Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. [10013/epic.43321.d001](https://doi.org/10.10013/epic.43321.d001)
- Jia, Y., S. Tang, R. Wang, X. Ju, Y. Ding, S. Tu, D.L. Smith, 2010. Effects of elevated CO₂ on growth. Photosynthesis, elemental composition, antioxidant level, and phytochelatin concentration in *Lolium mutiflorum* and *Lolium perenne* under Cd stress. Journal of Hazardous Materials. 180 (1-3), 384-394. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.043>.
- Kirchmann, H., Katterer, T., Bergstrom, L., Borjesson, G., Bolinder, M.A. (2016). Flaws and criteria for design and evaluation of comparative organic and conventional cropping systems. *Field Crop Res.* **186**:99-106.
- Liu, X., Y.Fan, J.Long, R. Wei, R. Kjelgren, C. Gong, J. Zhao, 2013. Effects of soil water and nitrogen availability on photosynthesis and water use efficiency of *Robinia pseudoacacia* seedlings. Journal of Environmental Sciences, **25 (3)**:585–595. doi:10.1016/s1001-0742(12)60081-3
- Menino R., F. Felizes, M.A. Castelo-Branco, P. Fareleira, O. Moreira, R. Nunes, D. Murta, 2021. Agricultural value of Black Soldier Fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. *Heliyon*, Jan 2, **7(1)**, e05855. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05855. PMID: 33426352, PMCID: PMC7785954.
- Menino, R., Murta, D., 2021. Black Soldier Fly-An Invaluable Weapon in the War for the Sustainability of the Agrarian Economy and Defense of the Environment. *Mod Concep Dev Agrono.* **8(3)**. MCDA. 000687. 2021. DOI: 10.31031/MCDA.2021.08.000687
- Menino, M.R., Murta, D., 2021. The Insects as a Workforce for Organic Fertilizers Production – Insect Frass. DOI: 10.5772/intechopen.100144.
- Sanchez, P., 1999. Improved fallows come of age in tropics. *Agrofor. Syst.*, **47(1/3)**:3-12. DOI: 10.1023/a:1006287702265
- Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, A.E. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature.* **485**:229-232.
- Timsina, J., 2018. Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? **8**:214; doi:10.3390/agronomy8100214

6. IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS

Maria Antónia Figueiredo e Maria João Figueiredo

TTerra – Engenharia e Ambiente Lda

As opções de tratamento que a Portaria n.º 79/2022 de 3 de fevereiro viabiliza para os efluentes pecuários (EP) têm em comum o valor atribuído ao EP. Quer a valorização agrícola sem tratamento, ou pós- tratamento, visam o aproveitamento dos nutrientes e da matéria orgânica presentes. É pelo valor intrínseco ao EP que este é considerado pela legislação portuguesa como um subproduto e não um resíduo.

São considerados subprodutos quaisquer substâncias ou objetos resultantes de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção, quando verificadas, cumulativamente, as seguintes condições:

- a) Existir a certeza de posterior utilização lícita da substância ou objeto;*
- b) Ser possível utilizar diretamente a substância ou objeto, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal;*
- c) A produção da substância ou objeto ser parte integrante de um processo produtivo;*
- d) A substância ou objeto cumprir os requisitos relevantes como produto em matéria ambiental e de proteção da saúde e não acarretar impactes globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica.*

n.º 1 do Artigo 91 do Decreto-lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro

Focado na circularidade do ciclo produtivo em que a economia circular assenta, a valorização agrícola dos EP é, pois, uma mais valia. O remanescente dos nutrientes fornecidos na dieta alimentar que não são absorvidos pelos animais encontram-se maioritariamente concentrados no EP, sendo a sua utilização na melhoria da produtividade de culturas agrícolas um valor que se acrescenta ao sistema e que, dessa forma, não é perdido caso fosse eliminado. Mesmo que as culturas necessitem ainda de um complemento de

nutrientes através de fertilização inorgânica será naturalmente inferior às necessidades que foram suplantadas pelos EP.

Nesta equação, a quantidade proveniente da extração de matérias primas, designadamente “rocha fosfática” e depósitos de nitrato de sódio é menor.

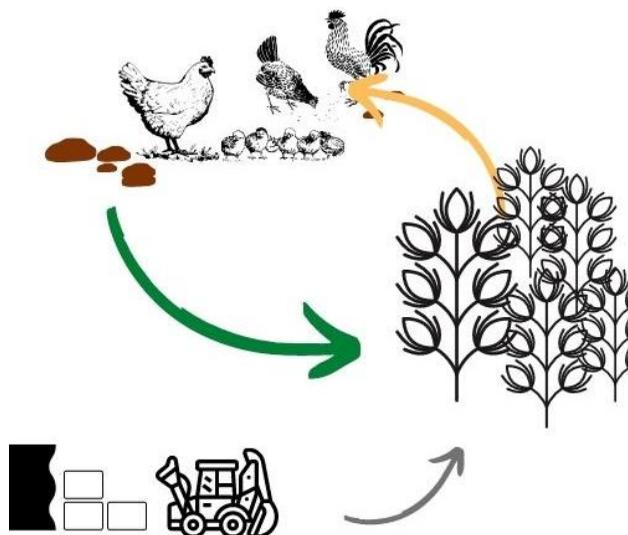


Figura 50. Representação da circularidade do setor agropecuário associado à valorização agrícola dos EP.

Acrescenta-se ainda nesta análise, a redução da cadeia de distribuição que é conseguida com a valorização agrícola do EP uma vez que as distâncias percorridas entre a fonte de produção (exploração pecuária) e o destinatário (áreas agrícolas) são curtas, e maioritariamente de âmbito local.

Por essa razão, também, a valorização agrícola dos EP tem ainda um impacto significativo ao nível da dinamização das atividades económicas locais, designadamente com a necessidade de mão-de-obra necessária à execução das operações de valorização agrícola.