



**André Testa Fortunato Pataco**

Licenciatura em Ciências e Engenharia do Ambiente

**Intensidade Carbónica da Carne de Bovino em Portugal: Contributo para a Identificação de *Leverage Points***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais

Orientador: Professora Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Nuno Miguel Ribeiro Videira Costa

Arguente(s): Dr<sup>a</sup> Sandra Isabel Fernandes Martinho

Vogal(ais): Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas

André Testa Fortunato Pataco  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

# Agradecimentos

Agradeço à minha Avó, a quem dedico este trabalho, porque ela, mais que ninguém, ficaria orgulhosa de me ver completá-lo. E aos meus Pais, por o terem decidido ser e pelo amor que colocaram nessa difícil tarefa.

À minha Mãe, pelas perguntas importantes e fora do normal que fez e que ajudaram a construir o trabalho, pelo apoio que me deu, por ter paciência para ler toda a dissertação, vírgula a vírgula, e por demonstrar tanto orgulho em mim. À minha Irmã, por nunca conseguir responder à pergunta “Mas a tese do teu irmão é sobre quê?” e por me dar música aos ouvidos. Ao meu Pai, pela incansável ajuda que me deu em todos os momentos, por me dizer onde pôr os pés e por me mostrar, na sua forma de ser, que os obstáculos são para saltar sem lhes dar demasiada importância. E também por decidir acordar às 2h da manhã muito perto do prazo de entrega e insistir incessantemente que parte do corpo do texto estava uma valente treta e que precisava de alterações profundas.

Agradeço à Professora Doutora Júlia Seixas, por ter manifestado interesse em orientar este trabalho numa fase em que já tinha as “*slots*” muito preenchidas. Por transmitir, em cada conversa, um sentido de perspicácia e pragmatismo fantásticos, que considero raros e de grande valor. Pela enorme disponibilidade que sempre demonstrou para me orientar, mesmo dentro de uma disponibilidade profissional muito reduzida. Por me ter ajudado a pensar, em momentos chave, a partir das perguntas certas.

A todos os Professores que participaram no meu percurso de estudante.

Às pessoas da FCT/UNL que desenvolvem um trabalho, muitas vezes invisível, mas mais vezes ainda determinante para o funcionamento de tudo, como é para mim o caso da Sandra Ferreira, sem desprimor por todas as outras pessoas que encaixam na mesma descrição.

Agradeço ao Fernando Marques, com um grande abraço (mesmo que ele não goste de abraços), pela inspiração, capacidade de simplificação e permanente disponibilidade para me deixar beber do seu largo conhecimento. Mas sobretudo por me ensinar muito sobre aquilo que constitui uma das bases desta dissertação, a produção bovina.

Ao Dr. João Beckert, agradeço pelo excelente sentido crítico e rigor das sugestões oferecidas, mas particularmente pelo contributo valiosíssimo e pelo tempo que dedicou a esse contributo, numa fase em que ele próprio tinha muito pouco tempo disponível.

Ao Dr. Ricardo Caselhas, Médico Veterinário, pelos valiosos conselhos e ajuda prestada em questões técnicas da produção e biologia animal.

À Dr<sup>a</sup> Sandra Martinho, por me ter integrado sem reservas no projecto que a Lasting Values está a desenvolver e por me ter permitido acompanhar a sua equipa nas visitas aos matadouros, salas de desmancha/processamento e explorações animais, que desempenharam uma experiência importantíssima para mim e para o desenvolvimento do trabalho. Também pelas conversas produtivas que proporcionou e pela simpatia ímpar.

Agradeço ao Engenheiro André de Oliveira Baptista, pela singularidade dos seus conselhos e pela oportunidade que me ofereceu de observar uma forma de pensar diferente.

À minha madrinha, Professora Doutora Margarida Moura, pela incrível perspicácia e preponderância nos comentários e sugestões que fez. E por se manter minha madrinha na minha ausência enquanto afilhado.

Ao Diogo Gomes, pela enorme amizade, constante incentivo, curiosidade e pelas importantes sugestões que deu. E também por me ter obrigado a escrever “fcporto” todas as manhãs.

À Camila, pelo importante *feedback* que me deu, pelas conversas chatas que se dispôs a ouvir, pelas sugestões acertadas e, sobretudo, por representar a personificação do meu “Domingo” nestas longas semanas de recta final.

Ao António Santa Marta, pela amizade, por ser o meu companheiro de tese mais presente e por todas as produtivas discussões e desabafos que partilhámos um com o outro. E por jogar bem raquetes de praia.

À Maria e à Rita, por serem as minhas segundas companheiras de tese e por me beberem quase todo o café cá de casa sempre que tiveram oportunidade. E ao Zé Vieira, por ser o terceiro, mesmo que por tempo limitado. Força.

Ao Couto, pela sua importância para mim e porque também participou, de forma intensa, no percurso que agora termina. E porque o que atingimos, nunca atingimos sós.

À Daniela, pela confiança, carinho e ânimo que sempre me transmitiu e por se ter mostrado disponível para partilhar do meu entusiasmo em (quase) qualquer altura.

Ao Zé, pelos jantares de descontração em momentos proibidos, descoberta de minas de ouro e por ajudar a guardar uma amizade que dura há 21 anos.

À Carolina, por se ter empenhado com a escolha do meu tema e me ter incentivado a segui-lo.

Ao Engenheiro André Ferreira, mestre do Excel, por aumentar a minha produtividade no tratamento de dados.

A todos os meus amigos, por me ajudarem a manter a sanidade, umas vezes, e por me permitirem ser louco, noutras. A toda a minha família, pela compreensão de ausência. A todos os que participaram, de forma mais ou menos directa, neste percurso.

A Donella Meadows, pela genialidade que lhe reconheço e por ter escrito um artigo que me dá tanto prazer ler como um livro.

A Kip Andersen, realizador do Cowspiracy, pela invulgar disponibilidade que demonstrou em responder ao meu contacto e pela inspiração que representou na realização deste trabalho.

À Google, por ter criado um “local” onde a obtenção de conhecimento é ilimitada.

*“No idea is simple when you have to plant it into someone else’s mind”*



# Resumo

Vários estudos têm demonstrado os impactos da pecuária nas alterações climáticas, sendo reconhecido que grande parte do seu impacto a nível global provém da produção de animais ruminantes, incluindo o sector de produção de carne de bovino. O trabalho desenvolvido teve como principais objectivos (1) estimar as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) do sector de produção de carne de bovino e (2) identificar os seus *leverage points*, isto é, os pontos-chave que podem configurar uma alteração substancial na emissão de GEE. A análise realizada ao sector da produção de carne de bovino é próxima da abordagem *cradle-to-gate* e a metodologia que serviu de base ao seu desenvolvimento, resultou da compilação de estudos internacionais, do tratamento de informação estatística nacional e de uma base de dados adquirida para este trabalho. Estimou-se, a partir da metodologia aplicada, um total de emissões de GEE associadas à produção de carne de bovino em Portugal de 1558 Gg CO<sub>2</sub>e e um valor de intensidade carbónica de 46,7 kg CO<sub>2</sub>e/kg de produto. A (i) redução do consumo de carne de bovino e a (ii) redução do número de bovinos abatidos provenientes de explorações leiteiras foram os principais *leverage points* das emissões de GEE identificados. Ficou demonstrado o peso relativo das emissões da produção de carne de bovino em Portugal e o trabalho desenvolvido contribui, do nosso ponto de vista, para a agregação do conhecimento acerca do tema, acrescentando elementos à discussão relacionada com a redução das emissões de GEE. A inclusão deste tema no panorama de discussão ambiental deve ser ponderada, quer pelos decisores políticos aquando da formulação de políticas para o consumo sustentável, quer pelos mercados aquando da produção e aprovisionamento de carne de bovino, quer, em última instância, pelos consumidores aquando das escolhas diárias de consumo.

Palavras-chave: **GEE; bovinos; intensidade carbónica; alterações climáticas; *leverage points*;**



# Abstract

Several studies have shown the impact of livestock on climate change, being recognized that much of its global impact comes from the production of ruminant animals, including the beef production sector. The work was primarily designed to (1) estimate the emissions of greenhouse gases (GHG) from the beef production sector and (2) identify their leverage points, that is, the key points that may constitute a substantial change in GHG emissions. The analysis performed at the beef production sector is similar to the cradle-to-gate approach and the methodology that served as the basis for its development resulted from the compilation of international studies, handling of national statistical information and handling of a database acquired for this study. It was estimated, on the applied methodology, a total of 1558 Gg CO<sub>2e</sub> from the GHG emissions associated with the production of beef in Portugal, as well as a carbon intensity value of 46.7 kg CO<sub>2e</sub> / kg product. The main leverage points identified for the GHG emissions were (i) reducing the consumption of beef and (ii) reducing the number of slaughtered cattle from dairy farms. The relative weight of emissions from beef production in Portugal became clear and this work contributes, from our point of view, to the aggregation of knowledge on the subject, adding elements to the discussion related to the reduction of GHG emissions. The inclusion of this theme in the environmental discussion panorama should be considered, either by policy makers during the policy formulation for sustainable consumption or by the markets during production and supply of beef or, ultimately, by consumers at the time of daily consumption choices.

**Key words: GHG; cattle ; carbon intensity; climate change; leverage points**



# Índice

1.	Introdução .....	1
1.1	Âmbito e relevância do tema .....	1
1.2	Objectivos.....	2
2.	Revisão da literatura.....	5
2.1	Alterações Climáticas .....	5
2.2	A Pecuária enquanto actividade contribuidora para as Alterações Climáticas .....	5
2.3	A produção de bovinos em Portugal .....	7
2.4	Emissões directas de GEE na produção de carne de bovino.....	10
2.5	Emissões indirectas de GEE na produção de carne de bovino.....	15
2.5.1	Consumo de energia na produção de carne de bovino .....	16
2.5.2	Emissões indirectas de GEE no processo de abate de bovinos .....	16
2.5.3	Consumo de energia na venda de produtos de carne de bovino.....	18
2.6	O papel do consumidor .....	18
2.7	Estratégias de mitigação .....	20
2.8	Dinâmica de sistemas: <i>leverage points</i> .....	22
3.	Metodologia .....	27
3.1	Definição do âmbito.....	27
3.2	Dados de actividade .....	28
3.2.1	Produção animal.....	29
3.2.2	Transporte.....	33
3.2.3	Consumo de energia .....	37
3.3	<i>Leverage Points</i> - A aproximação conceptual de Donella Meadows .....	40
4.	Resultados e Discussão .....	45
4.1	Caracterização do sector da produção de carne de bovino em Portugal.....	45
4.2	Emissões de GEE e Intensidade Carbónica.....	49
5.	Opções de mitigação .....	59
5.1	Integração das opções de mitigação na lista de <i>Leverage Points de um Sistema</i> , de Donella Meadows.....	60
5.1.1	Estratégias tipo 1 – Os objectivos do sistema .....	60
5.1.2	Estratégias tipo 2 – As regras do sistema.....	60
5.1.3	Estratégias tipo 3 – A estrutura dos fluxos de informação .....	60
5.1.4	Estratégias tipo 4 – A estrutura de stocks e fluxos materiais .....	61
5.1.5	Estratégias tipo 5 - Constantes, parâmetros e números.....	61
5.2	Cenários.....	62
5.2.1	Cenário A – Estratégias tipo 2 .....	62

5.2.2	Cenário B –Estratégias tipo 4 + Estratégias tipo 5.....	63
5.3	Simulação das emissões de GEE no modelo dinâmico.....	64
6.	Conclusões .....	67
6.1	Limitações e recomendações para trabalhos futuros.....	69
7.	Referências bibliográficas .....	73
A.	Anexos.....	81
A.1	Base de dados do IFAP .....	81





# Índice de figuras

Figura 1 - Bovinos por região. Fonte: IFAP.....	8
Figura 2 - Estrutura da produção de carne de bovino em Portugal .....	9
Figura 3- Distribuição das emissões totais de N <sub>2</sub> O provenientes da gestão de estrumes, por espécie animal, no ano de 2012. Fonte: NIR, 2014 .....	15
Figura 4 - Pontos a intervir num sistema, adaptado de Meadows (1997) .....	24
Figura 5 - Cadeia de produção de carne de bovino em Portugal.....	28
Figura 6 - Método de detecção e eliminação de erros .....	32
Figura 7 - Repartição da energia comercializada pela EDP em 2012. Adaptado de EDP (2013)38	
Figura 8 - Pontos a intervir num sistema, adaptado de Meadows (1997) .....	41
Figura 9 - Modelo dinâmico da regulação da emissão de CO <sub>2</sub> e em função do consumo de carne. .....	43
Figura 10 - Concelhos com maior número de animais em explorações.....	46
Figura 11 - Concelhos com maior número de abates .....	46
Figura 12 - As dez principais rotas de transporte de bovinos entre explorações e matadouros. Fonte: IFAP.....	47
Figura 13 - Evolução mensal do número de abates a nível nacional.....	48
Figura 14 - Distribuição das emissões de GEE das várias fases de produção de carne de bovino. .....	51
Figura 15 - Distribuição das emissões de GEE derivadas do consumo de energia.....	52
Figura 16 - Distribuição das emissões provenientes dos processos de transporte .....	52
Figura 17 - Distribuição das emissões provenientes dos transportes entre Portugal e Ilhas. ....	53
Figura 18- Distribuição das emissões de GEE da produção de carne de bovino em Portugal ....	54
Figura 19 - Simulação das emissões de GEE da produção de carne de bovino .....	65



# Índice de tabelas

Tabela 1 - Efectivo bovino por região NUT II. Fonte: INE/IFAP .....	8
Tabela 2 - Factores de emissão para a Fermentação Entérica (kg CH <sub>4</sub> /hd/yr), adaptado do NIR (2014) .....	12
Tabela 3 - Taxa de excreção de N por cabeça e por espécie/categoria animal (Nex). Adaptado de NIR (2014) .....	14
Tabela 4 - Dados de actividade e respectiva origem .....	30
Tabela 5 - Áreas recomendadas para o transporte de bovinos vivos.....	33
Tabela 6 - Características dos veículos de transporte de bovinos vivos.....	35
Tabela 7 - Dados acerca da frota nacional de veículos sob temperatura dirigida .....	35
Tabela 8 - Características de um veículo de transporte sob temperatura dirigida, para transporte de peças de carne e carcaças .....	35
Tabela 9 - Distância média percorrida entre matadouros e superfícies de venda .....	36
Tabela 10 - Factores de emissão. Adaptado de IPCC, 1996 .....	38
Tabela 11 - Intensidade energética do abate .....	39
Tabela 12 - Emissões de GEE por categoria sectorial.....	50
Tabela 13 - Emissões de GEE (em Gg de CO <sub>2</sub> e) relativas ao consumo de energia nas várias fases de produção .....	51
Tabela 14 - Valores de pegada carbónica de 5 produtos comuns. Pattara et al. (2012); Espinoza-Orias et al. (2011); Rööös et al. (2010); Craig & Blanco (2013) .....	56
Tabela 15 - Contagem do número de bovinos abatidos por ano, por concelho de exploração ...	81
Tabela 16 - Contagem do número de bovinos abatidos por ano, por concelho de matadouro....	84
Tabela 17 - Média de idade dos bovinos por género (M ou F) .....	85
Tabela 18 - Exemplo das matrizes de tratamento de dados no Excel .....	85
Tabela 19 - Exemplo das matrizes de tratamento de dados no Excel .....	85
Tabela 20 - Exemplo das matrizes de tratamento de dados no Excel .....	86
Tabela 21 - Estudo dos pesos típicos dos bovinos para acerto da base de dados.....	86



# Lista de acrónimos

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

EDP – Energias de Portugal

EPA - Environmental Protection Agency

FAO - Food and Agriculture Organization

GEE – Gases com efeito de estufa

IFAP – Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P.

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LED - Light Emitting Diode

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos



# 1. Introdução

Tivessem Kip Andersen e Keegan Kuhn motivações diferentes e provavelmente o tema da dissertação de mestrado que aqui se apresenta seria totalmente distinto. Andersen e Kuhn são os realizadores de um documentário intitulado *Cowspiracy* (2014) que nos provocou algo semelhante – com as devidas (grandes) diferenças – àquilo que o livro *Silent Spring* (Carson, 1962) terá provocado em milhares dos seus leitores. O que começou como uma curiosidade acabou por resultar na vontade de estudar e de contribuir para uma melhor compreensão do problema para o qual o documentário alerta.

*Cowspiracy* aborda o impacto da pecuária nas alterações climáticas de uma forma totalmente inovadora, impressionando pela base científica que suporta as evidências apontadas. Afirma-se que a pecuária cobre cerca de 45% da superfície de terra do planeta (Thornton *et al.*, 2011) e que é a principal causa da extinção de espécies, da existência de zonas oceânicas mortas, de poluição da água e ainda da destruição de *habitats* (Oppenlander, 2013). É ainda referido que a pecuária é responsável, de forma indirecta, pela destruição de 91% da floresta Amazónica (Oppenlander, 2013; Margulis, 2003) e destacado que a pecuária e os seus subprodutos são responsáveis por 51% de todas as emissões globais de dióxido de carbono equivalente (Goodland & Anhang, 2009). Como podem tais números ser interpretados numa perspectiva de Engenharia do Ambiente? Será que o impacto desta actividade também se replica em Portugal? A aparente isenção do documentário e solidez dos números apresentados geram apreensão do ponto de vista científico, pelo que o desenvolvimento de um trabalho que analise o impacto da pecuária no plano nacional surge como, mais do que uma oportunidade, uma necessidade recorrente e actual.

## 1.1 Âmbito e relevância do tema

Uma vez que as alterações climáticas representam um tema central naquilo que são os principais objectos de debate a nível global, sobretudo no ano em que se esperam decisões vitais para o seu controlo, o estudo das várias actividades emissoras de gases com efeito de estufa (GEE) tem grande importância, não apenas para a identificação dos vários prismas do problema, mas também como pilar no desenvolvimento de alternativas para a mitigação das próprias alterações climáticas. Para que se possam reduzir as graves consequências que poderão advir das alterações climáticas, é crucial que se estabilizem as concentrações de GEE na atmosfera em níveis inferiores a 450ppm e que o pico de emissões seja atingido no presente, cumprindo tendências de descida de agora em diante (IPCC, 2013).

Apesar de diferentes estudos terem vindo a demonstrar os impactos da pecuária nas alterações climática, a actividade mantém-se praticamente inalterada, não tendo sido adotadas alterações significativas no seu *modus operandi* com vista à redução do seu impacto negativo no Planeta.

Num sistema de complexidade tão elevada - a própria indústria pecuária - e ao qual é atribuído um impacto tão significativo, poderão existir pequenas alterações capazes de produzir grandes mudanças no seu todo.

Actualmente, o impacto do sector da pecuária nas emissões de GEE é estudado de forma agregada, integrado, em Portugal, no impacto do sector da Agricultura e, no caso do IPCC, no sector da Agricultura, Floresta e outros usos do solo. Grande parte do impacto da pecuária nas emissões de GEE a nível global, provém da produção de animais ruminantes que, pela sua fisiologia, têm factores de emissão superiores às restantes espécies. Deste modo, o sector da produção de carne de bovino pode desempenhar um papel principal nas estratégias de redução de emissões de GEE. É na perspectiva de caracterizar o verdadeiro potencial de mitigação que este sector carrega, que se cria o presente contributo. A investigação realizada compreende fronteiras de análise mais abrangentes, relativamente à forma como se contabiliza o impacto do sector bovino a nível nacional, e procura contabilizar de forma desagregada da perspectiva sectorial do IPCC e da APA, o impacto do sector da produção de carne de bovino nas emissões de GEE.

## 1.2 Objectivos

O trabalho que se propõe desenvolver tem como objectivo estruturante, identificar, compreender e contabilizar o contributo do sector da produção de carne de bovino em Portugal para as emissões de GEE e, em consequência, para o agravamento das alterações do sistema climático. O estudo é uma análise sobre uma fracção do panorama nacional, ou seja, incide na indústria pecuária nacional e muito concretamente na produção de carne de bovino. Como principais objectivos específicos do estudo destacamos (1) estimar as emissões de gases com efeito de estufa do sector da produção de carne de bovino e (2) identificar os *leverage points* deste sector de forma a poderem servir de *framework* para potenciais alterações capazes de promover forte mitigação dos impactes ambientais que lhes estão associados, com ênfase para a alteração do sistema climático.

Procura caracterizar-se, em detalhe, a forma de funcionamento da cadeia de produção de carne de bovino em Portugal para que seja possível, partindo da análise das suas fases principais, caracterizar os níveis de emissão de GEE e identificar as opções com maior potencial de mitigação. Para estimar as emissões de GEE associadas à produção de carne de bovino em Portugal são estabelecidos os limites de análise do estudo, fora dos quais não são consideradas emissões, e ponderadas as variáveis com impacto na emissão de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) nomeadamente, a fermentação entérica, a gestão de estrumes, o consumo de energia, as emissões de combustão e as emissões fugitivas de gases de refrigeração nos transportes.

No âmbito do presente estudo, são apenas consideradas as emissões associadas às quantidades de carne produzidas anualmente, determinadas a partir de registos oficiais e obrigatórios por lei, armazenados no sistema de informação do Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas

(IFAP). Analisa-se, pormenorizadamente, o impacto das várias fases de produção no total de emissões que se pretende estimar, ajustando a metodologia à realidade portuguesa. Conhecido o total de emissões desta actividade e determinada a distribuição das mesmas pelas várias etapas de produção, os dados produzidos são usados como base para a identificação das opções de mitigação mais adequadas. De entre as opções identificadas, são apontados *leverage points*, pontos de entre um sistema complexo, onde pequenas mudanças numa variável têm o potencial de produzir grandes alterações na totalidade do sistema (Meadows, 1997).



## 2. Revisão da literatura

### 2.1 Alterações Climáticas

As alterações do sistema climático são cada vez mais evidentes e as transformações que provocam são claras e passíveis de serem observadas em inúmeras vertentes. Têm vindo a verificar-se cada vez mais eventos meteorológicos extremos e as vagas de calor tornaram-se mais frequentes e intensas (Walsh *et al.*, 2014). A temperatura média global da superfície terrestre verificou um aumento superior a 0,8°C desde 1880 (Walsh *et al.*, 2014) e a última década (2000-2009) revelou-se mais quente do que qualquer outra nos últimos 1300 anos (PAGES 2K, 2013). O aumento das temperaturas está a contribuir para uma redução, sem precedentes, do volume e extensão do gelo à superfície, em lagos e nos oceanos (Walsh *et al.*, 2014), e os impactos das alterações climáticas na biodiversidade tornaram-se mais claros e representam um risco acrescido para a extinção de espécies (Balmaseda *et al.*, 2013). Os oceanos absorvem neste momento cerca de ¼ do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido para a atmosfera e como resultado desse processo estão a tornar-se cada vez mais acidificados, levantando graves preocupações acerca dos ecossistemas marinhos (Walsh *et al.*, 2014). As mesmas massas de água que têm vindo a tornar-se cada vez mais acidificadas, os oceanos, verificaram um aumento no seu nível médio de cerca de 20cm desde 1880 (IPCC, 2013).

As transformações referidas limitam a capacidade dos ecossistemas (e contribuem para a sua disrupção), no fornecimento de importantes serviços ao ser humano, nos quais se inclui a redução do impacto que eventos extremos têm nas infraestruturas, comunidades humanas e outros recursos valiosos (Matthews & Zickfield, 2012). O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) conclui que os gases de efeito de estufa (GEE) de origem antropogénica, incluindo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e halocarbonetos, têm sido responsáveis pela maioria das alterações observadas desde a metade do século XX. Contudo, a magnitude das alterações climáticas nas próximas décadas dependerá da evolução das actividades humanas enquanto emissoras de GEE (Walsh *et al.*, 2014).

### 2.2 A Pecuária enquanto actividade contribuidora para as Alterações Climáticas

A importância do sector da pecuária a nível mundial é incontestável, representando uma actividade que gera cerca de 1,4% do PIB mundial (FAO, 2006), mas cujo valor económico que varia de acordo com os países e áreas em que é desenvolvida. Em casos de reduzida procura por produtos de origem animal, prevalece a produção de subsistência, ao contrário de áreas de procura elevada do mesmo tipo de produtos, nas quais a actividade cumpre propósitos maioritariamente comerciais (FAO, 2006). Seja de forma directa ou indirecta, a partir de áreas alocadas para

pastagem ou de áreas ocupadas com produções agrícolas destinadas à alimentação animal, o sector da pecuária ocupa, excluindo regiões permanentemente congeladas, cerca de 30% da superfície terrestre (FAO, 2006). A relevância deste sector para a produção de alimentos, criação de emprego e de fontes de rendimento é reconhecida por muitos autores (Perry & Sones, 2007 citado por Herrero *et al.*, 2011) porém, o reconhecimento de que a mesma actividade está a contribuir para uma série de problemas ambientais, está em crescimento (Herrero *et al.*, 2011). Embora os sistemas de produção sejam muito diversificados e a sua análise complexa, tornando a avaliação do impacto desta actividade nos vários aspectos do ambiente pouco linear, é possível afirmar que a pecuária tem um impacto significativo em vários prismas do ambiente, incluindo o solo e usos do solo, água, biodiversidade e, sobretudo, nas alterações climáticas (FAO, 2006; Herrero *et al.*, 2011).

Foi estimado pela FAO em 2006, num dos primeiros estudos internacionais sobre esta matéria, que a pecuária contribuiria em 18% para as emissões globais de gases de efeito de estufa (GEE), sendo que as principais fontes identificadas foram as alterações no uso dos solos (CO<sub>2</sub>), a fermentação entérica por seres ruminantes (CH<sub>4</sub>) e a gestão dos estrumes (N<sub>2</sub>O). Surgem várias publicações acerca da contribuição da pecuária para as emissões globais de GEE e consigo, fruto das discrepâncias nas metodologias, resultados díspares. A título de exemplo, a EPA (2006) estima as emissões (excluindo CO<sub>2</sub>) associadas à pecuária em 12% do total das emissões de GEE, enquanto Denman *et al.* (2007) lhes atribui um valor de 10% do mesmo total. Em 2009, Goodland e Anhang, num relatório publicado pelo Worldwatch Institute, atribuíram à pecuária um peso nas emissões globais de GEE maior do que qualquer outro já estimado – 51% do total.

Não só os vários estudos acerca desta matéria diferem nas metodologias usadas como também obedecem a limites de análise distintos, diferindo nas variáveis consideradas e nos pressupostos assumidos. Os estudos que mais se aproximam da abordagem de Análise de Ciclo de Vida incluem, na sua maioria, emissões dos *inputs* da produção, tais como fertilizantes e produtos alimentícios, transportes, processamento dos produtos e alterações no uso dos solos, incluindo desflorestação para criar novas áreas de pastagem ou de cultivo para suplementação animal (O'Mara, 2011). Por outro lado, diversos estudos seguem uma abordagem mais orientada para a lógica sectorial do IPCC, que divide as emissões de GEE em cinco sectores principais – (i) energia, (ii) indústria, (iii) resíduos, (iv) uso dos solos, alterações do uso dos solos e silvicultura, e (v) agricultura (O'Mara, 2011) – estando a pecuária incluída na última categoria, representando cerca de 80% das suas emissões (FAO, 2006).

De entre as espécies ruminantes domésticas, a espécie bovina representa, devido à sua abundância e tamanho do corpo, a maior contribuição para as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) a nível global (O'Mara, 2011). A partir do seu sistema digestivo único, os animais ruminantes fazem uso de um processo de fermentação ocorrente no pré-estômago - que constitui uma cuba de fermentação

(Hobson & Stewart, 1997) - para auxiliar a digerir hidratos de carbono. Deste processo, denominado fermentação entérica, resulta a produção de metano, que é depois libertado – na sua maioria, e ao contrário daquilo que o senso comum possa crer, pelo tracto respiratório (Thorpe, 2009).

No entanto, as emissões de metano não estão apenas associadas à fermentação entérica mas também às emissões provenientes dos estrumes, que incluem óxido nitroso ( $N_2O$ ) e cuja ocorrência depende directamente da sua gestão, manuseamento e extensão das pastagens (O'Mara, 2011). O  $N_2O$  é libertado pelos estrumes durante o armazenamento e deposição nas pastagens, enquanto que o  $CH_4$  é gerado quando os estrumes são armazenados em condições anaeróbias e quentes (FAO, 2009).

Os principais produtos derivados da pecuária são a carne, os ovos e o leite (O'Mara, 2011), sendo que o seu consumo verificou um crescimento acelerado nos países desenvolvidos, particularmente a partir da década de 80 (FAO, 2009). Num cenário assente na manutenção do *status quo*, prevê-se o crescimento das emissões de GEE provenientes da pecuária, considerando a necessidade do ritmo de produção de alimentos para cobrir o aumento da população mundial, que se prevê atingir 8.3 mil milhões em 2030 e 9.1 mil milhões em 2050 (UN, 2008). As projecções das emissões de GEE associadas à pecuária são, no entanto, incertas e dependentes da composição da dieta das populações futuras, em particular no que se refere ao consumo de carne (FAO, 2006).

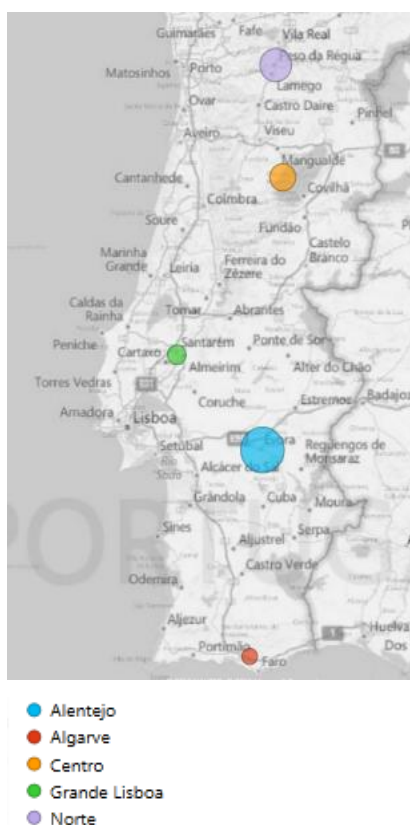
Dados de 2005 indicam que cerca de 31% da carne produzida a nível global é carne proveniente de animais ruminantes, maioritariamente de bovino (O'Mara, 2011). A produção deste tipo de carne tem maior relevância na Ásia, América Latina, América do Norte e Europa Ocidental, sendo que Portugal representou, em 2007, apenas 0,17% da produção global de carne de bovino (FAO, 2009).

### 2.3 A produção de bovinos em Portugal

Em Portugal, ocorreram alterações significativas na produção animal desde 1980, sobretudo influenciadas (1) pela integração da política agrícola em vigor na Comunidade Económica Europeia (CEE), (2) pela redução no número de explorações, (3) pelo aumento da exigência nas condições de produção animal e (4) pela crise de Encefalopatia Espongiforme Bovina – vulgarmente denominada de “doença das vacas loucas” – na década de 90 (Dias *et al*, 2008). Apesar da redução do número de explorações no País, o número médio de cabeças de bovino por exploração aumentou, entre 1980 e 2005, de 6,5 para 17,2, resultando num incremento no efectivo bovino nacional (Dias *et al*, 2008). Tal como a produção, também o consumo de carne em Portugal sofreu alterações nos últimos anos. De uma forma geral, verificou-se um decréscimo no consumo de carne per capita (kg/hab) e a carne de bovino é a mais afectada por essa alteração de consumo – registou uma variação de 19,5 kg/hab em 2009 para 16,8 kg/hab em 2013 (INE, 2013).

Assumindo maior importância nas regiões do Alentejo, Litoral Norte, Centro Litoral e Açores (Rodrigues, 1997; INE, 2013), a produção de carne de bovino em Portugal é, historicamente, caracterizada por uma irregularidade tanto ao nível da quantidade como da estrutura de produção (INE, 2013). O Entre Douro e Minho é a região agrícola com maior número de explorações de bovinos de carne, mas o efectivo bovino predomina no Alentejo, região que representa cerca de 45% do efectivo nacional (INE, 2013). Em baixo, na tabela 1, ilustra-se a distribuição do efectivo bovino em Portugal Continental, por região (NUT II), com excepção das regiões autónomas dos Açores e da Madeira.

Tabela 1 - Efectivo bovino por região NUT II. Fonte: INE/IFAP



NUTII	NÚMERO DE ANIMAIS	ESTRUTURA PERCENTUAL
Norte	325180	21%
Centro	193175	12%
Grande Lisboa	55120	4%
Alentejo	694420	45%
Algarve	10215	1%
Sub-total Continente	1278110	83%
Açores	265456	17%
Madeira	3554	0%
Total	1547120	100%

Figura 1 - Bovinos por região. Fonte: IFAP

Segundo o IFAP, as regiões de maior efectivo bovino a nível nacional são, por ordem decrescente, as regiões do Alentejo, do Norte e dos Açores, como se apresenta na tabela 1. Conforme a região e os objectivos de produção, são praticados diferentes sistemas de criação de bovinos, que variam tanto na sua tipologia como, por exemplo, na idade de abate dos animais (Dias *et al*, 2008).

Na base dos sistemas de produção, encontra-se a fase mãe que tem como objectivo produzir o maior número possível de crias bovinas – vulgarmente conhecidas por “filhos” (Dias *et al*, 2008), tornando-se importante as fêmeas “mães” cumprirem certos requisitos e possuírem determinadas características, especialmente ao nível da adaptação às condições ambientais, fertilidade,

longevidade, ciclo de reprodução e capacidade leiteira (Dias *et al*, 2008). No final da fase mãe, ou seja após desmame do vitelo, inicia-se a fase filho, correspondente à fase de crescimento e engorda dos vitelos com destino a abate. Este processo pode ocorrer em sistema intensivo, semi-intensivo ou extensivo, variando consoante as condições de produção e na duração do período de engorda do vitelo (Rodrigues, 1997). O seguinte esquema apresenta de forma simplificada a estrutura de produção de carne de bovino em Portugal, com limite na deslocação até aos matadouros.

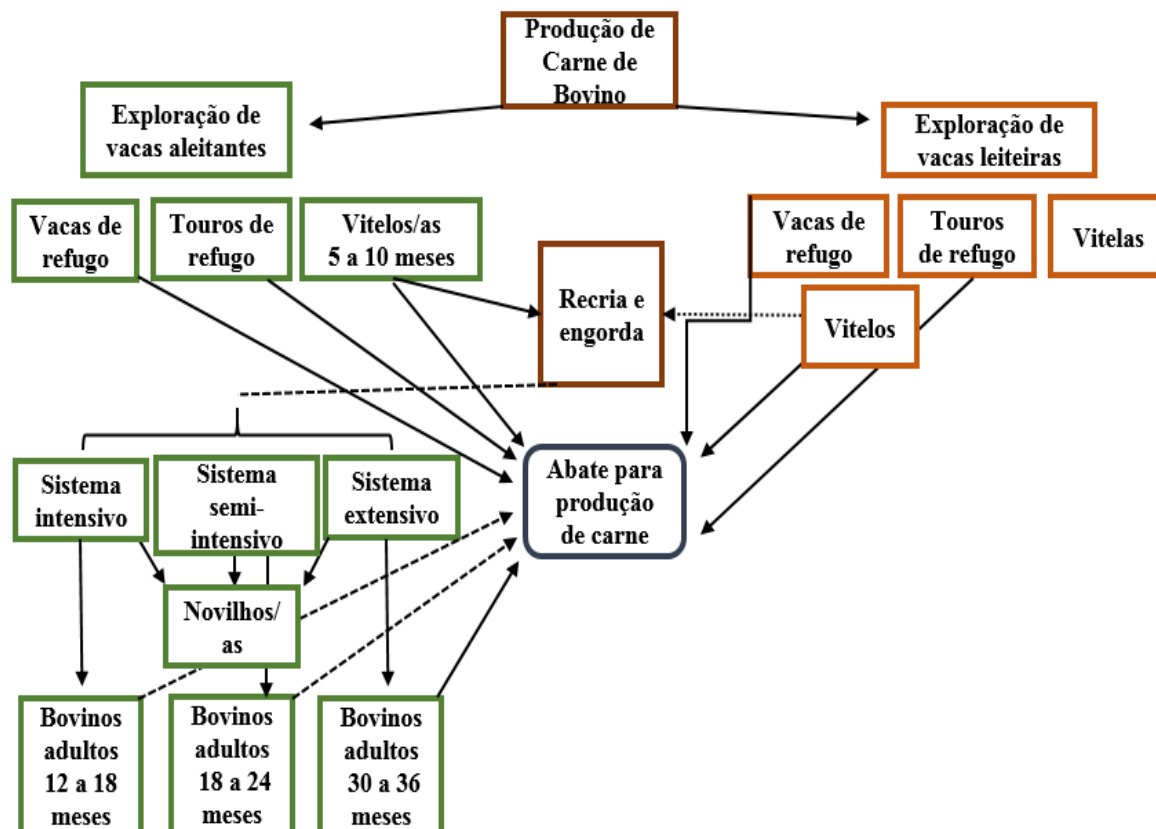


Figura 2 - Estrutura da produção de carne de bovino em Portugal

Na produção intensiva de bovinos o objetivo passa por obter, no menor período de tempo possível, o produto animal final. Diferencia-se pela necessidade de utilizar animais de elevado potencial de crescimento e eficiência, pelo uso de suplementação e por obrigar ao confinamento do animal (Rodrigues, 1997; Dias *et al*, 2008). Neste tipo de sistemas, o bovino, ainda vitelo, é por vezes abatido entre os 5 e os 10 meses de idade. Por outro lado, consoante as variações do mercado, o bovino pode também atingir o peso de abate apenas em idade adulta, entre os 12 e os 18 meses.

Nos sistemas de produção semi-intensivos e extensivos o crescimento dos bovinos decorre de forma mais lenta, consequência dos regimes alimentares empregados. Mais especificamente, nos sistemas de produção semi-intensivos de bovinos é dada preferência ao aproveitamento dos

recursos de pastagens naturais ou melhoradas, embora nos períodos de escassez, ou consoante a necessidade, os animais sejam suplementados com rações ou forragens (Rodrigues, 1997). Neste sistema de produção, o crescimento do animal alterna entre as fases lentas e rápidas, atingindo-se o peso adulto entre os 18 e os 24 meses de idade do animal (Cláudio *et al.*, 1988). Por sua vez, os sistemas extensivos apoiam o ciclo produtivo do animal num crescimento mais lento e dependente do pastoreio e, como tal, das condições ambientais (Dias *et al.*, 2008). Também em caso de escassez alimentar se recorre à suplementação, contudo mantendo sempre a fase de pastoreio activa (Dias *et al.*, 2008). Em sistemas deste tipo, o bovino atinge o peso adulto entre os 30 e os 36 meses de idade (Cláudio *et al.*, 1988; Dias *et al.*, 2008).

## 2.4 Emissões directas de GEE na produção de carne de bovino

Uma vez que a produção do bovino é a etapa mais longa do processo de produção de carne, estabelece-se naturalmente como uma etapa de grande peso enquanto *driver* das emissões de GEE. No entanto, para realidades próximas da portuguesa, i.e. países Europeus, existem poucos estudos específicos acerca do impacto dos sistemas de produção de carne de bovino nas quotas de emissões de GEE. Lesschen *et al.* (2011) calculou perfis de emissão para diferentes produtos animais em países Europeus, Veysset *et al.* (2010 e 2014) procurou avaliar as emissões de GEE e consumos de energia em quintas francesas de produção de carne, Merino *et al.* (2011) contribuiu para actualizar os registos das emissões anuais de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O no País Basco (Espanha) e Weiss & Leip (2012) estimaram, numa perspectiva de análise de ciclo de vida, as emissões associadas a vários produtos provenientes da pecuária na União Europeia (EU-27). Diversos estudos compilam informações de várias fontes e outros, embora fazendo a avaliação directa de sistemas de produção de bovinos, baseiam-se em características de produção distintas das europeias, dificultando a comparação com a realidade portuguesa. De qualquer forma, todos os estudos consultados contribuem para compreender o impacto dos sistemas de produção de bovinos nas alterações climáticas, mais especificamente no que diz respeito às emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (Ridoutt *et al.*, 2014; Herrero *et al.*, 2011; Beauchemin *et al.*, 2010; Thorpe, 2009; Goodland & Anhang, 2009). Alguns estudos optam por uma metodologia abrangente, caracterizada pela inclusão de várias fontes de emissão, que não apenas a fermentação entérica e gestão dos estrumes, e criando os seus próprios critérios de exclusão de variáveis.

Lesschen *et al.* (2011) utilizou o modelo MITERRA-Europe, inicialmente desenvolvido para avaliar os efeitos e interacções das políticas e medidas na agricultura, para calcular as emissões de gases de efeito de estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) associadas à produção de leite e carne de vaca, porco e frango na EU-27. Neste relatório, foram incluídas emissões relacionadas com a produção dos animais e suplementação para animais mas excluídas as emissões provenientes dos transportes e processamento dos produtos animais. Lesschen *et al.* (2011) estimou que a média

da UE-27 para a emissão de GEE na produção de carne bovina se fixa em cerca de 22,5 kg CO<sub>2</sub>e/kg de produto, verificando-se em Portugal um valor próximo de 29 kg CO<sub>2</sub>e/kg de produto, acima da média europeia. O mesmo relatório demonstra que o leite de bovino é o produto que mais impacto tem nas emissões de GEE, embora com valores quase idênticos aos das emissões associadas à carne de bovino, sendo que juntos (carne de bovino e leite de bovino) contribuem para mais de 70% das emissões de GEE do sector da pecuária na EU-27, segundo dados estatísticos do período de 2003-2005.

Weiss & Leip (2012) serviram-se do modelo CAPRI, uma base de dados e modelo de simulação para o sector agrícola da UE, para estimar os fluxos de GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) para 21 fontes de emissão e 7 produtos animais do sector da pecuária na UE. Neste relatório os limites são as quintas de produção, incluindo os processos de abate, tendo sido excluídas emissões provenientes do processamento, transporte, consumo, resíduos e venda dos produtos. No relatório produzido, as estimativas apontam para um peso significativo, no que diz respeito às emissões de GEE associadas à produção, tanto da carne de bovino (28-29%) como do leite de bovino (28-30%). Os restantes produtos, mesmo compilando o seu impacto, não representam mais que 17% dos fluxos totais de GEE. Weiss & Leip (2012) concluíram que Portugal é o sexto país com maior nível de emissões de GEE por kg de carne de bovino produzido, a seguir a países como o Chipre, Letónia e Malta, adjudicando-lhe cerca de 31 kg CO<sub>2</sub>e/kg de produto.

Até 1990, devido à necessidade de conhecer as dinâmicas do metabolismo de animais ruminantes e ao reconhecimento de que a emissão de metano representa uma importante perda de energia, foram desenvolvidos vários métodos de determinação directa das taxas de emissão de metano de cada animal, habitualmente obrigando ao confinamento do mesmo (Lassey, 2007). Mais tarde, pela crescente importância que o “efeito de estufa” foi adquirindo, foi criado um novo método que permite determinar as emissões entéricas de cada animal, independentemente de estar ou não sob confinamento (Lassey, 2007). A técnica utilizada por este método foi adoptada por diversos países, em determinados estudos, incluindo os EUA, o Canadá, a Irlanda, o Brasil, a China, a Índia e a França (Lassey, 2007). Lassey (2007) compilou resultados de alguns dos estudos que fizeram uso da técnica referida para avaliar as taxas de emissão de metano em bovinos. Os resultados registados são bastante variados, verificando um mínimo de 137 g de CH<sub>4</sub>/cabeça/dia e um máximo de 431 gramas de CH<sub>4</sub>/cabeça/dia. A variabilidade é clara e depende de diversos factores, incluindo o tipo de alimentação do animal, a sua idade e raça (Shibata & Terada, 2010), pelo que é importante, no âmbito da elaboração de estimativas, considerar o factor de emissão mais próximo da realidade em questão.

O Inventário Nacional de Emissões (APA, 2014) português considera um número significativo de classes bovinas e atribui, a cada uma delas, diferentes factores de emissão. A tabela 2

representa os factores de emissão para a fermentação entérica nas várias classes bovinas consideradas.

*Tabela 2 - Factores de emissão para a Fermentação Entérica (kg CH<sub>4</sub>/hd/yr), adaptado do NIR (2014)*

<b>Tipo de animal</b>	<b>sub-classe</b>	<b>FE (kg CH<sub>4</sub>/cabeça/ano)</b>	<b>EF (g CH<sub>4</sub>/cabeça/dia)</b>
Bovinos leiteiros	Vacas leiteiras	93,53 – 131,13	256,2 - 359,3
Bovinos de carne	Vitelos de carne (<1 ano)	18,3-20,9	50,1 - 57,3
	Vitelos, machos para reposição (<1 ano)	40,0-45,7	109,6 - 125,2
	Vitelas, fêmeas para reposição (<1 ano)	34,1-39,0	93,4 - 106,8
	Novilhos 1-2 anos	61,7-70,5	169,0 - 193,2
	Novilhas 1-2 anos	42,4-48,5	116,2 - 132,9
	Fêmeas para substituição 1-2 anos	48,3-55,1	132,3 - 151,0
	Touros castrados (>2 anos)	76,7-87,5	210,1 - 239,7
	Novilhas para carne (>2 anos)	51,7-59,1	141,6 - 161,9
	Novilhas para reposição (>2 anos)	51,7-59,1	141,6 - 161,9
	Vacas de carne	75,9-86,7	207,9 - 237,5

Os valores observáveis na tabela são também bastante variados, não atingindo, no entanto, valores próximos dos máximos apresentados por Lassey (2007). Contudo, numa análise comparativa mais detalhada, é possível concluir que as sub-classes analisadas por Lassey (2007) não correspondem às sub-classes representativas da produção de carne em Portugal - a idade dos animais estudados é quase sempre superior a 6 anos - pelo que os valores não são verdadeiramente comparáveis à realidade portuguesa. Como exemplo, em sistemas intensivos portugueses são abatidos vitelos entre os 5 e os 10 meses de idade (Vitelos de carne <1 ano) aos quais é atribuído um factor de emissão máximo de 57,3 g CH<sub>4</sub>/cabeça/dia, valor quase três vezes inferior ao valor mínimo apresentado por Lassey (2007). No entanto, mesmo para as mesmas sub-classes (p.e. Heifers - novilhas que ainda não tenham procriado), os valores comparados diferem amplamente,

dependentes de factores como o tipo de pastagem, a raça do animal ou a digestibilidade de nutrientes (Lassey, 2007).

Tal como foi anteriormente referido, a fermentação entérica não é a única fonte de metano associada aos bovinos uma vez que também os resíduos orgânicos, i.e. estrumes animais, produzem metano por fermentação anaeróbia (González-Avalos & Ruiz-Suárez, 2001). A quantidade de metano produzido na decomposição de matéria orgânica é influenciada pelo clima e pelo modo como os estrumes são geridos, dependendo de factores como o contacto com o oxigénio, níveis de pH, conteúdo de água e disponibilidade de nutrientes (IPCC, 2006). Da mesma forma como foram estimados factores de emissão para a fermentação entérica, o mesmo também já ocorreu para os factores de emissão de CH<sub>4</sub> associados aos estrumes bovinos. Os factores de emissão são, no entanto, bastante mais reduzidos que os da fermentação entérica e dependem das características climáticas específicas de um País e da espécie bovina em questão. O melhor método de determinação de factores de emissão baseia-se na utilização de técnicas não-invasivas de medição das emissões em sistemas representativos dos Países em questão, resultando no desenvolvimento de modelos do tipo Tier 3 (IPCC, 2006). Embora seja uma abordagem recomendada, não é um requisito para a boa prática, uma vez que existem dois outros métodos alternativos de desenvolvimento de factores de emissão – Tier 1 e Tier 2. O primeiro método representa uma abordagem simplificada que depende habitualmente da literatura existente e que é geralmente aplicável à maioria das espécies. O segundo método é mais complexo e requer informação detalhada e específica do País em questão.

Um estudo desenvolvido na América Latina apurou um factor de emissão próximo de zero (0,0004) g CH<sub>4</sub>/cabeça/dia, para condições de fermentação frias (12°C) e sistemas de produção extensivos, e de 1,1 g CH<sub>4</sub>/cabeça/dia, para condições de temperatura quentes (27°C) e sistemas de produção intensivos (González-Avalos & Ruiz-Suárez, 2001). Os resultados supracitados demonstram que o factor máximo de emissão de metano estimado para os estrumes de bovinos de carne nesta região é cerca de 2500 vezes superior ao factor mínimo de emissão, diferença essa explicada por dois factores determinantes: o tipo de alimentação do animal e a temperatura de fermentação, ambos classificados, por González-Avalos & Ruiz-Suárez (2001), como as variáveis de maior influência na quantidade de metano gerada. Também para esta fonte de emissões a literatura está longe de ser consensual. A título de exemplo, o IPCC (2006) atribui, numa metodologia Tier 1 e para a região onde foi desenvolvido o estudo de González-Avalos & Ruiz-Suárez (América Latina), valores até 2 vezes superiores aos máximos estimados por análise directa nesse mesmo estudo. Por outro lado, os factores de emissão atribuídos pelo IPCC às populações bovinas da Europa Ocidental diferem amplamente dos sugeridos para a América Latina e outras regiões, podendo variar, consoante a temperatura e as características das espécies, de 16,4 g CH<sub>4</sub>/cabeça/dia a 252 g CH<sub>4</sub>/cabeça/dia.

Também para as emissões de N<sub>2</sub>O existem estimativas das quantidades produzidas, directa e indirectamente, durante a gestão dos estrumes. A emissão de N<sub>2</sub>O a partir desta fonte depende do conteúdo em azoto e em carbono dos estrumes, e da duração do armazenamento e tipo de tratamento dos mesmos (IPCC, 2006). Os processos químicos que originam as emissões deste GEE dependem da disponibilidade de oxigénio, essencial para a formação de óxidos de azoto, bem como de condições de pH reduzido e humidade limitada (IPCC, 2006). O cálculo deste tipo de emissões faz-se a partir da multiplicação do total de azoto excretado em cada tipo de sistema de gestão de estrumes pelo factor de emissão do sistema em questão. Ocorrem também emissões indirectas resultantes de perdas de azoto volátil, maioritariamente em forma de amónia e NO<sub>x</sub> (IPCC, 2006). Neste tipo de emissões o cálculo faz-se a partir de uma equação semelhante, em que o factor multiplicativo é no entanto a fracção total de azoto volatilizado (IPCC, 2006).

Na tabela 3 é possível consultar as taxas de excreção de azoto aplicadas no Inventário Nacional de Emissões, estabelecidas por peritos do Ministério da Agricultura, e também os valores base sugeridos no IPCC.

*Tabela 3 - Taxa de excreção de N por cabeça e por espécie/categoria animal (Nex). Adaptado de NIR (2014)*

<b>Tipo de animal</b>	<b>sub-classe</b>	Nexc (kg N/cabeça/ano)	Nexc (kg N/cabeça/ano)
		<b>Inventário</b>	<b>IPCC</b>
Bovinos leiteiros	Vacas leiteiras	117.3	100
Bovinos de carne	Vitelos de carne (<1 ano)	25.0	70
	Vitelos, machos para reposição (<1 ano)	25.0	70
	Vitelas, fêmeas para reposição (<1 ano)	25.0	70
	Novilhos 1-2 anos	40.0	70
	Novilhas 1-2 anos	40.0	70
	Fêmeas para substituição 1-2 ano	40.0	70
	Touros castrados (>2 anos)	41.0	70
	Novilhas para carne (>2 anos)	55.0	70
	Novilhas para reposição (>2 anos)	55.0	70
	Vacas de carne	80.0	70

Em Portugal, a emissão de N<sub>2</sub>O resulta, na sua maioria, de emissões provenientes de sistemas de armazenamento sólido e lotes secos, que totalizaram, no período de 1990-2012, 95.2% do total das emissões de N<sub>2</sub>O associadas à gestão de estrumes (APA, 2014). No mesmo período verificou-se um aumento no total de azoto produzido pela pecuária em Portugal, com uma variação de cerca de 40% entre 1990 e 2012 (APA, 2014). A figura 3 ilustra as emissões de N<sub>2</sub>O, distribuídas por espécie animal.

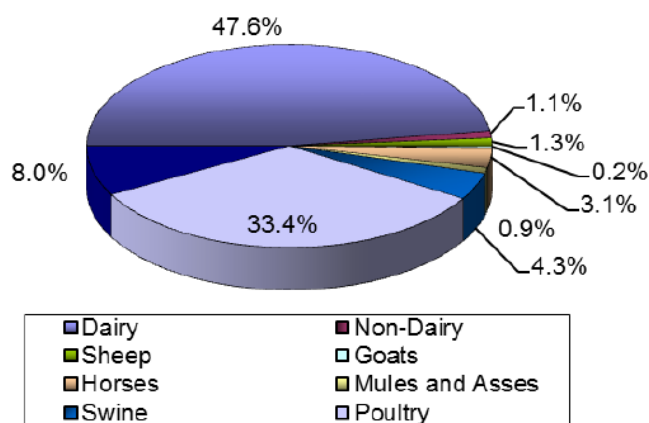


Figura 3- Distribuição das emissões totais de N<sub>2</sub>O provenientes da gestão de estrumes, por espécie animal, no ano de 2012. Fonte: NIR, 2014

Parte do azoto excretado é emitido em forma de N<sub>2</sub>O durante a gestão ou armazenamento dos estrumes, como consequência de processos de nitrificação e desnitrificação (APA, 2014). A espécie que mais contribui (47,6%) para as emissões de N<sub>2</sub>O é da raça bovina, mas da sub-classe leiteira, sendo que os bovinos de carne contribuem apenas com 1,1% das emissões totais deste GEE.

## 2.5 Emissões indirectas de GEE na produção de carne de bovino

Tendo em conta o impacto da pecuária nas emissões de GEE, é importante realçar que apesar de as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O constituírem uma importante parcela das emissões associadas a este sector, as emissões indirectas associadas a toda a cadeia pecuária também devem ser consideradas, como aliás o foram nos estudos mais abrangentes referidos anteriormente. O consumo de energia no processo de produção, o consumo de energia nas unidades de abate, o transporte de animais associado à produção e a energia consumida nas superfícies de venda ao consumidor, são exemplos de processos geradores de emissões indirectas de GEE (Goodland & Anhang, 2009).

### 2.5.1 Consumo de energia na produção de carne de bovino

O consumo de energia na produção de carne depende de diversos factores, dos quais um dos mais importantes seja talvez a sua origem, que poderá ou não ser renovável, bem como mais ou menos poluente. Segundo Veysset *et al.* (2014), as principais fontes de consumo de energia estão bem definidas e são o consumo de combustível e de electricidade, numa vertente directa, e a produção de produtos de suplementação, maquinaria e fertilizantes, numa vertente indirecta. O valor correspondente à média de consumo de energia não renovável para produzir um kg de carne de bovino vivo (MJ/kg PV) é de 30,4 MJ, onde 44% corresponde à energia consumida directamente no local de produção e os restantes 56% a consumos indirectos (Veysset *et al.*, 2014). Contudo, os consumos de energia não renovável variam fortemente entre locais de produção, e o mesmo estudo identificou uma variação até 182%. Tal inconstância é explicada pelos diferentes sistemas de produção usados, bem como pela orientação de cada produção, p.e. se é 100% vocacionada para a produção de carne ou não (Veysset *et al.*, 2010). Em 2007, Bochu reportou o consumo médio de energia não renovável em 37,9 MJ/kg PV (Veysset *et al.*, 2010), enquanto Galan *et al.* (2007) concluiu que o mesmo consumo se situaria entre os 26,8 MJ/kg PV e os 28,6 MJ/kg PV. Kythreotou *et al.* (2012) compilou diversos estudos internacionais que estimam o consumo anual de energia nas produções, sendo que os valores variaram entre 247 kWh/bovino em produções Irlandesas e 737,2 kWh/bovino no Reino Unido. As metodologias usadas para o cálculo, embora bastante aproximadas, incluem pequenas diferenças que auxiliam na justificação da variação de resultados. Ainda assim, as variações registadas dependem de ligações, difíceis de estabelecer, entre os resultados obtidos e os vários sistemas de produção (Veysset *et al.*, 2010). Os modelos utilizados por cada produção englobam diferenças ao nível da eficiência energética, tipos de combustível, usos de fertilizantes, equipamentos, área utilizada, e acesso a produtos alimentícios, pelo que alterações numa variável podem produzir modificações em todas as outras, até de forma desproporcional (Veysset *et al.*, 2010).

### 2.5.2 Emissões indirectas de GEE no processo de abate de bovinos

Os problemas ambientais associados à pecuária não derivam apenas da produção do animal e, como tal, a análise dos processos de abate do animal é igualmente relevante quando o objectivo é estimar as emissões de GEE desta actividade económica. A indústria de abate na União Europeia (UE) é bastante diversificada e a forma como opera em diferentes Países depende dos mercados em que se insere e das características específicas de consumo de cada País (European Commission, 2005). Os centros de abate, ou matadouros, definem-se como instalações destinadas ao abate de animais para consumo humano (European Commission, 1993) e podem ser especializados no abate de um único tipo de pecuária ou polivalentes e preparados para abater mais do que um tipo de animal (Bugallo *et al.*, 2014). O facto de o abate animal ser indispensável para completar o ciclo

de produção de carne num determinado País, torna-o um importante sub-sector da indústria pecuária.

Os processos de abate variam de forma significativa consoante o tipo de animal em causa, sendo que em geral passam por (1) operações prévias, (2) abate e preparação, (3) preparação da carcaça, (4) pós-processamento e (5) operações auxiliares (Bugallo *et al.*, 2014). Quando o animal é recebido, marcando o início do processo, procuram manter-se os seus níveis de adrenalina normais de forma a melhorar a qualidade da carne. O animal é então anestesiado e, de seguida, atordado e suspenso. O processo de abate e preparação inicia-se com a sangria, decorrendo de seguida a evisceração. As carcaças são então lavadas e divididas em partes, sendo depois refrigeradas ou congeladas de forma a evitar o risco de proliferação de microrganismos.

Do ponto de vista do impacte ambiental relacionado com emissões de GEE, é importante destacar, como aspectos ligados à actividade dos matadouros, o consumo de electricidade, o consumo de combustível e as emissões de gases de caldeiras a vapor (Bugallo *et al.*, 2014). Os consumos de electricidade, relacionados maioritariamente com o transporte, atordoamento, câmaras de refrigeração e maquinaria, variam entre 36 e 154 kWh/t de carcaça (European Commission, 2005 citado por Bugallo *et al.*, 2014). Os consumos de combustível são destinados sobretudo à produção de energia térmica, nomeadamente para aquecimento dos espaços (10 a 20%) e para limpeza e desinfecção (80 a 90%) (Ramírez, *et al.*, 2006). Diversos autores apontam a refrigeração como o processo responsável pelo maior consumo de energia, variando entre 45 a 90% do total de energia eléctrica consumida num matadouro (Ramírez *et al.*, 2006).

Num sector como o da produção de carne, as variações encontram-se estreitamente dependentes das alterações nas preferências dos consumidores, pelo que a própria utilização de energia nos matadouros depende também de factores relacionados com o lado do consumo e não apenas da produção (Ramírez *et al.*, 2006). Alterações na procura de produtos congelados e variações na procura de carnes de corte e sem osso, são exemplos de dois factores com grande influência nos consumos de energia: (1) o aumento ou decréscimo na quantidade de produtos de carne congelados é determinante pois o processo de congelamento aumenta a utilização de energia; (2) se a procura por carnes de corte e produtos desossados diminuir, diminui igualmente a utilização de electricidade e combustíveis (Ramírez *et al.*, 2006). Se após o abate se verificasse uma tendência que apontasse para o congelamento das carcaças, as alterações nos consumos eléctricos poderiam significar um aumento de 80 kWh/t de carcaça (Ramírez *et al.*, 2006). Caso a mesma tendência positiva se verificasse na procura de carnes de corte e produtos desossados, o incremento poderia ser de 60 kWh e de 216MJ (combustível) por tonelada de produto acabado (FEI, 2000). Tem-se vindo a verificar uma tendência para um decréscimo na procura de produtos de carne congelados, mas a parcela de carnes de corte e sem osso tem confirmado uma tendência de aumento (Ramírez *et al.*, 2006).

### 2.5.3 Consumo de energia na venda de produtos de carne de bovino

Para além do consumo de energia no processo de abate e consequentes processos de armazenamento de carne no estabelecimento, também o consumo de energia associado às superfícies de venda tem peso nas emissões indirectas de CO<sub>2</sub>. A título de exemplo, estima-se que a refrigeração de comida seja responsável por aproximadamente 2,4% das emissões anuais de GEE do Reino Unido (James & James, 2010). É necessária energia para manter a refrigeração dos produtos e a geração de energia contribui para produção de CO<sub>2</sub>. No entanto, existem algumas dificuldades para obter dados que ofereçam solidez às estimativas de emissões associadas a esta fonte (James & James, 2010).

Após saída dos matadouros, grande parte dos produtos de carne são transportados para superfícies de venda directa ao consumidor que por sua vez os mantêm, até serem vendidos, congelados ou refrigerados. O consumo de energia em grandes superfícies varia amplamente e pode depender de vários factores tais como o tipo e o tamanho da loja, práticas de negócio e sistemas de controlo de refrigeração usados (Tassou, 2011). Segundo análise realizada a uma amostra de 2570 superfícies de venda de produtos alimentares, o processo de refrigeração de produtos contribui para cerca de 29% do consumo de energia eléctrica em grandes superfícies de venda e em cerca de 60% em lojas de conveniência de produtos alimentares (Tassou, 2011). Outros autores referem que 40% da carga média eléctrica em grandes superfícies pertence a processos de refrigeração, dos quais 37% do consumo está associado a refrigeração de produtos congelados e 63% de produtos refrigerados (Sugiartha *et al.*, 2009).

## 2.6 O papel do consumidor

Torna-se de certa forma intuitivo perceber que, uma vez que os processos associados à indústria da produção de carne têm impacto nas emissões de GEE, o comportamento do consumidor e os seus padrões de consumo também têm o poder de influenciar as quotas de emissão de GEE associadas à cadeia de valor da produção de carne. Segundo a FAO, o consumo de alimentos a nível mundial pode verificar um incremento de 250kcal/capita/dia até 2030. Caso o consumo de carne acompanhe as alterações previstas para o incremento no consumo calórico, as consequências para as alterações climáticas podem ser devastadoras (Bailey *et al.*, 2014).

A evolução tecnológica e as alterações nos métodos de produção na pecuária são meios de redução cruciais das emissões associadas à produção de carne mas, de forma isolada, não poderão gerar as reduções necessárias para limitar o aquecimento global e outras alterações relevantes (Bailey *et al.*, 2014). Na sequência desta linha de evidências, alguns autores crêem que são necessárias alterações comportamentais individuais e na sociedade de forma a moderar o consumo de carne (Bailey *et al.*, 2014; Powell & Lenton, 2012). No entanto, alterações comportamentais requerem

profunda sensibilização da população bem como um forte entendimento das relações causais entre certos tipos de dietas e as alterações climáticas (Bailey *et al.*, 2014). O IPCC (2014) também aponta o lado da procura como detentor de um grande potencial de redução das emissões de GEE associadas à pecuária. A título de exemplo, Dickie *et al.* (2014) estima que uma redução do consumo de carne *per capita* a nível mundial para 90g por dia, tal como recomenda Harvard Medical School (UNFCCC, 2013), poderia significar uma redução de 2,15 Gt CO<sub>2</sub>e /ano nas emissões de GEE, em 2030. Como se torna claro, a produção e consumo de carne são responsáveis por uma grande fracção das emissões globais de GEE e Scarborough (2014) refere até que as emissões associadas a uma dieta de alguém que coma carne podem ser até duas vezes mais altas do que as de uma dieta *vegan*.

Apesar de todas as evidências, e comparativamente a outros sectores, o reconhecimento público da pecuária como um sector de grande impacto nas alterações climáticas é notoriamente reduzido (Bailey *et al.*, 2014). De facto, uma grande parte dos consumidores, especialmente aqueles que consomem carne com mais regularidade que outros, não têm conhecimento de que o consumo de carne provoca degradação ambiental (National Geographic, 2014) e esta lacuna de conhecimento dificulta a resposta no lado da procura. De forma a avaliar a extensão desta lacuna de conhecimento, Bailey *et al.* (2014) desenvolveram o primeiro estudo multi-língua e multi-nações destinado a conhecer a opinião pública sobre a relação entre o consumo de carne/lacticínios e as alterações climáticas. O estudo concluiu que apesar do elevado reconhecimento global de que as actividades humanas contribuem para as alterações climáticas (83% dos respondentes), a identificação do sector da pecuária como contribuidor para as alterações climáticas revelou-se, entre todos os sectores possíveis, marcadamente reduzida – a mais reduzida.

É importante realçar que a relação entre a disponibilidade para mudar e a familiarização com as alterações climáticas é, de acordo com o mesmo estudo, bastante estreita. Entre aqueles que se mostraram disponíveis para alterar os seus padrões de consumo de carne, 61% concordam veementemente que a actividade humana contribui para as alterações climáticas. Consumidores com reduzido entendimento da contribuição de um sector para as alterações climáticas têm menos probabilidade em indicar disponibilidade para alterações comportamentais com vista à redução de emissões e, comparativamente com outros sectores, este hiato de conhecimento parece ser uma problemática para a pecuária (Bailey *et al.*, 2014). Crê-se, tendo em conta o referido, ser crucial aumentar a sensibilização e o reconhecimento público de que o sector da pecuária tem um impacto significativo nas emissões de GEE, uma vez que é presumível que tal amplie a disponibilidade do consumidor para agir (Bailey *et al.*, 2014).

## 2.7 Estratégias de mitigação

Apesar do potencial que alterações no lado da procura representam para a redução das emissões de GEE associadas à produção de carne, as opções de mitigação das emissões deste sector são bastante mais amplas e passam por diversas abordagens. Moderar os níveis de produção seria um caminho directo para a redução de emissões mas, porquanto os padrões de consumo e consequente produção, oferecem resistência à mudança, é necessário projectar estratégias de mitigação capazes de baixar os níveis de emissão sem comprometer a produção.

Têm sido desenvolvidos diversos estudos focados em estratégias de mitigação para a redução de emissões de GEE associadas à pecuária e alguns oferecem abordagens muito específicas, incluindo o uso de óleos essenciais, vacinação, escolha dos animais e manipulação da microflora do rúmen (Eckard *et al.*, 2010; Benchaar, 2011; Buddle, 2011; Benchaar & Greathead, 2012; Kumar *et al.*, 2014). Outras abordagens têm o seu foco em estratégias de manipulação dos sistemas de produção e das dietas animais, com particular ênfase nos efeitos na produção animal e emissões de CH<sub>4</sub> (Grainger & Beauchemin, 2011; Beauchemin, 2011).

As variações na emissão animal de CH<sub>4</sub> por unidade alimentar ingerida foram já amplamente reportadas e merecem atenção. A eficácia com que os animais digerem o ingerido tem como consequência um maior ou menor nível de emissões de CH<sub>4</sub>, sendo que as 19.3 g/kg matéria seca ingerida, reportadas por Clark *et al.* (2005), podem sofrer variações de até 15%, dependendo das características do animal. Reduzir o número de animais pouco produtivos, com maiores quantidades de CH<sub>4</sub> emitidas por kg de matéria seca ingerida, pode revelar-se uma estratégia capaz de contribuir tanto para o aumento das margens de lucro como para a redução nas emissões de CH<sub>4</sub> (Eckard *et al.*, 2010). Claro que a partir de manipulação das dietas animais, quer seja a partir de pastagens de baixo teor em fibras e elevado teor em hidratos de carbono solúveis, quer seja a partir de pastagens menos maduras, também é possível reduzir as emissões de CH<sub>4</sub> (Benchaar *et al.*, 2008). Também a quantidade de gordura nos alimentos ingeridos tem influência na quantidade de CH<sub>4</sub> gerada e alguns estudos indicam que, para conteúdos de gordura acima dos 6% - 7%, podem verificar-se reduções na quantidade de metano emitido de 10% a 52% com a adição de óleos essenciais à dieta dos animais (Benchaar *et al.*, 2008; Benchaar & Greathead, 2012). A utilização de óleos essenciais, que são misturas complexas de metabólitos lipofílicos voláteis, tem o potencial de inibir selectivamente a formação entérica de CH<sub>4</sub> mas a segurança da sua utilização com vista à optimização da produção animal e redução dos impactes ambientais requer ainda investigação (Benchaar & Greathead, 2012). Melhorar a qualidade das dietas pode, por um lado, melhorar o desempenho animal e, por outro, reduzir a produção de CH<sub>4</sub> entérico (Eckard *et al.*, 2010). Contudo, se a alteração na dieta incluir o incremento de grãos poderá verificar-se um aumento nas emissões de N<sub>2</sub>O e nas emissões associadas aos transportes (Eckard *et al.*, 2010).

Uma vez que animais ruminantes excretam entre 75 a 95% do azoto (N) que ingerem, sobretudo a partir da urina, as estratégias de redução das emissões de N<sub>2</sub>O devem também passar pelo aumento de eficiência do ciclo de azoto no sistema solo-planta-animal. Hipoteticamente, se a urina animal se depositasse de forma mais homogénea ao longo das pastagens, a taxa de aplicação de N diminuiria, levando a um decréscimo nas emissões de N<sub>2</sub>O (Eckard *et al.*, 2010). A manipulação genética ou a reprodução animal selectiva também se firmam como potenciais estratégias para a redução de N<sub>2</sub>O. Poderá p.e., a partir deste tipo de estratégias, ser melhorada a eficiência na conversão de N no rúmen e possibilitada a produção de animais que urinam mais frequentemente ou que caminhem enquanto urinam, contribuindo para menores concentrações de N ou maior dispersão da urina (Eckard *et al.*, 2010). Novas tecnologias de sequenciação de DNA têm revolucionado as ciências biológicas e podem ser particularmente úteis para adquirir conhecimento mais detalhado acerca do funcionamento dos processos de génese de metano no rúmen (Buddle *et al.*, 2011). A vacinação de bovinos contra metanogenes do rúmen tem o potencial de reduzir as emissões de metano a partir da redução da actividade deste tipo de microrganismos no rúmen, sendo que a maior vantagem desta abordagem se prende com a relação custo-eficácia e praticabilidade do método (Buddle *et al.*, 2011). O mesmo autor realça que, para o caso da manipulação genética, devem ser ponderadas questões éticas e questões relacionadas com o desconhecimento científico das consequências que algumas destas aplicações poderão ter na integridade das espécies, ecossistemas e na saúde animal e humana.

A aplicação de inibidores de nitrificação aos solos é outro método com potencial para a redução de emissões de N<sub>2</sub>O (Eckard *et al.*, 2010). Os inibidores de nitrificação são compostos químicos capazes de impedir a oxidação de alguns compostos de azoto e consequentemente reduzir as emissões provenientes de fertilizantes e urina (McCarthy, 1998). Aplicados em forma de *spray*, os inibidores de nitrificação podem reduzir as emissões de N<sub>2</sub>O em 61%-91% (Di *et al.*, 2007), podendo contudo levantar preocupações ambientais noutros aspectos, nomeadamente no âmbito de perturbações ao ciclo do azoto. Por outro lado, a restrição das pastagens em solos sazonalmente húmidos, através da redução do tempo de pastagem nas estações húmidas, também pode contribuir para a redução das emissões N<sub>2</sub>O em 7%-11% (Klein *et al.*, 2006 citado por Eckard *et al.*, 2010). Ainda assim, para além da redução directa do *input* de N nos sistemas de pasto, os inibidores de nitrificação são actualmente uma das poucas tecnologias bem investigadas disponível para reduzir as perdas de N pelos solos (Eckard *et al.*, 2010).

Todas as estratégias de mitigação existentes revelam níveis distintos de aplicabilidade, custo e adesão, demonstrando estar em fases de desenvolvimento diferentes e melhor ou pior estruturadas e investigadas. Embora seja positivo que estejam a ser consideradas diversas abordagens, é crucial que sejam estudadas as interacções que desenvolvem entre si e os impactos que têm no sistema completo e não apenas em fracções isoladas do mesmo (Eckard *et al.*, 2010). O desenvolvimento

de modelos que permitam a integração de várias variáveis em simultâneo é essencial para assegurar p.e. que uma estratégia redutora de impactos num ponto da cadeia não provoque o aumento de emissões noutra ponto da mesma cadeia (Eckard *et al.*, 2010).

## 2.8 Dinâmica de sistemas: *leverage points*

A dinâmica de sistemas é uma abordagem que pode desempenhar um papel relevante na avaliação deste complexo problema. Os modelos mentais são limitados, internamente inconsistentes e frágeis, pelo que a habilidade do ser humano para compreender os impactos indirectos das suas decisões é reduzida (Sternman, 2001). Os sistemas dinâmicos caracterizam-se pela interdependência dos seus elementos, apresentando relações lineares e não-lineares, com efeitos de retroacção e atrasos, nem sempre evidentes, nesses efeitos (Sternman, 2001). A tentativa de aplicar abordagens simplistas a sistemas complexos limita a capacidade de compreender os impactos indirectos das decisões, sendo que acções legitimamente correctas no curto prazo podem, devido à imperfeita apreciação humana da complexidade, revelar-se negativas e imprevisíveis a longo prazo (Sternman, 2001). Este autor defende que a abordagem holística dos sistemas dinâmicos permite aprender mais depressa, de forma mais eficaz e a identificar os pontos com maior influência nos problemas do sistema. A abordagem de dinâmica de sistemas procura simular o comportamento de um sistema ao longo do tempo, modelando situações de complexidade dinâmica com base as relações causais entre as variáveis em causa (Rashwan *et al.*, 2015).

Na análise de sistemas dinâmicos, os *leverage points* constituem pontos de grande importância para os seus analistas. Pode dizer-se que são pontos, de entre um sistema complexo, onde pequenas mudanças numa variável têm o potencial de produzir grandes alterações no comportamento do sistema (Meadows, 1997). Podem ser considerados atalhos para o sucesso ou apenas uma espécie de portais que dão acesso a rotas certas, que evitam a maior parte dos obstáculos. A identificação de um ou mais *leverage points* num sistema pode, aparentemente, ser intuitiva, mas Meadows (1997) alerta para o facto de os *leverage points* serem, na sua maioria, contraintuitivos: *Leverage points* não são intuitivos ou, se o forem, são intuitivamente usados inversamente, tornando sistematicamente maiores os problemas que se tentam resolver. Este tipo de consequências inintencionais é sobretudo atribuída à não linearidade das interações do sistema e por limitações cognitivas humanas apenas contornáveis por *frameworks* de trabalho como as da dinâmica de sistemas (Davies & Davies, 1994). A abordagem de dinâmica de sistemas coloca em causa algumas convicções assumidas (Sternman, 2002) e conduz, por vezes, a resultados diferentes dos esperados, ou seja, contraintuitivos, limitando a aceitabilidade da abordagem e produzindo reacções de resistência (Meadows, 1997).

Donella Meadows ajuda a perceber de modo concreto de que forma os sistemas reais podem ser tão complexos e difíceis de analisar. O estado de um sistema pode ser considerado um *stock* – a quantidade de água numa barragem, o número de pessoas de uma população ou a quantidade de dinheiro no banco, por exemplo. Os *stocks* aumentam ou diminuem consoante os *inflows* ou os *outflows*, fluxos de entrada e saída que os afectam, alterando o estado do sistema. O peso de uma balança aumenta se forem colocadas pedras num dos pratos, diminui se uma das pedras cair. Se uma banheira com um certo nível de água for considerada o estado de um sistema, a água da torneira um fluxo de entrada e a água que escorre pelo ralo um fluxo de saída, entender-se-á a dinâmica de *stocks* e *flows* de forma expedita. Se o nível de uma banheira demora até acumular, também um fluxo de qualquer tipo não é de acumulação imediata – se a taxa do fluxo de entrada for superior à do fluxo de saída o tamanho do *stock* diminui gradualmente (Meadows, 1997). O sistema pode ainda tornar-se mais complexo, bastando acrescentar p.e. uma torneira quente e uma torneira fria e que, para além do ajuste ao nível de água, também esteja a ocorrer o ajuste a outro *stock* – a temperatura. A torneira da água quente pode estar conectada a uma caldeira instalada quatro andares abaixo da banheira, pelo que não responderá imediatamente, e o fluxo da água fria pode até ser variável uma vez que a canalização é antiga e tem fugas. O sistema tornou-se imediatamente mais complexo e realista, estando apenas à distância de um exercício de visualização mental para que se possa comparar a um sistema ainda mais complexo. Imagine-se que no lugar da banheira está uma conta bancária – acrescente-se os cheques, os depósitos, os juros, os débitos e, por fim, conecte-se essa conta a milhares de outras, permitindo ao banco criar empréstimos como função dos depósitos – e começa a ser fácil perceber de que forma um simples conjunto de *stocks* e *flows*, ligados entre si, criam sistemas muito complexos e cujos *leverage points* não são, de todo, intuitivos (Meadows, 1997).

Donella Meadows desenvolveu aquilo a que chamou de “pontos a intervir num sistema” que, não representando uma fórmula absoluta, constituem um excelente contributo como método de identificação de *leverage points*. Na figura 4 apresenta-se lista de “pontos a intervir num sistema”, organizada por ordem crescente de eficácia.

12. Constantes, parâmetros, números (p.e. subsídios e taxas);
11. O tamanho de tampões e outros *stocks* estabilizadores, relativamente aos seus fluxos;
10. A estrutura de *stocks* e fluxos materiais (p.e. redes de transportes, estrutura etária de uma população);
9. A duração dos desfasamentos temporais, relativos à taxa de alteração do sistema;
8. A força dos ciclos de retroacção negativos, relativamente aos impactos que tentam corrigir;
7. Os ganhos dos ciclos de retroacção positivos;
6. A estrutura dos fluxos de informação (quem tem e não tem, dentro de um sistema, acesso a informação);
5. As regras do sistema (p.e. incentivos, penalizações e condicionamentos);
4. O poder de adicionar, alterar, evoluir ou auto-organizar a estrutura de um sistema;
3. Os objectivos do sistema;
2. A mentalidade ou paradigma na qual o sistema – os seus objectivos, estrutura, regras, desfasamentos e parâmetros – se baseia;
1. O poder de transcender paradigmas.

Figura 4 - Pontos a intervir num sistema, adaptado de Meadows (1997)

A lista produzida por Meadows, afastada de absolutismos, é a compilação de várias décadas de análise rigorosa de vários tipos de sistemas realizada por diferentes intelectos. Contudo, como referido, a lista não é uma fórmula certa para a identificação de *leverage points*, uma vez que os sistemas complexos obrigam a análises individualizadas de cada caso, sendo aconselhável evitar generalizações (Meadows, 1997).

De forma a que seja possível compreender cada ponto da lista de forma mais objectiva, ou seja, de que modo podem estes pontos ter influências em sistemas reais, segue-se uma série de interpretações dos mesmos, criadas também por Donella Meadows, para cada um dos potenciais *leverage points*. No ponto mais baixo da lista, os parâmetros, que embora possam ser importantes, raramente alteram um sistema que esteja estagnado ou com tendências descontroladas. As constantes, parâmetros e números podem funcionar como *leverage points*, mas apenas quando têm influência sobre pontos da lista mais eficazes enquanto *leverage points*, i.e. um parâmetro pode ser, mais que apenas um parâmetro, um objectivo do sistema ou um ponto de controlo dos ganhos dos ciclos de retroacção positivos. Para assegurar um *stock* de pescas p.e., os governos estabelecem quotas anuais de pesca e, para ajustar os níveis de poluição do ar, são estabelecidos parâmetros de qualidade do ar.

A alteração do tamanho dos tampões, por sua vez, oferece grande poder de alavancagem mas os tampões são, em sistemas reais e grande parte das vezes, entidades materiais difíceis de alterar. Em química e noutros campos, um *stock* estabilizador é conhecido como tampão e é esta característica que faz com que seja necessário, p.e., manter mais do que uma população mínima de uma espécie ameaçada.

A estrutura física de um sistema é decisiva e de grande importância para o seu funcionamento, mas raramente constitui um *leverage point*, pois alterações físicas dificilmente são rápidas ou simples de executar. No momento em que a rede de estradas Húngara foi estabelecida de forma a que todo o tráfego que necessitasse atravessar a nação de um lado ao outro tivesse de passar pelo centro de Budapeste, criaram-se padrões de poluição do ar e atrasos no trânsito muito difíceis de alterar através da implementação de semáforos, limites de velocidade ou métodos de controlo de poluição.

Já os desfasamentos em ciclos de retroacção podem ter grande influência no comportamento de um sistema e são frequentemente a causa de oscilações, sobretudo aquando de ajustamentos de sistemas que oferecem constantemente informação atrasada sobre os seus estados actuais. Desfasamentos como o que ocorre entre o momento em que um poluente é depositado no solo e o momento em que atinge o lençol freático, são pontos aos quais os analistas de dinâmica de sistemas dão grande importância.

Os ciclos de retroacção negativos são mecanismos de controlo em que o resultado das acções condiciona a taxa de mudança dessa mesma, mantendo os sistemas dentro de limites seguros. A força destes ciclos depende da sensibilidade da monitorização e da magnitude do factor de correção, sendo que por vezes estes mecanismos podem representar *leverage points*.

Um ciclo de retroacção positivo funciona em sentido oposto: quanto mais trabalha, mais poder adquire para trabalhar ainda mais. Por exemplo, quanto mais pessoas contraírem uma doença infecciosa, mais pessoas são infectadas. Metaforicamente, é o mesmo que recompensar o vencedor de uma competição com recursos que lhe permitam ganhar ainda mais facilmente na próxima competição. Reduzir a força dos ciclos de retroacção positivos é, frequentemente, um *leverage point* mais poderoso que o enfraquecimento dos ciclos de retroacção negativos.

Adicionar ou restaurar informação pode ser uma intervenção poderosa para o funcionamento de um sistema, usualmente mais fácil e menos dispendiosa que reconstruir a estrutura física do mesmo sistema. Imagine-se, para compreensão, o efeito que teria legislar que qualquer fábrica que utilize água de um rio deve fazer a sua captação imediatamente a jusante do fluxo de saída da mesma, depois de usada.

As regras do sistema são poderosos *leverage points* e, na procura de entendimento no mau funcionamento de um sistema, prestar atenção às regras e a quem tem poder sobre elas, pode ser

um excelente indicador das razões de mau funcionamento do mesmo. No entanto, acima da capacidade de um sistema em alterar as suas próprias regras está a capacidade de evoluir, de se alterar ou reorganizar. A capacidade de auto-organização de um sistema significa alterar qualquer aspecto nos pontos anteriores da lista e é a forma mais forte de resiliência de um sistema. Um sistema capaz de evoluir é capaz de sobreviver a praticamente qualquer ameaça, assim como o sistema imunitário humano é capaz de desenvolver novas respostas a alguns tipos de agressões a que nunca tenha sido antes sujeito.

Por sua vez, os objectivos do sistema representam um *leverage point* mais forte que qualquer outro até agora referido uma vez que, de acordo com o objectivo do sistema, todos os pontos acima na lista – i.e. fluxos, ciclos de retroacção e até comportamento de auto-organização – estarão orientados para o cumprir. Contudo, até o objectivo de um sistema depende de algo superior, com maior influência sob o sistema. Os paradigmas são a base dos sistemas e a partir deles, das ideias subliminarmente partilhadas pela sociedade, surgem os objectivos do sistema, os fluxos de informação, os ciclos de retroacção, os *stocks* e tudo aquilo que está associado a um sistema. De Einstein a Copérnico, as figuras que foram capazes de intervir em sistemas ao nível de alterações no seu paradigma, tocaram sempre em pontos que transformaram profundamente os sistemas. Meadows refere, no entanto, que apesar das mudanças de paradigma serem poderosíssimos *leverage points*, a capacidade de um sistema se manter flexível, afastado de paradigmas dogmáticos e apoiado num único paradigma – o paradigma de que existem outros paradigmas – é o mais forte *leverage point* que pode existir em qualquer sistema.

A aplicação de modelos de dinâmica de sistemas a actividades com impacto ambiental pode servir vários propósitos incluindo uma visão integrada das mesmas e facilitação na identificação de *leverage points* ou áreas de investigação fundamentais, que permitam priorizar acções e entender a importância de alterar o sistema a uma profundidade superior aos seus “sintomas” (Rashwan *et al.*, 2015; Nguyen & Bosch, 2013). Em qualquer sistema que requeira uma gestão sustentável surge uma importância significativa de identificação de *leverage points*, capazes de formar uma base de distinção de prioridade e eficácia das intervenções estratégicas disponíveis que, em suma, poderão facilitar a criação de resultados sustentáveis e duradouros (Nguyen & Bosch, 2013).

## 3. Metodologia

### 3.1 Definição do âmbito

O presente trabalho tem como objectivo principal avaliar o impacto da produção de carne de bovino nas emissões de gases com efeito de estufa em Portugal, pelo que a metodologia desenvolvida para a avaliação desta questão contempla por um lado, as etapas associadas à produção deste produto que contribuem para as emissões deste tipo de gases, e por outro pretende aglomerar, em indicadores representativos, as emissões provenientes desta actividade, para um período de análise anual. A metodologia em questão é semelhante a uma análise de ciclo de vida, próxima da abordagem *cradle-to-gate* (do berço ao portão), embora com limites de análise mais estreitos e com algumas variantes de análise – são admitidas as etapas posteriores à saída das explorações mas não é contemplado o transporte do produto até ao “portão” do consumidor.

Para o desenvolvimento deste estudo foram estabelecidos limites de análise, quer por limitações no acesso a dados ou por limitações de ordem temporal, que permitiram estruturar o tipo de informação necessária e refinar a pesquisa e tratamento dos dados disponíveis. De uma forma simples, os limites desta análise de impacto cingem-se ao processo iniciado na produção do animal, ou seja desde a sua gestação, e terminado na disposição de produtos de carne na prateleira de uma superfície de venda. Como etapas principais deste processo deve destacar-se a produção animal, o abate em matadouros, a desmancha e processamento, a permanência nas superfícies de venda e o transporte necessário para deslocar o animal ou produto de local em local. As alterações ao uso dos solos, a produção de suplementos e rações de alimentação animal, o transporte dos mesmos, bem como o transporte dos produtos finais por parte do consumidor, foram excluídos da análise.

Como objectivo secundário do trabalho, surge a identificação de potenciais *leverage points* para a redução das emissões de gases de efeito de estufa deste sub-sector da pecuária – a produção de carne de bovino. O contexto mental que algumas leituras de dinâmica de sistemas ajudaram a criar, auxiliou na selecção de uma abordagem inovadora ao problema, sistematizada por Donella Meadows (1997), capaz de sugerir opções de mitigação consoante uma ordem de eficácia. A partir da identificação das opções de mitigação mais promissoras, são criados cenários intemporais para teste e visualização dos efeitos das opções de mitigação.

A metodologia que esteve na base do desenvolvimento desta tese de mestrado resultou da compilação de estudos internacionais acerca das várias fases, associadas à produção de carne de bovino, com impacto nas emissões de GEE, mas também no tratamento de informação estatística nacional muito desagregada e de informação de uma base de dados do Instituto de Financiamento

da Agricultura e Pescas totalmente virgem, produzida propositadamente para este trabalho. Como método auxiliar, embora em forma de contributo meramente qualitativo, o acompanhamento que fizemos da empresa Lasting Values num projecto de consultoria para a Sonae MC, serviu de validação tanto da metodologia utilizada como daquilo que se retirou da literatura. Foram realizadas visitas, seguidas de reuniões exploratórias, a um matadouro, a uma exploração de bovinos no Alentejo e à segunda maior sala de desmancha e processamento do País. As visitas permitiram conhecer, *in loco*, o funcionamento dos vários processos inerentes a esta actividade e corroborar, bem como acrescentar, algumas ideias e conhecimentos adquiridos previamente.

De todos os aspectos focados na revisão da literatura, em Portugal apenas estão bem retratadas as emissões associadas à fermentação entérica e gestão de estrumes. Como tal, a presente dissertação constitui um contributo para o conhecimento do impacto do processo de produção de carne de bovino nas emissões de GEE.

### 3.2 Dados de actividade

Ilustrada de forma clara a cadeia de valor de produção de carne de bovino em Portugal e estabelecidos os limites de análise à mesma, com vista à estimativa das suas emissões de gases com efeito de estufa, tornou-se prioritário identificar as variáveis chave desta actividade. Apresenta-se na figura 5, de forma cronologicamente ordenada, a cadeia de produção de carne de bovino em Portugal, salientando-se os pontos da cadeia responsáveis por emissões de GEE, directas ou indirectas, discriminadas quanto à sua origem.

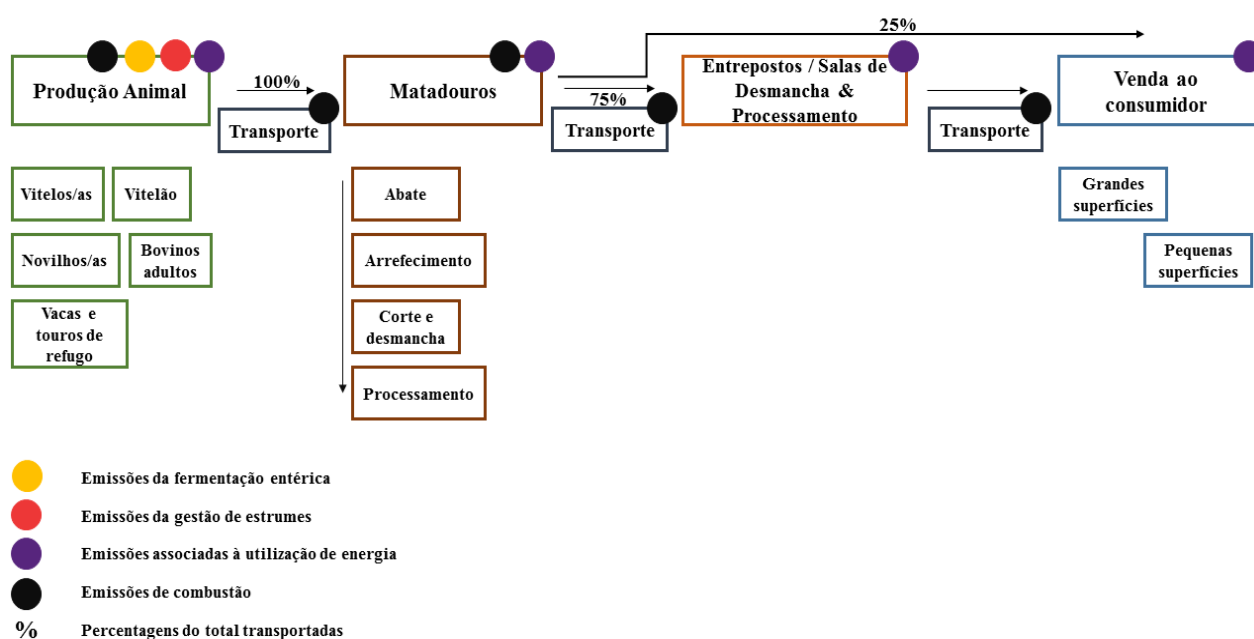


Figura 5 - Cadeia de produção de carne de bovino em Portugal

### 3.2.1 Produção animal

Como se observa no esquema, à produção de animal, que inclui diferentes designações de bovinos produzidos consoante a sua idade, são alocadas as emissões directas de GEE provenientes dos processos de fermentação entérica e gestão de estrumes, mas também emissões indirectas associadas à produção da energia usada nos locais de produção. Depois de atingirem o peso de abate, segundo condições definidas pelo cliente ao qual a carne se destine, os animais são transportados para os matadouros, num processo a que estão associadas emissões de GEE provenientes da combustão do combustível por veículos pesados de mercadorias. Recebidos nos matadouros, os animais são abatidos e armazenados em câmaras frigoríficas, em meias carcaças, por cerca de 48 horas. As carcaças podem então seguir directamente para salas de desmancha e/ou processamento independentes, ou ser cortadas, desmanchadas e/ou processadas no próprio matadouro, em qualquer um dos casos em espaços refrigerados. Aos processos referidos estão naturalmente associadas emissões indirectas provenientes da utilização de energia do matadouro, que varia entre energia eléctrica, gás natural e outros combustíveis fósseis. Ocorrem ainda três processos de transporte, do matadouro para as superfícies de venda, do matadouro para os entrepostos, que são também salas de desmancha e/ou processamento, e dos entrepostos para as superfícies de venda.

De forma a estimar as emissões provenientes das várias fontes enumeradas, foi definido um método de combinação de informações de diferentes origens, quer directamente provenientes da realidade portuguesa quer extraídas da literatura. Foram apenas usados dados de literatura aquando da inexistência de dados de medição directa ou referentes à realidade portuguesa, bem como no caso de obsolescência dos dados disponíveis. A tabela 4 sistematiza as fontes de informação utilizadas. Os níveis de incerteza ilustrados pelas três cores distintas representam o grau de confiança associado a cada uma das fases em questão.

Tabela 4 - Dados de actividade e respectiva origem

	<b>Produção animal</b>	<b>Matadouros</b>	<b>Desmancha &amp; Processamento</b>	<b>Superfícies de venda</b>
<b>Energia</b>	IFAP; Veysset <i>et al.</i> (2014); Kythreotou <i>et al.</i> (2012)	IFAP; Toresen <i>et al.</i> , (2001); Ramírez <i>et al.</i> (2006); Finish Environment Institute, (2002)	IFAP; Ramirez <i>et al.</i> , 2006	Tassou <i>et al.</i> (2014); Ramírez <i>et al.</i> (2006); Arias (2005)
<b>Fermentação entérica</b>	NIR; IFAP			
<b>Gestão dos estrumes</b>	NIR; IFAP			
<b>Emissões de combustão</b>	IFAP; EMEP/EEA			

Níveis de incerteza: Reduzido ; Moderado ; Elevado

As emissões relativas à fermentação entérica e as provenientes da gestão de estrumes são estimadas pelo Inventário Nacional das Emissões Atmosféricas que Portugal submete anualmente em dois tipos de suporte - Common Reporting Format (CRF) e National Inventory Report (NIR) - no âmbito dos compromissos comunitários e internacionais assumidos relativamente à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), à Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteira de Longo Alcance (UNECE) e à Directiva relativa aos Tectos Nacionais de Emissões (UE). O objectivo passa por alocar este tipo de emissões à carne produzida anualmente, proveniente dos animais abatidos em Portugal, e traduzi-lo em kg CO<sub>2e</sub>/kg produto. Para tal é necessário compreender que, embora o objectivo seja alocar as emissões ao número de animais abatidos, devem ser consideradas também as emissões associadas à infraestrutura biológica que permitiu a existência desses animais, ou seja, as vacas e touros que permitiram a sua nascença. Recorreu-se à opinião de peritos em produção animal para determinar as características desta infraestrutura, nomeadamente no que diz respeito à contribuição das vacas e touros para as emissões associadas à produção de um animal para abate. Determinou-se que, em média, no período de um ano, uma vaca tem a seu cargo dois vitelos, sendo que em cerca de 6 meses do ano está exclusivamente em período de gestação e que noutros 6 está em período de gestação e amamentação em simultâneo. Já os touros cumprem apenas um papel reprodutor, tendo a capacidade média de fecundar cerca de 50 fêmeas por ano. De uma perspectiva matemática, cada animal abatido precisou de 0,667 vacas e de 0,013 touros para ser criado, podendo adjudicar-se as emissões destes últimos às suas próprias emissões.

Ao IFAP foi adquirida, por parte da FCT-UNL, informação produzida a partir de uma base de dados que contém todos os abates por tipo de abate, peso, idade, raça e sexo do animal, e

respectivas movimentações entre explorações e matadouros. Esta base de dados pertence ao sistema nacional de informação e registo animal (SNIRA), que estabelece as regras para a identificação, registo e circulação dos animais das espécies bovina, ovina, caprina e suína, bem como dos equídeos. Em Portugal, a entidade responsável pela definição da informação necessária ao funcionamento do SNIRA é a Direção-Geral de Alimentação e Veterinária (DGAV), sendo o IFAP a entidade responsável pela gestão informática das bases de dados. Os detentores de bovinos têm obrigação de comunicar, à base de dados informatizada, todas as movimentações a partir da exploração, bem como todos os nascimentos e desaparecimentos e datas dessas ocorrências. A análise desta base de dados serviu de suporte a grande parte do trabalho, uma vez que é uma base de dados oficial e suportada por requisitos legais, tendo contribuído para compreender os níveis de produção animal, os volumes de abate e, sobretudo, para estimar as emissões associadas às movimentações de bovinos e dos seus produtos de carne.

No que diz respeito à produção animal, Veysset *et al.* (2014) e Kythreotou *et al.* (2012) apresentam estudos próximos da realidade portuguesa e, conseqüentemente, pode-se inferir os valores respeitantes à cadeia de valor em análise. Também a análise dos trabalhos de outros autores contribuiu para conhecer as variações nos tipos de produção e a utilização da base de dados do IFAP auxiliou, como já foi referido, a incluir os níveis e volumes de produção nacional.

O trabalho desenvolvido por Ramírez *et al.* (2006) oferece uma análise abrangente às várias fases consumidoras de energia da produção de carne, pelo que o seu contributo se revela importante na estimativa dos consumos de energia associados aos matadouros, aos processos de desmancha e processamento e às superfícies de venda. O trabalho de Bugallo *et al.* (2014) revela-se de uma importância crucial no que diz respeito à atribuição de emissões indirectas de GEE aos matadouros portugueses, uma vez que diz respeito a uma realidade muito próxima da portuguesa, não só geográfica (i.e. Galiza) como tecnicamente, no que ao abate de bovinos diz respeito. Os resultados do trabalho de Bugallo *et al.* (2014), combinados com os de Ramírez *et al.* (2006) e Arias (2005), permitiram construir uma base sólida de estimativa das emissões de GEE associadas à actividade dos matadouros e salas de desmancha e/ou processamento portugueses.

Os resultados apresentados no trabalho de Tassou *et al.* (2014) são a principal origem dos dados utilizados para estimativa das emissões de GEE associadas aos consumos energéticos das superfícies de venda relativamente aos produtos de carne de bovino. Contudo, também os estudos desenvolvidos por Ramírez *et al.* (2006) e Arias (2005) são preponderantes no que toca ao rateio destes consumos para o caso de Portugal.

Recebida a base de dados do IFAP, com dados respeitantes aos 412832 abates ocorridos no ano de 2012, decorreu a análise à mesma. Fruto do conhecimento técnico adquirido acerca de produção bovina, de recomendações de médicos veterinários e de conversas informais com

produtores de gado bovino, percebeu-se que poderia haver erros na base de dados ao nível de pesos e idades que seriam desadequados e deslocados da realidade. Admitindo-se que a base de dados original continha uma percentagem de erros ( $\pm 7\%$ ), sejam de processamento, de inserção ou de armazenamento, que poderiam comprometer os resultados estatísticos da sua análise, estabeleceu-se um método de detecção e eliminação dos mesmos. Crê-se que o método utilizado não foi tão exigente quanto poderia ter sido, mas procurou fazer-se um equilíbrio entre o refinar da base de dados e a aceitação da sua solidez enquanto banco de informação de um organismo oficial. Na figura 6, apresenta-se um esquema que facilita o entendimento do tratamento realizado à base de dados e do método de detecção e eliminação de erros da mesma.

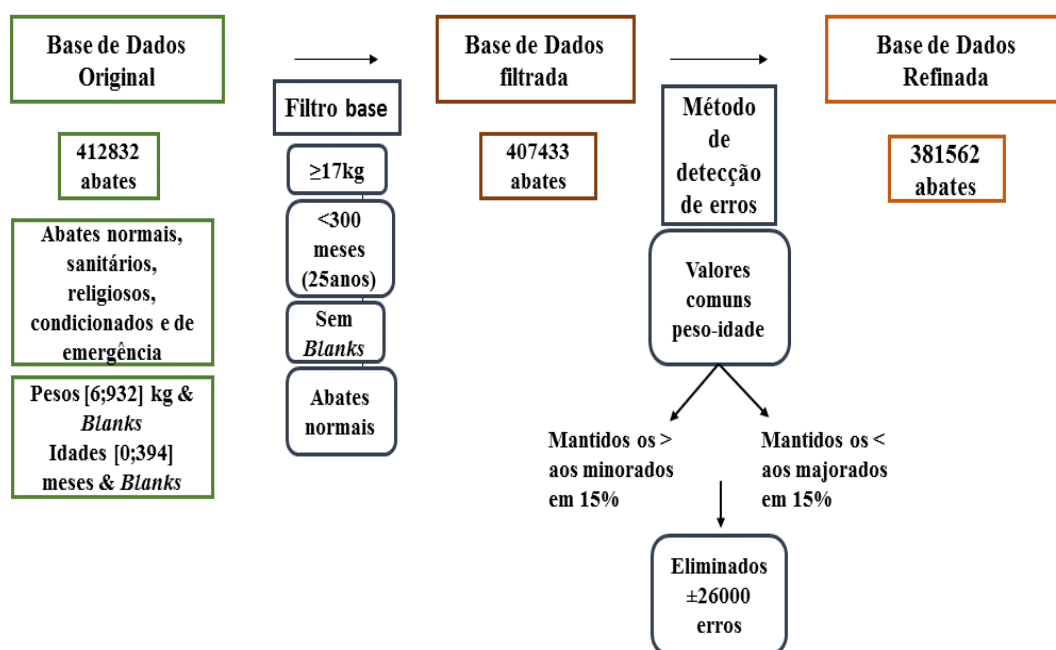


Figura 6 - Método de detecção e eliminação de erros

À base de dados original, na qual se registam os 412832 abates de bovinos, de vários tipos, idades, e pesos, ocorridos no ano de 2012, foi aplicado um filtro base de forma a considerar apenas abates à idade máxima de 300 meses (25 anos) e abates de bovinos com pelo menos 17kg. Foram ainda eliminados todos os abates do tipo sanitário, religioso, condicionado ou de emergência, uma vez que raramente se destinam à produção de carne para consumo humano, bem como todos os abates

sem registo de peso ou idade – os *blanks*. De seguida, a partir do estudo de 6 raças de bovinos quanto aos seus ganhos médios diários (kg/dia) e pesos típicos ao longo dos seus estágios de crescimento, estabeleceram-se padrões de crescimento bovino. A partir dos padrões de crescimento das 6 raças de bovinos estudadas, estabeleceram-se pesos máximos e mínimos aceitáveis, majorando e minorando os mesmos valores de peso em 15%, valores a partir dos quais se tornam desajustados da realidade, sendo nesse caso excluídos da base de trabalho. Entenda-se por dados “eliminados”, através do processo que acaba de se explicar, dados afastados dos cálculos dependentes de valores de peso, mas naturalmente considerados enquanto abates registados, ainda que a partir de valores médios. Desenrolado todo o processo, chegou-se a um total de 31270 entradas de abate erróneas, reduzindo-se o número de entradas com significado em termos de peso e idade para 381562, ou seja 92,5% dos registos originais.

### 3.2.2 Transporte

Uma vez refinada a base de dados, foram organizados os dados em função das origens e destinos dos animais, por distrito da exploração de origem e concelho do matadouro de destino, tendo sido considerados os pontos centrais dos mesmos. De forma a estabelecer o cálculo das distâncias percorridas em movimentações entre explorações e matadouros foram excluídas do algoritmo todas as rotas que representassem menos de 2000 movimentações entre distrito e concelho, uma vez que representam, individualmente, menos de 0,5% do total de movimentações, e isoladas num grupo de cerca de 114360 entradas que incluem as 31270 afastadas inicialmente.

Para chegar à distância total percorrida foi necessário estimar um número de veículos usados e para tal a uma ocupação média por veículo, determinada através da área média disponível para carga, por sua vez calculada a partir das dimensões de 7 camiões “tipo” distintos, e das áreas recomendadas para o transporte de bovinos, que variam segundo o peso do animal, como se mostra na tabela 5.

*Tabela 5 - Áreas recomendadas para o transporte de bovinos vivos*

	<b>Peso médio (kg)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Vitelos de criação</b>	55	0,35
<b>Vitelos médios</b>	110	0,55
<b>Vitelos pesados</b>	200	0,825
<b>Bovinos médios</b>	325	1,125
<b>Bovinos adultos</b>	550	1,45
<b>Grandes bovinos</b>	>700	1,6

Uma vez que as recomendações para o transporte de animais apontam pesos médios e não um intervalo de pesos, procurou determinar-se condições de atribuição das áreas adequadas, segundo os pesos variáveis dos animais. Estabeleceu-se, como limite para cada categoria de relação peso-área, a média entre uma categoria de peso e a categoria seguinte. Por exemplo, um vitelo com 82kg precisaria apenas de 0,35m<sup>2</sup> de área para ser transportado (Média de 55 e 110 = 83) enquanto um vitelo de 90kg precisaria de 0,55m<sup>2</sup> de área. Estabeleceram-se os pesos médios por rota e, seguindo as recomendações do Regulamento (CE) n.º 1/2005, determinaram-se as áreas necessárias por animal (que variaram, de acordo com os pesos médios de cada rota, entre 0,825 m<sup>2</sup> e 1,125 m<sup>2</sup>).

Para o transporte dos bovinos entre explorações e matadouros, foram considerados pesados de mercadorias cumpridores da norma de emissões EURO III, por serem os veículos pesados de transporte de mercadorias mais comuns em Portugal. Uma vez que o objectivo principal associado ao cálculo das distâncias percorridas pelas movimentações de bovinos se prende com a determinação das quantidades de CO<sub>2</sub> emitidas pela combustão do diesel nos motores do veículos, tornou-se essencial determinar um factor de emissão a relacionar com as distâncias percorridas, numa fórmula básica de estimativa de emissões:

$$\text{Emissões (g)} = \text{factor de emissão (g/km)} \times \text{quilómetros percorridos por ano (km)}$$

Os factores de emissão de CO<sub>2</sub> dos veículos são estimados apenas a partir do consumo de combustível, assumindo que o conteúdo em carbono do combustível é completamente oxidado e transformado em CO<sub>2</sub>. A seguinte equação é aplicada:

$$\begin{aligned} \text{Factor de emissão de CO}_2 \\ = 44,011 \times (\text{consumo de combustível} / (12,011 + 1,008.r_h/c + 16,000.r_o/c)) \end{aligned}$$

r<sub>h/c</sub>= rácio de átomos de hidrogénio por átomos de carbono presentes no combustível (2 para o diesel).

r<sub>o/c</sub>= rácio de átomos de oxigénio por átomos de carbono presentes no combustível (0 para o diesel).

O consumo de combustível foi estimado usando uma ferramenta, da Agência Europeia do Ambiente, alinhada com a *framework* do EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2013), que contempla variáveis como a norma cumprida pelo veículo, a velocidade de circulação, a carga total e o peso bruto do veículo. Para a determinação do consumo de combustível dos veículos em causa, foi assumida uma velocidade média de 60km/h, uma carga média de 50% da capacidade total (a ferramenta oferece 3 opções – 0%, 50% ou 100%), veículos pertencentes à categoria das 14-20t e cumpridores da norma EURO III.

Para as restantes movimentações, dos matadouros directamente para as superfícies de venda, dos matadouros para os entrepostos/salas de desmancha e processamento e destes últimos para as superfícies de venda, os métodos de cálculo utilizados sofreram algumas alterações.

Relativamente ao transporte das peças de carne dos matadouros para as superfícies de venda, dos matadouros para os entrepostos/salas de desmancha e destes últimos para as superfícies de venda, foram também considerados veículos pesados cumpridores da norma EURO III, embora pertencentes à categoria das 12-14t e refrigerados. Em baixo, as tabelas 6 e 7, referentes à caracterização dos veículos pesados usados nos transportes dos animais vivos e das carcaças/peças de carne, respectivamente.

*Tabela 6 - Características dos veículos de transporte de bovinos vivos*

Designação veículo	Comprimento	Largura	Área carga	Fuel Consumption – EMEP/EEA (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)
Volvo FM9 300	8,1	2,47	15,1		
Scania P230	7,8	2,47	14,3		
Renault premium 280	8,25	2,5	15,6		
Volvo FL 240	7,55	2,49	13,8		
Mercedes Atego 1524 L	6,5	2,4	10,8		
DAF CF72.250	8,03	2,45	14,8		
Scanis R500	6,4	2,42	10,7		
<b>Camião modelo</b>			<b>13,3</b>	<b>173,8</b>	<b>545,3</b>

*Tabela 7 - Dados acerca da frota nacional de veículos sob temperatura dirigida*

Frota nacional (sob temperatura dirigida)	Carga útil frota (total em toneladas)	Carga útil (t/veículo)
3738	23327	6,2

No que toca à finalidade dos cálculos intermédios - o cálculo das emissões associadas ao transporte das peças de carne e carcaças – foram usados os factores de emissão devolvidos pela ferramenta do CORINAIR e factores de emissão tabelados, no que toca às emissões fugitivas de HFC-134a, cujo potencial de aquecimento global é de 1430 (IPCC, 2007).

*Tabela 8 - Características de um veículo de transporte sob temperatura dirigida, para transporte de peças de carne e carcaças*

Designação do veículo	HFC-134a (mg/km)	Fuel Consumption - CORINAIR (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)
Camião modelo	0,2	154,7	485,4

No que diz respeito às movimentações directas dos matadouros para as superfícies de venda assumiu-se uma distância média percorrida pelos veículos utilizados, tendo em conta a sua capacidade de transporte, as distâncias percorridas anualmente e as toneladas totais transportadas anualmente. A partir das Estatísticas dos Transportes e Comunicações (INE, 2014), determinou-se as toneladas transportadas e as distâncias percorridas anualmente por cada veículo da categoria de peso assumida. O mesmo documento permitiu determinar a carga útil média (ou capacidade de carga) desta categoria de veículos, o que, assumindo uma taxa de ocupação média, permitiu concluir um número de viagens e, conseqüentemente, uma distância média por transporte. As excepções, ou seja os casos aos quais não foi aplicado este método de cálculo de distância, são as movimentações ocorridas nas ilhas dos Açores e da Madeira. Para estas movimentações foram avaliadas 3 rotas hipotéticas em cada uma das ilhas em que existem matadouros e determinadas as distâncias médias percorridas, como se observa na tabela 9.

Tabela 9 - Distância média percorrida entre matadouros e superfícies de venda

Nº veículos	Quantidade transportada (t)	Distância percorrida (kms)	t/veículo.ano	kms/veículo.ano	nº de viagens	t/viagem	kms/movimentação
3988	3661000	119032000	918	29847,5	220,7	4,2	135,3

Com o intuito de calcular as emissões associadas ao transporte das peças de carne do matadouro para os diferentes destinos, foi criada uma base de cálculo dependente, como foi referido, das distâncias percorridas, mas também do número de animais abatidos, dos respectivos pesos de abate, dos rendimentos de carcaça e dos rendimentos de desmancha.

No caso das movimentações dos matadouros para os entrepostos e/ou salas de desmancha/processamento independentes, foi considerado o peso médio por animal em cada matadouro e um rendimento de carcaça médio, retirado da literatura, que corresponde ao quociente entre o peso do animal vivo e o peso da carcaça (Magnabosco *et al.*, 2004; Restle *et al.*, 2001). Assumiu-se uma taxa de ocupação da carga do veículo de 2/3 que determinou, associada à capacidade de carga média dos veículos, o número de veículos necessários para transportar a quantidade de peças de carne existente. Importa referir que se considerou que 75% da carne segue para entrepostos e/ou salas de desmancha/processamento, antes de ser distribuída para as superfícies de venda, sendo 25% da carne desmanchada e/ou processada nos próprios matadouros (Riso *et al.*, 2014). Conhecido o número de veículos necessários, foi utilizada a distância média por rota (determinada pelo método dissecado em cima) para determinar as distâncias totais percorridas, que corresponderam ao transporte da mercadoria e regresso em vazio.

Para as movimentações referentes à carne desmanchada e/ou processada – dos entrepostos/salas de desmancha e processamento para as superfícies de venda ou dos matadouros para as superfícies

de venda – os passos de cálculo são semelhantes. Também se parte do peso médio e de um rendimento de carcaça, embora no caso das movimentações a partir dos entrepostos/salas de desmancha e processamento seja assumido um único peso médio, sendo que a principal diferença se encontra na utilização do rendimento de desmancha para determinar as quantidades de carne a transportar. Os rendimentos de desmancha, dependentes do peso da carcaça, foram determinados a partir de uma equação de regressão, apresentada em baixo, calculada a partir de uma amostra proveniente de uma exploração com 294 bovinos (Dias *et al.*, 2008).

$$\text{Rendimento da desmancha (\%)} = 62,38 + 0,025 * PC$$

em que  $PC = \text{Peso de carcaça (kg)}$

Estimado o número de veículos necessário para transportar as quantidades de carne disponíveis, são calculadas as distâncias totais percorridas, correspondentes também aqui ao transporte da mercadoria e regresso em vazio.

### 3.2.3 Consumo de energia

As restantes emissões associadas à produção de carne de bovino em Portugal dependem da energia consumida nas várias fases estudadas neste trabalho, sendo elas (1) a produção animal, (2) o abate em matadouros, (3) o processamento e a desmancha e (4) a disposição em superfícies de venda ao público.

Ainda que se tenham verificado avanços significativos no desenvolvimento da capacidade de produção de energia a partir de fontes renováveis – em 2012, 59% da energia consumida no país teve origem em tecnologias renováveis – continua a verificar-se produção convencional de energia, que resulta na emissão de GEE (EDP, 2013). Na figura 7, observa-se as várias origens de electricidade consumida em Portugal em 2012.

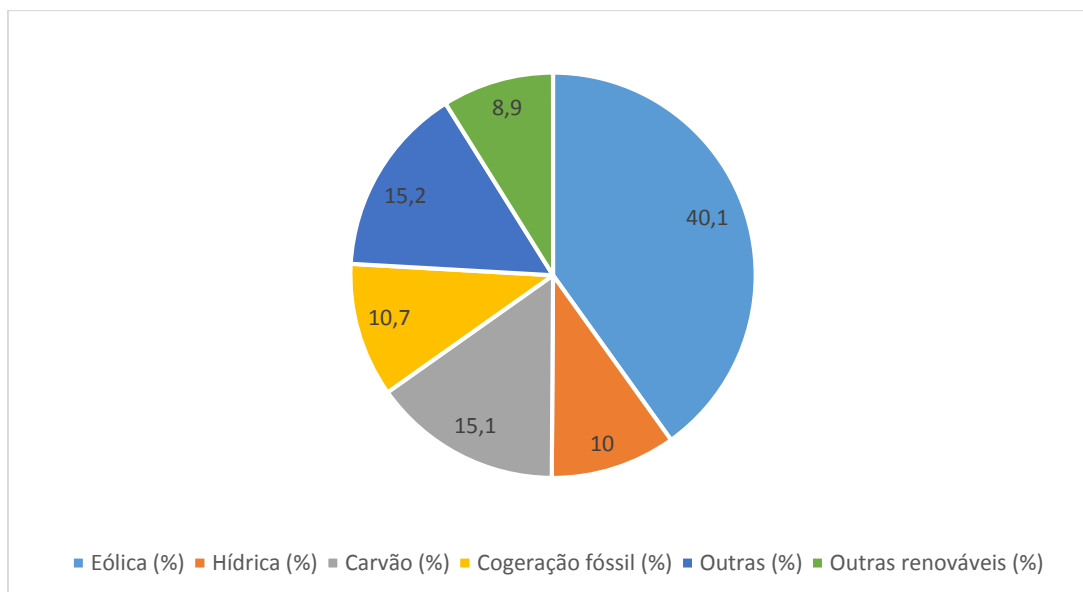


Figura 7 - Repartição da energia comercializada pela EDP em 2012. Adaptado de EDP (2013)

De acordo com a repartição de energia apresentada, a EDP calcula, para o ano de 2012, um factor de emissão específica de 228,61 g CO<sub>2</sub>/kWh consumido. Para o cálculo das emissões associadas ao consumo de energia na produção de carne de bovino em Portugal, são aproximados valores de consumos energéticos provenientes da literatura e estimados os gastos de energia de acordo com as quantidades de animais e carne produzidas, retiradas da base de dados adquirida ao IFAP. Por último, a partir do factor de emissão anterior, estima-se a quantidade de GEE produzidos em cada fase.

No que diz respeito à fase da produção animal, nas explorações, o trabalho de Veysset *et al.* (2010) permitiu ter acesso a dados privilegiados relativamente próximos da realidade portuguesa. A partir de valores de consumos energéticos para a criação de um animal (GJ/kg PV), divididos em consumos de combustível e de electricidade, foram usados os respectivos factores de emissão específicos para determinar a quantidade de GEE gerada. Na tabela 10, apresentam-se os factores de emissão associados a dois combustíveis principais.

Tabela 10 - Factores de emissão. Adaptado de IPCC, 1996

Electricidade	228,61 g CO <sub>2</sub> /kWh
Gasolina	73,00 kg CO <sub>2</sub> /GJ
Diesel	74,00 kg CO <sub>2</sub> /GJ

Assumiu-se que o combustível usado nas explorações era o Diesel e apenas foram considerados consumos energéticos directos, ou seja, resultantes de operações dentro da própria exploração.

Para estimar os consumos de energia nos processos de abate, desmancha e processamento foram utilizados dados de três estudos diferentes e com metodologias distintas. Procurou analisar-se os trabalhos desenvolvidos de forma a retirar valores de consumo específico de energia para os vários processos relevantes e usou-se, de seguida, o factor de emissão específica da rede de electricidade portuguesa para estimar as emissões de GEE. Na tabela 11, apresenta-se a origem dos dados e os respectivos consumos energéticos dos matadouros.

*Tabela 11 - Intensidade energética do abate*

<b>Estudo</b>	<b>kWh/kg carcaça abatida</b>
Toresen <i>et al.</i> , 2001	0,548
Finish Environment Institute, 2002	0,385
Ramirez <i>et al.</i> , 2006	0,386
<b>Média (kWh/kg carcaça)</b>	<b>0,440</b>

Para estimar os consumos de energia no abate de bovinos em matadouros portugueses utilizou-se um valor médio da literatura, uma vez que não foi possível determinar os valores adequados à realidade portuguesa. Para tal seria necessário fazer uma caracterização detalhada dos matadouros portugueses e das tecnologias usadas, o que sai fora do âmbito da presente dissertação. Para o cálculo dos consumos de energia associados aos processos de desmancha e processamento de carnes, o trabalho de Ramirez *et al.* (2006) foi determinante e os valores usados para a estimativa provieram unicamente desta fonte.

Por último, para estimar os consumos de energia associados à disposição das peças de carne nas superfícies de venda, destinadas ao consumidor final, tornou-se complexo encontrar indicadores sólidos sobre a intensidade energética da refrigeração e foi necessário recorrer a um método alternativo. Desta forma, recorreu-se ao conceito de variação de entropia em processos simples, nomeadamente no arrefecimento e aquecimento, como ilustra a equação apresentada.

$$\text{Energia total (kJ)} = \text{Massa de carne (kg)} * \Delta H(\text{kJ/kg})$$

$$\text{Em que, } \Delta H = C_p \times \Delta T \text{ em kJ/kg}$$

$$C_p = \text{calor específico da carne em } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{C}^\circ;$$

$$\Delta T = \text{diferença de temperatura entre um estado e o estado desejado em C}^\circ$$

Aquilo que se fez, no fundo, foi calcular a energia necessária para levar a carne de uma temperatura para outra, designadamente, para a arrefecer e para a congelar. Para completar a estimativa, foi indispensável calcular a energia necessária para manter a carne nos respectivos

estados, nomeadamente refrigerado e congelado. Para tal, foram identificado 4 tipos de equipamentos comuns, 2 de congelação e 2 de refrigeração. A partir dos mesmos, foram determinados valores de volume útil e consumos médios anuais de energia eléctrica. De seguida, para determinar a quantidade de equipamentos usados anualmente, tornou-se necessário assumir uma quota do volume útil de cada equipamento afecta à carne de bovino. Para tal, fez-se uso do rácio entre o consumo de carne de bovino e consumo total de carnes, cerca de 0,16, assumindo-se assim que 16% do volume útil de cada equipamento é dedicado à conservação de carne de bovino. Na mesma sequência, partiu-se da densidade média da carne de bovino, 1060 kg/m<sup>3</sup>, para determinar a quantidade de carne que cada equipamento tem capacidade de armazenar. Por último, a partir do volume de carne produzido anualmente, determinou-se a quantidade de energia eléctrica consumida no processo e, conseqüentemente, as emissões de GEE associadas a esse consumo. De forma simplificada, a energia consumida nas superfícies de venda para armazenamento da carne de bovino representa-se por:

*Energia total* (kJ) = Energia necessária para arrefecimento da carne (kJ) + Energia necessária para manter a carne à temperatura desejada (kJ)

### 3.3 *Leverage Points* - A aproximação conceptual de Donella Meadows

No presente subcapítulo procura recuperar-se parte da literatura explanada anteriormente, no capítulo da revisão da literatura, acerca de *leverage points*, para demonstrar de que forma esta abordagem será utilizada nesta dissertação. Apesar da complexidade dos sistemas reais e de ser aconselhável evitar generalizações aquando da sua análise, Donella Meadows desenvolveu aquilo a que chamou de “pontos a intervir num sistema” que, não representando uma fórmula absoluta, constituem um excelente contributo como método de identificação de *leverage points*. A figura 8 apresenta a lista de “pontos a intervir num sistema”, organizada por ordem crescente de eficácia(1>12).

A lista apresentada é a compilação de décadas de análise rigorosa de vários tipos de sistemas realizada por diferentes intelectos. Contudo, como referido, a lista não é uma fórmula incontestável para a identificação de *leverage points*, uma vez que os sistemas complexos obrigam a análises individualizadas de cada caso, sendo aconselhável evitar generalizações (Meadows, 1997).

12. Constantes, parâmetros, números (p.e. subsídios e taxas);
11. O tamanho de tampões e outros *stocks* estabilizadores, relativamente aos seus fluxos;
10. A estrutura de *stocks* e fluxos materiais (p.e. redes de transportes, estrutura etária de uma população);
9. A duração dos desfasamentos temporais, relativos à taxa de alteração do sistema;
8. A força dos ciclos de retroacção negativos, relativamente aos impactos que tentam corrigir;
7. Os ganhos dos ciclos de retroacção positivos;
6. A estrutura dos fluxos de informação (quem tem e não tem, dentro de um sistema, acesso a informação);
5. As regras do sistema (p.e. incentivos, penalizações e condicionamentos);
4. O poder de adicionar, alterar, evoluir ou auto-organizar a estrutura de um sistema;
3. Os objectivos do sistema;
2. A mentalidade ou paradigma na qual o sistema – os seus objectivos, estrutura, regras, desfasamentos e parâmetros – se baseia;
1. O poder de transcender paradigmas.

*Figura 8 - Pontos a intervir num sistema, adaptado de Meadows (1997)*

A aproximação conceptual desta autora representa uma abordagem que estabelece a possibilidade de desenvolver estratégias de mitigação integradas e de grande eficácia, de promover no fundo pequenas alterações capazes de desencadear grandes mudanças no sistema como um todo. A abordagem de Meadows (1997) é utilizada, neste trabalho, como método de selecção e organização das opções de mitigação sugeridas na literatura. Adicionalmente, com base na análise de resultados, são sugeridas outras opções de mitigação que se compaginam com os pontos a intervir num sistema, identificados por esta autora. Para tal foi realizada, em primeiro lugar, uma análise de correspondência entre os pontos da lista de Meadows (1997) e as opções de mitigação, o que permitiu perceber, de acordo com as características de cada opção mas também das características sistémicas da produção de carne de bovino em Portugal, em que ponto da lista cada opção de mitigação se poderia integrar. Em segundo lugar, foi desenvolvido um modelo dinâmico que permitiu sistematizar os modelos mentais até aqui criados, referentes à emissão de GEE da produção de carne de bovino. O modelo desenvolvido permitiu organizar a informação, aumentar a compreensão sobre as inter-relações das variáveis extrínsecas e do comportamento do sistema e prever o efeito que as opções de mitigação consideradas (variáveis extrínsecas) podem ter sobre o sistema. A integração, na lista de pontos a intervir num sistema, das opções de mitigação

consideradas no nosso trabalho, facilita a leitura da sua eficácia e potencial de alteração ao estado do sistema, mas é a aplicação do modelo apresentado na figura 9 que permite corroborar as convicções criadas.

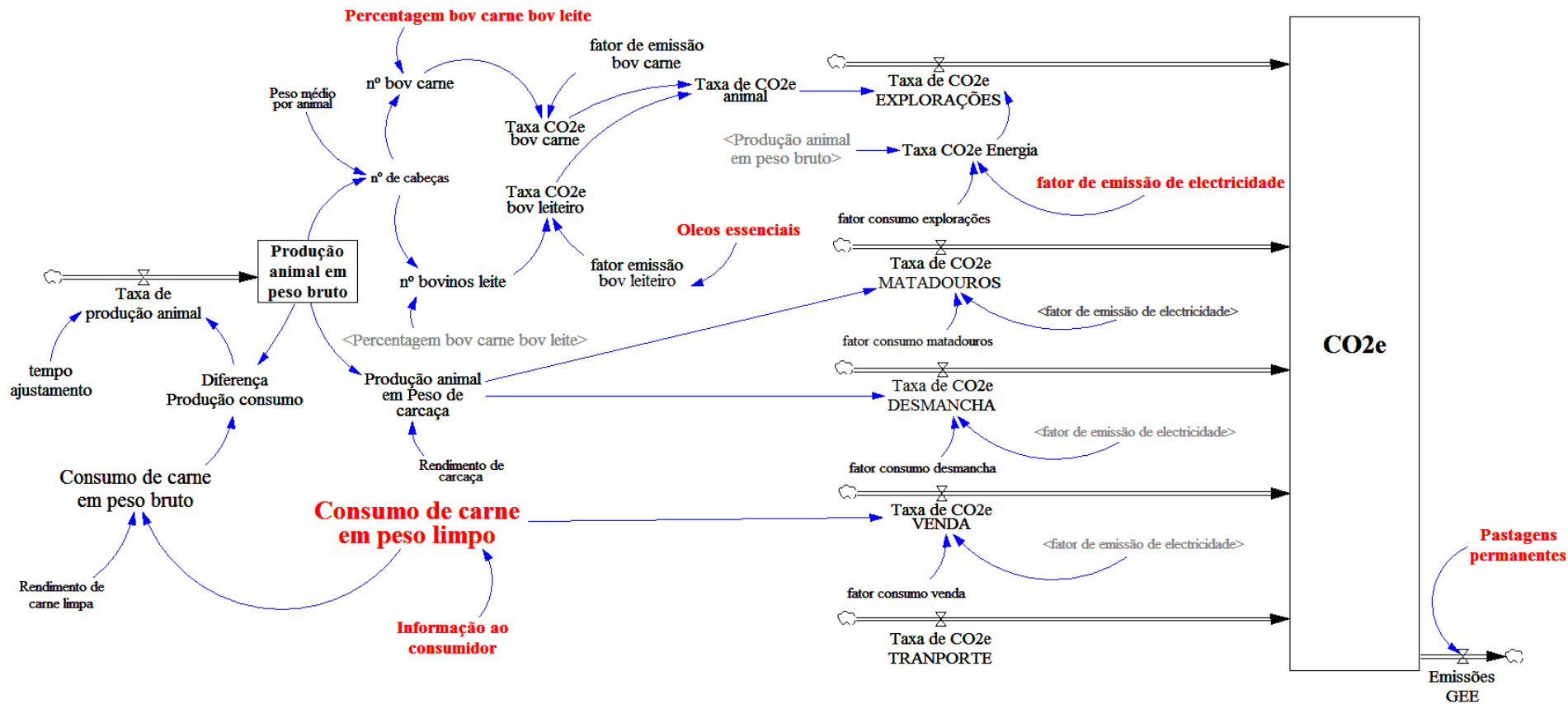


Figura 9 - Modelo dinâmico da regulação da emissão de CO<sub>2</sub>e em função do consumo de carne.

O modelo apresentado na figura 9 foi criado a partir da ferramenta Vensim, desenvolvida para simular e melhorar a performance de sistemas reais. A revisão da literatura permitiu criar as relações algébricas usadas para determinar o valor das taxas e estabelecer relações entre os constituintes do modelo. O modelo não é apenas representativo da estrutura de emissão de GEE da produção de carne de bovino, mas também preditivo relativamente às quantidades de GEE geradas e aos efeitos de eventuais perturbações do sistema. Trata-se de um modelo simples, cujo comportamento retrata de forma correcta a produção de GEE da actividade em causa, embora seja incompleto em alguns aspectos que, no entanto, não prejudicam a representação da evolução das emissões.

A partir das opções de mitigação consideradas adequadas à realidade portuguesa, criou-se uma lista de seis estratégias de forma a agrupar estas opções pelo tipo de leverage point que configuram. De seguida, testou-se o impacto das estratégias definidas em dois métodos distintos mas complementares: (1) a partir da criação de cenários testados directamente nas matrizes de cálculo, descritas nos subcapítulos da metodologia anteriores, e (2) a partir da introdução das várias estratégias no modelo dinâmico, que fez simulações do efeito das medidas na emissão de GEE. Resumidamente, foi avaliado o impacto das opções de mitigação consideradas a partir de dois métodos distintos mas complementares, na medida em que se corroboram mutuamente na apresentação dos seus resultados.

Os cenários criados foram (i) o cenário A – Estratégias do tipo 2 e (ii) o cenário B – Estratégias tipo 4 + Estratégias tipo 5. No caso das opções de mitigação retratadas na revisão da literatura, foram usados dados referentes aos seus potenciais de redução de emissões de GEE, para estimar o impacto das mesmas na realidade portuguesa. Quanto às opções, de ordem mais estrutural, provenientes da análise de resultados, simulou-se o seu potencial de redução a partir de modificações feitas sobre as matrizes de cálculo que deram origem aos valores de emissões originais.

Os dados que alimentaram o modelo resultam da conjugação da análise de resultados e da revisão da literatura. As variáveis intrínsecas, interdependentes, representam o funcionamento natural do sistema e as variáveis extrínsecas, a vermelho, representam os pontos capazes de provocar perturbações.

## 4. Resultados e Discussão

O presente capítulo resulta do percorrer de uma curva de aprendizagem no que toca à produção de carne de bovino, tanto na realidade portuguesa como internacional, do estudo daquilo que se conhece até agora sobre o impacto desta actividade nas alterações climáticas e, sobretudo, da aplicação da metodologia apresentada no capítulo anterior. Procurou dissecar-se da forma mais refinada possível as emissões de GEE associadas à actividade em questão, numa abordagem próxima da análise de ciclo de vida, e produzir-se resultados capazes de comunicar ao público, com segurança, o impacto que a produção de carne de bovino, influenciada pela procura do consumidor, tem nos valores de emissão de GEE portugueses.

Os resultados que a seguir se apresentam representam uma forma de comunicar a informação extraída da análise realizada à estrutura de produção de bovinos para carne em Portugal, constituindo uma oportunidade de entender um sector bastante desintegrado cujo funcionamento é de compreensão complexa.

### 4.1 Caracterização do sector da produção de carne de bovino em Portugal

A base de dados adquirida ao IFAP, cuja utilização é praticamente transversal a todas as fases, acabou por representar um dos alicerces mais importantes para o desenvolvimento deste trabalho. A partir da mesma foi possível analisar o sector da produção de carne de bovino português com um detalhe interessante e produzir informação académica original e relevante.

No ano de referência, 2012, registaram-se 412832 abates de bovinos, de 40 raças distintas, para produção de carne. Na figura 10, apresentam-se os concelhos com maior produção de bovinos, em número de animais.

Os 5 concelhos representados, de um total de 298 concelhos com explorações, abarcam cerca de 13% da produção nacional, o que demonstra que o volume de produção não está disperso de forma homogénea, uma vez que os concelhos apresentados representam apenas 2% do total de concelhos com explorações. Por outro lado, verifica-se que dos 5 concelhos com mais explorações, apenas 1 deles é também um dos concelhos com maior número de abates, Barcelos. Na figura 11, pode observar-se a distribuição do número de abates por concelho, estando representados os 8 concelhos com maior número de abates no País.

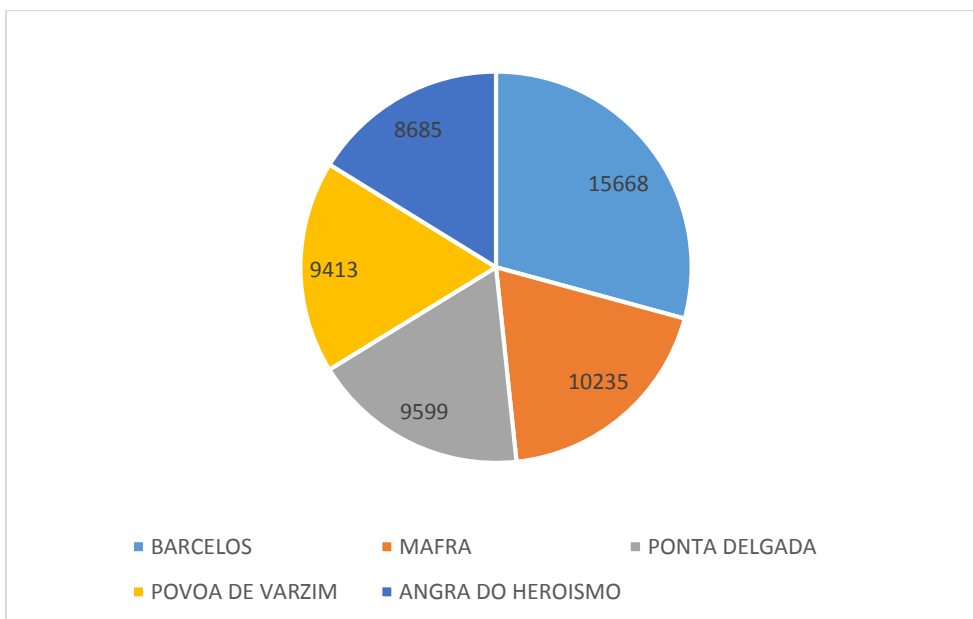


Figura 10 - Concelhos com maior número de animais em explorações

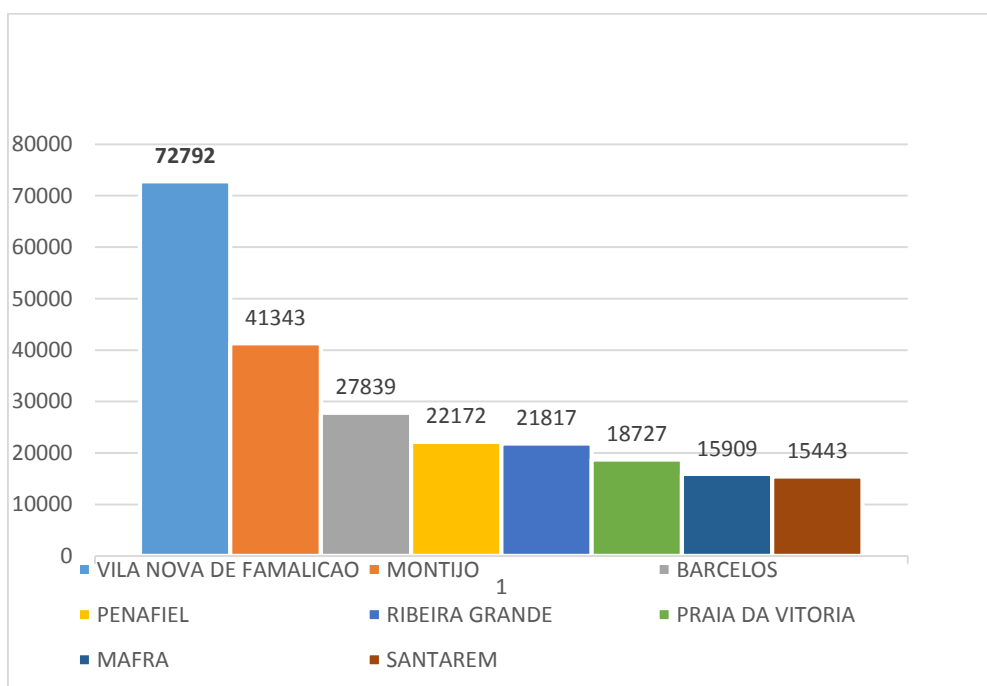
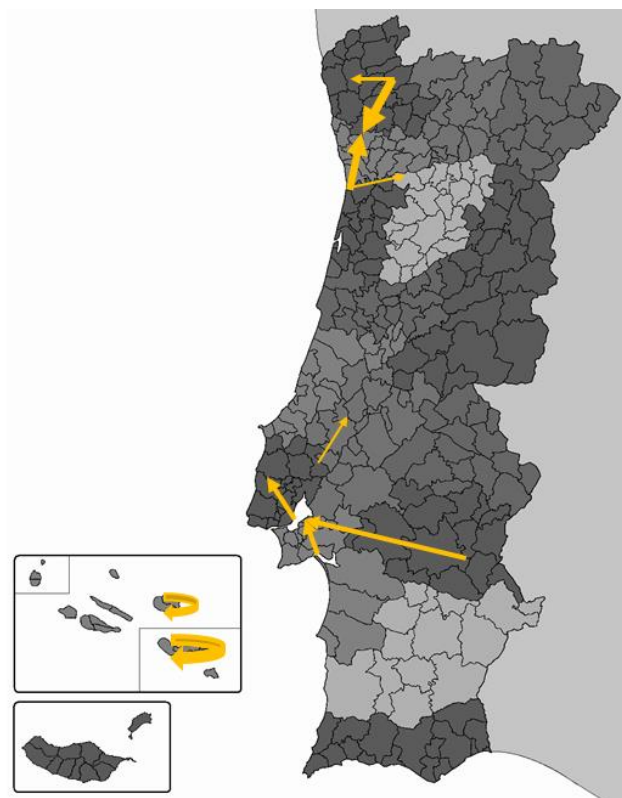


Figura 11 - Concelhos com maior número de abates

De realçar o facto de Vila Nova de Famalicão ser por larga distância o concelho que mais abates realiza em Portugal, seguido do Montijo que representa cerca de 10% do total de abates a nível nacional. Também deve destacar-se a importância da região Norte do País em termos de actividade dos matadouros, uma vez que apresenta 3 concelhos – Vila Nova de Famalicão, Barcelos e Penafiel – na lista dos 8 com mais abates. Nos 8 concelhos apresentados procede-se ao abate de mais de 50% dos bovinos produzidos em Portugal destinados à produção de carne.

Mais de 85% dos abates ocorrem no Continente, mas importa destacar que o facto de cerca de 56 milhares de abates ocorrerem nas Ilhas tem um impacto positivo nas emissões associadas aos transportes. A figura 12 tem como objectivo ilustrar as distâncias percorridas nas principais rotas de movimentações de bovinos vivos em Portugal, uma vez que são factor limitante das emissões de GEE dos transportes.



*Figura 12 - As dez principais rotas de transporte de bovinos entre explorações e matadouros. Fonte: IFAP*

Estão representadas as 10 principais rotas de transporte de bovinos vivos em Portugal, cujo peso representa mais de 1/3 de todas as movimentações realizadas entre explorações e matadouros, num total de 49 rotas existentes a movimentar mais de 2000 animais cada. A espessura das setas representa, de forma grosseira, as diferentes dimensões dos fluxos registados. Importa perceber a importância que esta análise tem, uma vez que a distância percorrida é um determinante nas emissões associadas aos transportes. A figura 12 demonstra precisamente a existência de rotas consideravelmente curtas para uma percentagem notável do total de movimentações de bovinos vivos a nível nacional. Não é comum haver movimentações muito longas de bovinos vivos em Portugal embora, dentro do grupo de rotas principais (com mais de 2000 animais movimentados por ano), existam rotas com mais de 400km, nomeadamente Évora-Barcelos, na qual ocorre o transporte de quase 3 milhares de animais anualmente. A distância média percorrida entre uma exploração portuguesa e o matadouro de destino, para o transporte de cerca de 70% dos animais

abatidos anualmente, é de 66,5km. As restantes rotas, em que em cada uma delas se transportam menos de 2000 animais anualmente, têm uma distância média percorrida de 205km.

Para as movimentações dos matadouros para as superfícies de venda, dos matadouros para os entrepostos/salas de desmancha + processamento e destes últimos para as superfícies de venda, foram assumidos, tal como foi referido na metodologia, valores médios de distância calculados a partir das Estatísticas dos Transportes e Comunicações (INE, 2014).

De acordo com a análise da base de dados e as assumpções acerca das características das frotas de transporte de mercadorias em Portugal, no total das movimentações rodoviárias associadas à produção de carne de bovinos no País são estimados, anualmente, cerca de 45600 veículos pesados de mercadorias para transportar a carga disponível.

Relativamente às estruturas etárias e de peso dos animais abatidos, os resultados demonstram que os 5 concelhos com mais abates em Portugal têm idades médias de abate muito díspares. Em Vila Nova de Famalicão, o concelho que mais abates realiza do País, os matadouros recebem animais com uma média 41 meses de idade, ao passo que no concelho do Montijo, p.e., os matadouros recebem animais com 13 meses de idade, em média. A nível nacional, são abatidos bovinos com uma média de 27 meses de idade, ou seja, próxima da idade adulta para a maioria dos casos, tendo em conta os sistemas de produção portugueses – maioritariamente extensivos, com características semi-intensivas. No que diz respeito ao peso vivo dos animais à idade do abate, os valores são bem menos variáveis, sendo que apenas 6 de 36 concelhos abatem animais com peso médio inferior a 200kg. O abate de bovinos ocorre de forma relativamente constante ao longo do ano, com exceção para dois picos nos meses de Julho e Agosto e outro no mês de Outubro, como demonstra a figura 13.

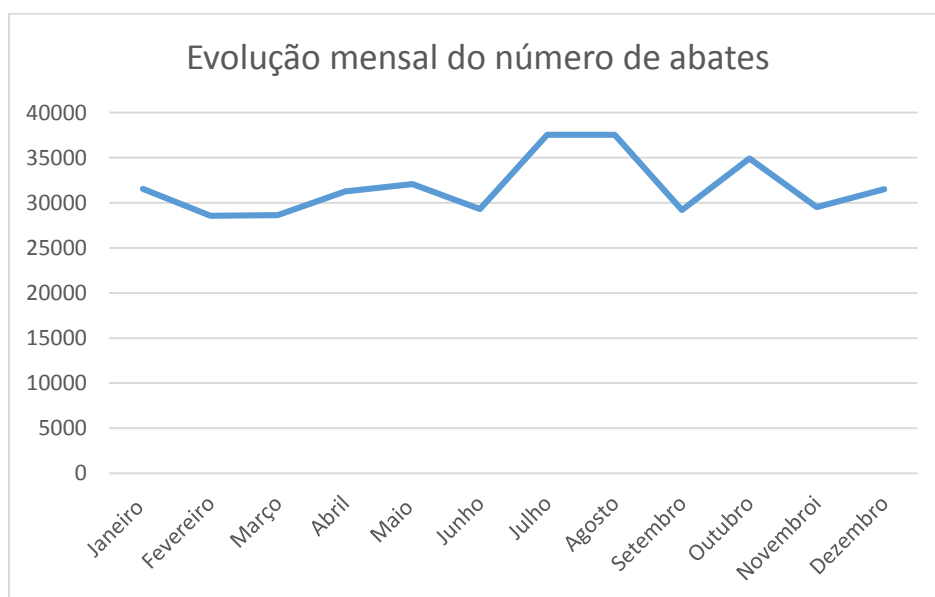


Figura 13 - Evolução mensal do número de abates a nível nacional

Um dado curioso relativo à estrutura de abate de bovinos em Portugal prende-se com o tipo de explorações de origem dos animais. Determinou-se, a partir da análise das raças abatidas, que cerca de 29% dos bovinos abatidos para produção de carne são provenientes de explorações leiteiras, ou seja, cujos sistemas de produção estão orientados para a produção de leite e não de carne.

Após análise da base de dados e refinamento da informação nela contida, determinou-se o volume de produção de carne de bovino anual, determinante para quatro momentos de emissão de GEE, nomeadamente os transportes, o consumo de energia durante a produção animal, o consumo de energia nos matadouros e o consumo de energia na venda da carne. O volume de carne produzida a nível nacional e disposta nas superfícies de venda é sensivelmente 33293 toneladas, proveniente de cerca de 97370 toneladas de peso vivo total. Tendo em conta dados estatísticos do INE, como meio de comparação, o volume produzido a que se chegou a partir da base de dados utilizada gera algumas dúvidas acerca da fiabilidade do seu valor. Segundo o INE (2013), o consumo nacional de carne de bovino *per capita* foi de 16,7 kg/hab. em 2012, o que significa, segundo dados demográficos do mesmo instituto, que foram consumidas cerca de 175137 toneladas de carne nesse mesmo ano e que a taxa de importação necessária para suprimir as necessidades de consumo portuguesas ronda os 81%. É precisamente a taxa de importação referida que gera alguma incerteza, uma vez que segundo o INE (2013) o grau de auto-provisionamento - um quociente que mede, para um dado produto, o grau de dependência de um território, relativamente ao exterior (necessidades de importação) ou a sua capacidade de exportação - de Portugal relativamente à carne de bovino (para o ano de 2012) foi de 56,8%. No entanto, a base de dados em questão é a fonte primária e, em teoria, mais sólida dos dados que se trataram, uma vez que é protegida pelo Decreto-Lei nº 142/2006 que criou o Sistema Nacional de Informação e Registo Animal (SNIRA), que estabelece as regras para a identificação, registo e circulação dos animais das espécies bovina e que tem como objecto, entre outros, coligir em bases de dados nacionais informatizadas, os dados relativos aos animais. Tendo em consideração o que acaba de se referir, fica claro que a dissonância construída deve ser desfeita com toda a legitimidade, assumindo os dados como sólidos e fiáveis.

## 4.2 Emissões de GEE e Intensidade Carbónica

Os resultados produzidos pela metodologia aplicada, determinaram uma emissão total de GEE, associados à produção de carne de bovino em Portugal, de 1558 Gg CO<sub>2</sub>e. O valor tem mais peso, individualmente, que as indústrias nacionais de fabrico e construção de (1) ferro e aço, (2) de pasta, papel e impressões e (3) química. Também representa um volume de emissões superior ao

de todos os transportes não rodoviários e ao das emissões fugitivas de todos os combustíveis a nível nacional. A tabela 12 ilustra alguns totais de emissões.

*Tabela 12 - Emissões de GEE por categoria sectorial*

<b>Actividades de Combustão de Combustíveis</b>	<b>Gg CO<sub>2</sub></b>
<b>1. Indústrias de energia</b>	
Refinação de petróleo	2.144,62
<b>2. Indústrias de construção e fabrico</b>	
Ferro e aço	140,34
Químicos	920,98
Pasta, papel e impressão	1.003,02
<b>3. Transportes</b>	
Aviação civil	368,00
Ferroviária	32,95
Navegação	225,13

Segundo o Relatório Nacional de Emissões português de 2014, cujo ano de referência é o de 2012, o total das emissões de GEE para o mesmo ano, excluindo o uso e alterações no uso dos solos e as florestas, foi de 68,8 Mt CO<sub>2</sub>e. Tal significa que as emissões associadas à produção de carne de bovino em Portugal, tal como estimado nesta dissertação, representam 2% das emissões nacionais totais de GEE, um valor elevado tendo em conta, por exemplo, o peso do volume de negócios desta actividade no valor do PIB português em 2012 – menos de 0,2% do PIB.

Relativamente à distribuição das emissões nas várias fases de produção de carne, a análise dos consumos de energia permitiu concluir que apenas as emissões associadas aos consumos de energia do sistema considerado, têm um volume superior às emissões de todo o sector ferroviário nacional – 39,58 Gg CO<sub>2</sub>e e 32,95 Gg CO<sub>2</sub>e, respectivamente. De seguida, na tabela 13, apresentam-se as emissões totais das várias fases de produção.

Tabela 13 - Emissões de GEE (em Gg de CO<sub>2</sub>e) relativas ao consumo de energia nas várias fases de produção

Fase de produção	Gg CO <sub>2</sub> e
Produção em explorações	27,19
Matadouros e Desmancha/Processamento integrados	5,86
Desmancha e processamento independentes	2,24
Superfícies de venda	4,29
Transportes de bovinos vivos e peças de carne	5,07

Todos os valores têm ordens de grandeza comparáveis com valores do Relatório Nacional de Emissões. Na figura 14 é possível observar as principais fases consumidoras de energia do sistema.

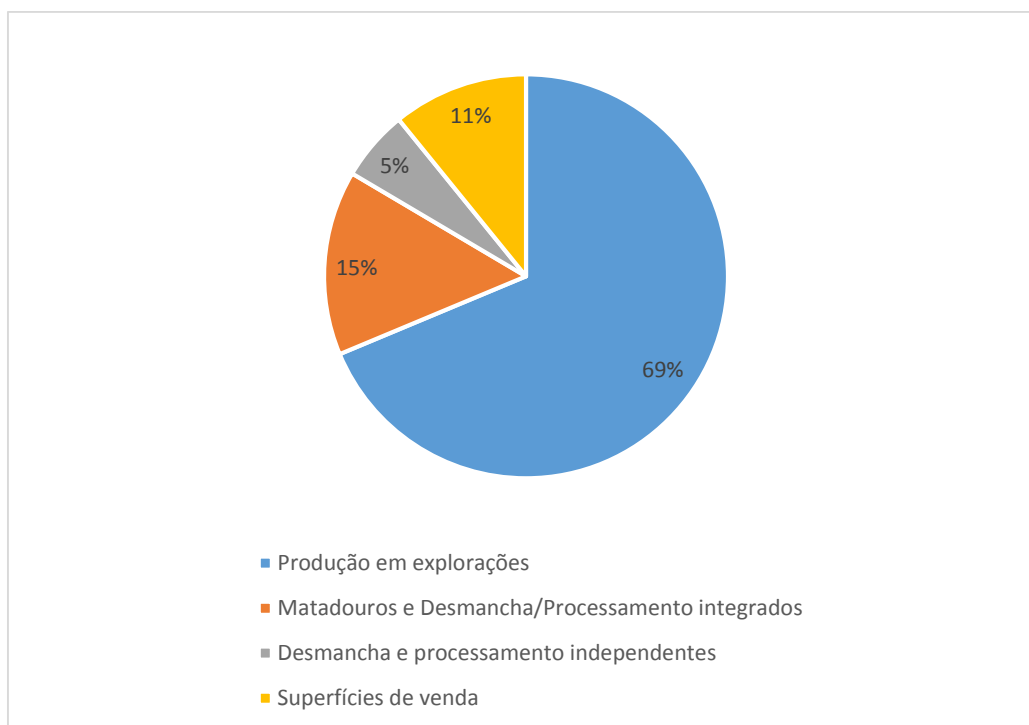


Figura 14 - Distribuição das emissões de GEE das várias fases de produção de carne de bovino.

De realçar o impacto que os consumos de energia nas explorações têm para o total das emissões de GEE e o volume reduzido das emissões associadas à desmancha e processamento em locais independentes dos matadouros, ainda que a maioria da carne seja desmanchada ou processada nestes locais (75%). Considerando, em conjunto com as emissões provenientes dos consumos de energia, as emissões provenientes dos transportes, não se registam grandes alterações. A figura seguinte ilustra esse cenário.

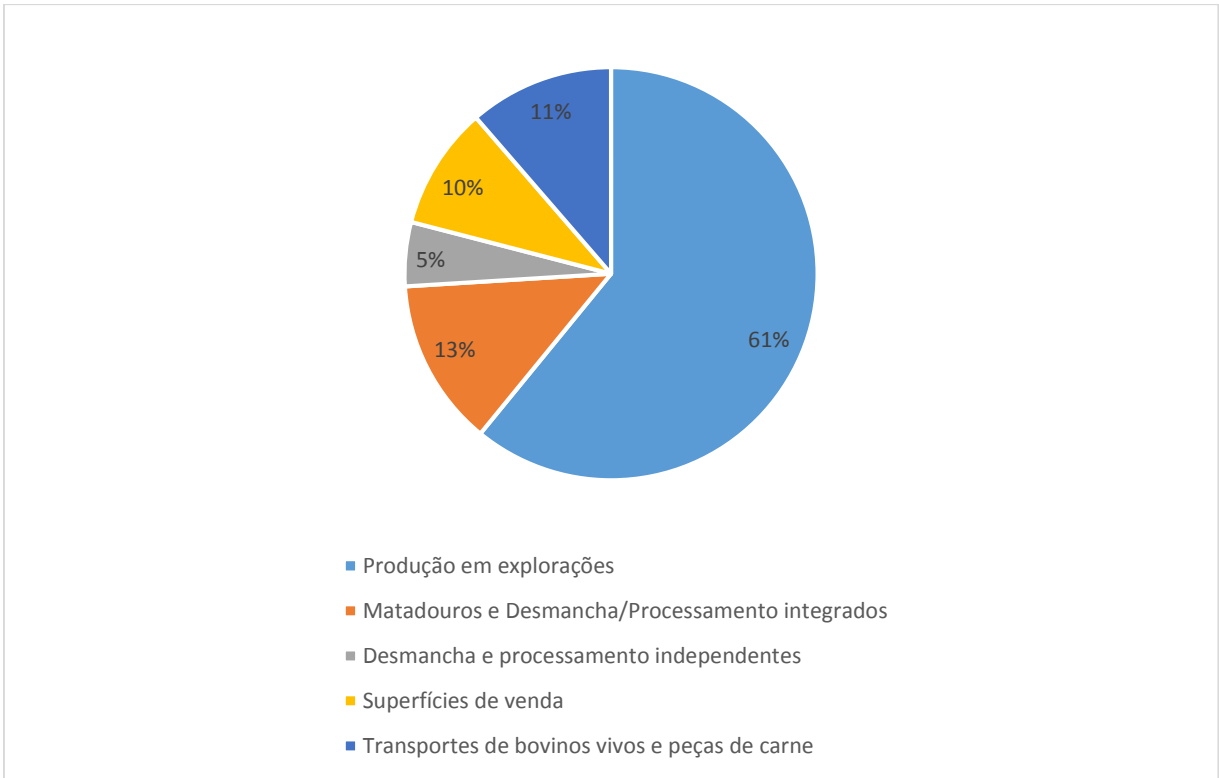


Figura 15 - Distribuição das emissões de GEE derivadas do consumo de energia

Considerando que as emissões provenientes de todas as movimentações de bovinos e produtos de carne significam apenas 11% de todas as emissões de GEE (excluindo dos cálculos as emissões da fermentação entérica e gestão de estrumes), e observando os dados relativos às rotas de transporte, elogia-se os processos em questão, uma vez que num sector desintegrado como este a sua eficiência poderia ser bem mais reduzida. A figura que se apresenta demonstra o peso das várias etapas pertencentes aos processos de transporte.

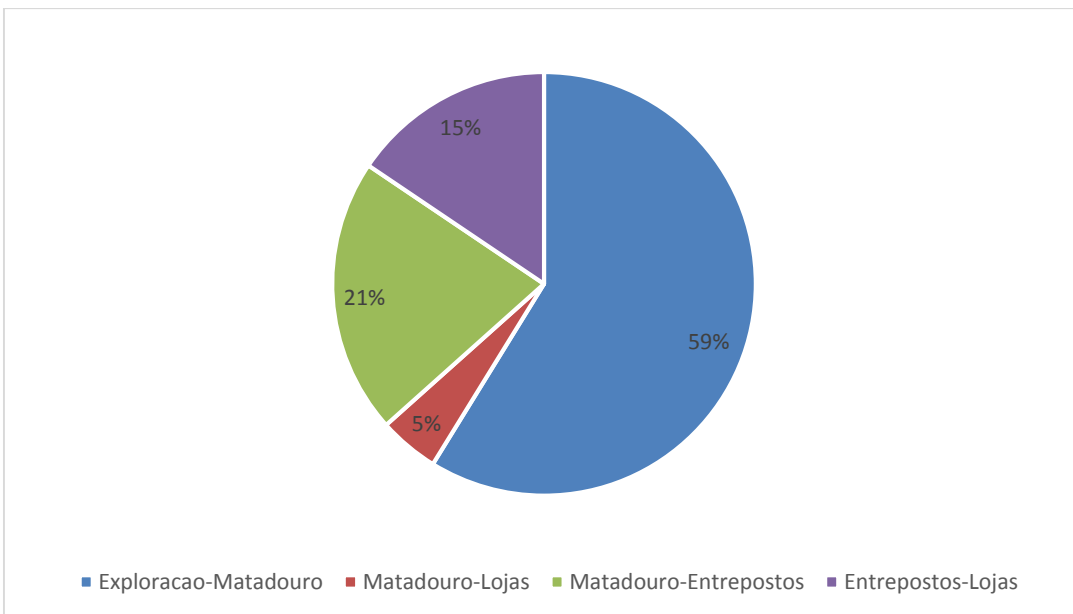
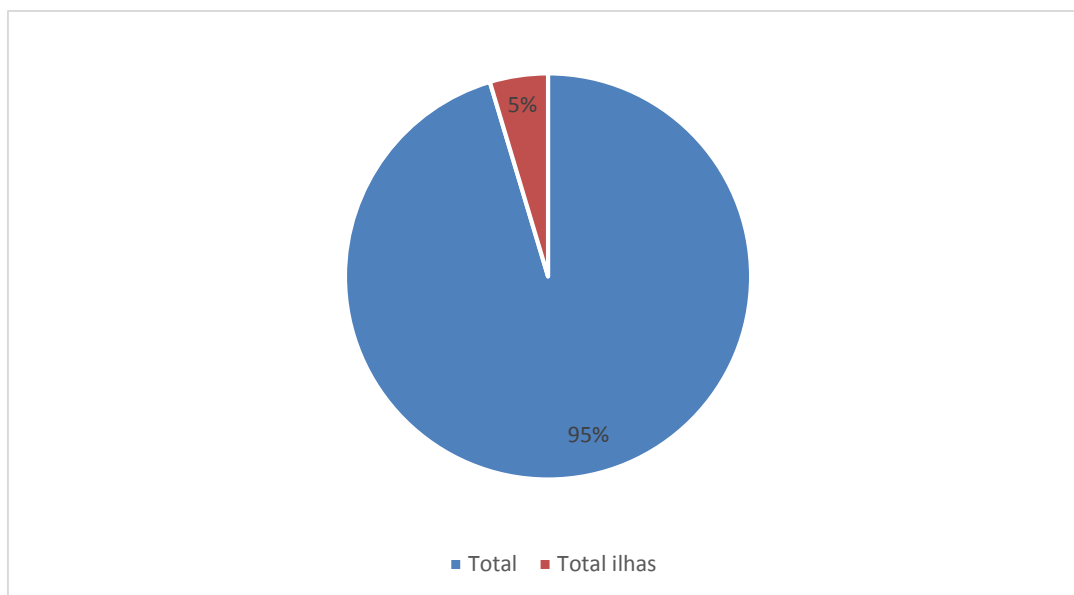


Figura 16 - Distribuição das emissões provenientes dos processos de transporte

As movimentações entre as explorações e os matadouros têm grande significado na distribuição das emissões e os transportes das peças de carne entre matadouros e lojas, apesar de representarem cerca de 25% do total de carne transportada, têm um impacto reduzido nos totais de emissão de GEE. Numa análise diferente, observa-se que os transportes ocorridos nas ilhas têm um impacto no total também bastante reduzido, representando sensivelmente o mesmo valor percentual que os transportes entre matadouros e lojas, como se verifica na figura 17.



*Figura 17 - Distribuição das emissões provenientes dos transportes entre Portugal e Ilhas.*

Se a análise até aqui realizada passar a incluir os dados de emissões directas dos bovinos, provenientes da fermentação entérica e gestão de estrumes, todo o impacto dos consumos de energia fica relativizado, como fica demonstrado de seguida, na figura 18.

Como se observa, o impacto das emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O nas explorações é responsável por cerca de 97% das emissões totais. Deve relembrar-se que este tipo de emissões considera apenas as emissões associadas aos animais abatidos no ano de 2012 e não a todo o efectivo bovino nacional.

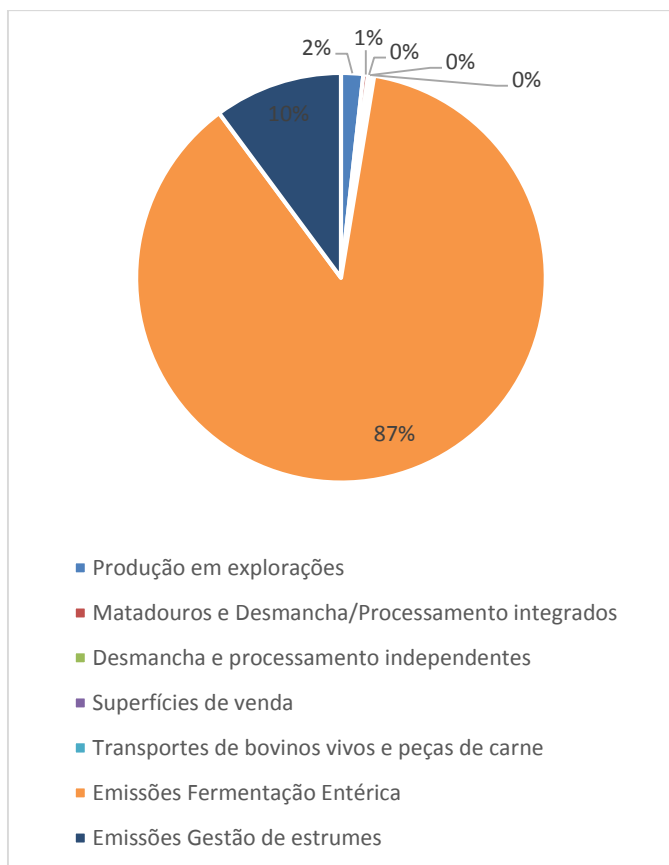


Figura 18- Distribuição das emissões de GEE da produção de carne de bovino em Portugal

Em concordância com os valores de emissões determinados, foram calculados indicadores de intensidade carbónica para o produto que chega ao consumidor final - a carne de bovino – bem como para as várias fases de produção, como forma de comunicação eficaz dos resultados e meio de comparação com outros produtos e actividades.

As estimativas realizadas determinaram, para a produção de carne de bovino em Portugal, um valor de intensidade carbónica de 46,7 kg CO<sub>2</sub>e/kg de produto. Considerando apenas as emissões associadas à energia consumida nas várias fases de produção, o valor aproxima-se de 1,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg produto, sendo superior à intensidade carbónica da produção de vários produtos comuns, nomeadamente da batata (0,11 kg CO<sub>2</sub>e/kg produto). De realçar a disparidade entre o valor de intensidade carbónica estimado neste trabalho e os estimados por Lesschen *et al.* (2011) e Weiss & Leip (2012), respectivamente 29 kg CO<sub>2</sub>e/kg produto e 31 kg CO<sub>2</sub>e/kg produto. Crê-se que as diferenças advenham, sobretudo, de uma característica muito particular da metodologia usada neste trabalho, que do nosso ponto vista é mais abrangente no que diz respeito à adjudicação das emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O aos animais abatidos que dão origem ao produto final. Ou seja, enquanto se presume que nos estudos referidos são consideradas apenas as emissões directamente provenientes do animal abatido, no trabalho que desenvolvemos foi ponderada a dependência desse animal relativamente à estrutura biológica a montante do mesmo. Desta forma, a afectação

das emissões de outros bovinos (vacas e touros) aos animais abatidos foi realizada de acordo com os seus períodos de gestação e amamentação, mas também com os períodos de recuperação das vacas entre partos, que no fundo determinam quantos animais estão anualmente, em média, a seu cargo. Esta abordagem tem a vantagem de integrar variáveis que, apesar de poderem parecer independentes do ponto de vista das emissões de GEE, são interdependentes do ponto de vista biológico e, como tal, pressões comuns à intensidade carbónica do produto final.

De facto, a intensidade carbónica da produção de carne de bovino apresenta valores surpreendentes, que se tornam mais evidentes se colocados em contextos familiares para o leitor. Suponha-se que após a instalação de uma unidade de ar condicionado num apartamento, a sua utilização média é de uma hora diária, pois o seu utilizador tem consciência do impacto que a utilização de energia tem na sua pegada carbónica e crê que uma hora de utilização chega para colocar a divisão a uma temperatura confortável. O aparelho tem cerca de 9000 BTU e na etiqueta a sua eficiência é A, com consumos médios de 750W. Em paralelo, o proprietário do mesmo apartamento raramente come carne de vaca mas decide, como exceção, grelhar um bife da vazia num dos dias. Se esta situação hipotética se desenrolasse em Portugal, de acordo com o estimado neste trabalho, ao consumo de um bife de carne de bovino com cerca de 150g estaria associada a emissão de cerca de 7 kg CO<sub>2</sub>e. Por outro lado, para que uma emissão do mesmo volume se verificasse devido à utilização do ar condicionado, e segundo as condições de utilização do mesmo nesta situação, seriam necessários 41 dias de uso.

A mesma comparação pode ser feita, por exemplo, como uma lâmpada incandescente comum de 60W – as lâmpadas que tendem a ser substituídas por lâmpadas LED e outras, devido à sua fraca eficiência e elevado gasto de energia, dos quais resultam maiores emissões de GEE associadas. Para que as emissões geradas a partir da utilização de uma lâmpada deste tipo se equiparem às emissões associadas ao consumo de um bife de 150g de carne de bovino, seriam necessárias cerca de 511 horas de utilização da mesma, o mesmo que a deixar ligada um pouco mais de 21 dias consecutivos.

Visualize-se agora o impacto de uma viagem de longo curso num avião comercial. Uma viagem de ida e volta de Lisboa a Pequim gera, a partir da combustão necessária para manter o avião em voo, cerca de 2 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Considerando um dos maiores aviões de passageiros já fabricados, o Airbus A340 300, as responsabilidades deste volume de emissões devem ser distribuídas pelos 295 passageiros desta aeronave, considerando que todos os lugares foram ocupados. Distribuídas, as emissões desta viagem ida e volta são de cerca de 6,8 kg CO<sub>2</sub>e /passageiro, equiparáveis ao volume de emissões resultante do consumo do mesmo bife referido nas últimas situações hipotéticas. Se imaginar o impacto de uma viagem de avião se torna uma tarefa demasiado abstracta, o mesmo exercício se pode realizar com uma deslocação de automóvel. De facto, as emissões de GEE associadas às 150g de carne de bovino referidas têm

sensivelmente o mesmo valor que as resultantes de uma deslocação de Lisboa a Setúbal, num carro familiar, cumpridor da norma EURO III, com uma cilindrada entre os 1,4 e os 2 litros, movido a gasolina a uma velocidade média de 85 km/h.

Os resultados demonstram que a intensidade carbónica da carne de bovino é superior, em larga escala, a diversos produtos bem conhecidos pelo consumidor. A tabela 14 sintetiza os valores de emissão associados aos produtos referidos.

*Tabela 14 - Valores de pegada carbónica de 5 produtos comuns. Pattara et al. (2012); Espinoza-Orias et al. (2011); Röös et al. (2010); Craig & Blanco (2013)*

<b>Produto</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e / garrafa (0,75 cL)</b>
Vinho	1,290
<b>Produto</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e / kg produto</b>
Pão	1,5
Batata	0,11
Banana	1,3
Carne de bovino	46,7

A selecção dos produtos foi feita de acordo com a representatividade dos mesmos – são produtos usados por grande parte das pessoas - mas também em conformidade com as metodologias usadas pelos autores dos estudos que deram origem aos resultados apresentados. Procurou apresentar-se resultados provenientes de estudos com limites e condições de análise semelhantes, ou pouco discrepantes, às estabelecidas no trabalho que desenvolvemos. De realçar a proximidade nos níveis de emissão associados a 3 dos produtos seleccionados – o vinho, o pão e a banana – e da disparidade existente entre os mesmos e os da produção da batata. O objectivo principal da apresentação desta tabela é, no entanto, colocar a carne de bovino num contexto de comparação simples e equitativa, como forma de comunicação do seu impacto nas emissões de GEE.

Encerrado este capítulo, acreditamos ter ficado clara a extensão do impacto da produção de carne de bovino nas emissões de GEE nacionais e, consequentemente, nas alterações climáticas. Os resultados apresentados, bem como todo o processo a jusante dos mesmos, permitiram retirar ilações relativamente às fases e detalhes do sistema que maior atenção devem merecer, nomeadamente no que diz respeito às linhas de acção a adoptar para a mitigação desta problemática.





## 5. Opções de mitigação

O presente capítulo procura compilar as opções de mitigação recolhidas da revisão da literatura e identificar outras que tenham despontado após análise dos resultados referentes à realidade portuguesa, ou seja, de maior especificidade. Após listagem de todas as opções de mitigação que, aparentemente, possam ter aplicabilidade para as condições em questão, far-se-á o enquadramento das mesmas opções na aproximação conceptual de Meadows (1997).

Na literatura existente, estão identificadas uma série de opções de mitigação, algumas ainda em desenvolvimento, com potencial de aplicação em vários pontos dos sistemas de produção animal, embora com níveis de aplicabilidade e eficácia diferentes. Grande parte das opções requer ainda profunda investigação até poder ser aplicada e também é notório que a maioria das opções disponíveis se adequam melhor a sistemas de produção intensiva, o que não abona a favor da situação portuguesa (Eckard, 2010). As emissões de CH<sub>4</sub> por parte dos bovinos, como se verifica nos resultados deste trabalho, têm grande importância no peso total das emissões de GEE em questão, pelo que se torna lógico que seja dado destaque às medidas de mitigação que afectem esta variável. No entanto, um dos obstáculos na criação de opções de mitigação das emissões de CH<sub>4</sub> é o conhecimento incompleto da natureza e ecologia dos micro-organismos que produzem metano (Buddle *et al.*, 2011). De realçar também a importância de assegurar, independentemente da viabilidade e eficácia da opção de mitigação seleccionada, a preservação da saúde animal e da segurança alimentar e ambiental. De seguida, listam-se aquelas que foram consideradas opções de mitigação potencialmente adequáveis à realidade analisada neste trabalho.

1. Redução do número de animais improdutivo, com maiores quantidades de CH<sub>4</sub> por kg de matéria seca ingerida;
2. Manipulação das pastagens: introdução de pastagens com baixo teor em fibras e elevado teor em hidratos de carbono solúveis;
3. Adição de óleos essenciais às dietas animais em sistemas intensivos ou nas fases em que se recorre à suplementação;
4. Administração de forragens à base de leguminosas;
5. Redução do consumo de carne de bovino *per capita*;
6. Criação de um sistema de incentivos para a utilização de pastagens permanentes;
7. Informar o consumidor da pegada carbónica de um produto;
8. Redução do número de bovinos abatidos provenientes de explorações leiteiras;
9. Limitar a distância percorrida entre explorações e matadouros (imposição de um limite máximo de distância percorrida).
10. Incremento nas quotas de energias renováveis nas origens da electricidade

## 5.1 Integração das opções de mitigação na lista de *Leverage Points de um Sistema*, de Donella Meadows

A partir das opções de mitigação compiladas e segundo aquilo que foi explanado na metodologia acerca da aproximação conceptual de Meadows, a seguinte lista de estratégias, organizadas por tipo e, conseqüentemente, por ordem decrescente de eficácia, tem como principal objectivo servir de *framework* para facilitação da escolha de medidas de mitigação com vista à redução das emissões de GEE na produção de carne de bovino em Portugal.

### 5.1.1 Estratégias tipo 1 – Os objectivos do sistema

Se um sistema tem um certo objectivo, tudo aquilo que está a montante desse objectivo se ajusta e organiza com vista ao cumprimento do mesmo – aqui se incluem p.e. *stocks*, fluxos, ciclos de retroacção e fluxos de informação. Nesta estratégia enquadra-se a seguinte opção de mitigação:

- Redução do consumo de carne de bovino *per capita*;

A redução do consumo de carne de bovino *per capita* representa um forte *leverage point* do sistema em causa, uma vez que uma alteração nos padrões de consumo de um produto pode traduzir-se numa alteração nas quantidades produzidas desse mesmo produto, dependendo da sua elasticidade, resultando numa redução do volume total de emissões de GEE.

### 5.1.2 Estratégias tipo 2 – As regras do sistema

As regras do sistema assumem grande importância como base de influência sobre o foco do sistema, os seus limites e a eficácia do seu funcionamento. Nesta estratégia enquadra-se a seguinte opção de mitigação:

- Redução do número de bovinos abatidos provenientes de explorações leiteiras;

A criação de regras com vista à redução do número de animais abatidos provenientes de raças leiteiras tem capacidade de funcionar como tónico para a alteração da estrutura de emissões dos bovinos de carne em Portugal, uma vez que animais de raças leiteiras têm factores de emissão superiores aos de raças de carne.

### 5.1.3 Estratégias tipo 3 – A estrutura dos fluxos de informação

A estrutura de informação de um sistema pode ser ajustada de forma a significar não o ajuste de um parâmetro ou ciclo/fluxo, mas sim a criação de um novo ciclo capaz de promover novos fluxos de informação. Nesta estratégia enquadra-se a seguinte opção de mitigação:

- Informar o consumidor da pegada carbónica de um produto;

Uma vez que a falta de retorno de informação é, segundo Meadows (1997) umas das principais razões de mau funcionamento de um sistema, a introdução de um novo fluxo de informação entre o produto e o consumidor final pode ter um efeito muito positivo no ajustamento dos padrões de consumo. A tragédia dos comuns é um exemplo de como a falta de retorno de informação leva à sobre-exploração de um recurso e uma lembrança de que acrescentar novos fluxos de informação é uma forma de promover alterações a um sistema.

#### 5.1.4 Estratégias tipo 4 – A estrutura de stocks e fluxos materiais

A estrutura física de um sistema é determinante para o seu funcionamento e um bom *leverage point*, mas habitualmente não é possível alterá-la de forma simples, pois alterar uma estrutura já estabelecida apresenta muitos entraves. Nesta estratégia enquadram-se as seguintes opções de mitigação:

- Limitar a distância percorrida entre explorações e matadouros (imposição de um limite máximo de distância percorrida);
- Redução do número de animais improdutivos, com maiores quantidades de CH<sub>4</sub> por kg de matéria seca ingerida;

A criação de um limite à distância percorrida entre explorações e matadouros pode causar alterações profundas na estrutura do sistema de transporte de animais vivos e, conseqüentemente, da carne para as superfícies de venda. Diminuir a distância percorrida, factor limitante das emissões por combustão, permite reduzir substancialmente as emissões associadas às fases de transporte inerentes ao sistema.

Por outro lado, a redução do número de animais improdutivos numa exploração, é uma forma de alterar a estrutura de emissões da fase de produção, por ser uma medida capaz de aumentar a eficácia do sistema.

#### 5.1.5 Estratégias tipo 5 - Constantes, parâmetros e números

As constantes, parâmetros e números de um sistema são, tradicionalmente, pontos de intervenção populares e de certa facilidade de modificação. Embora manipular números, constantes e parâmetros seja frequentemente uma das primeiras medidas tomadas na mitigação de um problema, os mesmos não representam normalmente grande alavancagem para a solução. Nesta estratégia enquadram-se as seguintes opções de mitigação:

- Adição de óleos essenciais às dietas animais em sistemas intensivos ou nas fases em que se recorre à suplementação;
- Administração de forragens à base de leguminosas;

- Criação de um sistema de incentivos para a utilização de pastagens permanentes;

As duas medidas que aqui se apresentam não são mais do que métodos de manipulação individual de taxas de emissão. Ambas oferecem, em teoria, um potencial meio de redução das emissões directas de GEE, mas enquadram-se no tipo de estratégias que representam *leverage points* mais fracos. A fraqueza deste tipo de *leverage points* reside no facto de raramente serem capazes de alterar o comportamento fundamental de um sistema, não sendo capazes de funcionar como factor estabilizador do mesmo.

## 5.2 Cenários

A criação de cenários é uma ferramenta útil no que diz respeito à apreciação de problemas ambientais e à avaliação de estratégias capazes de contribuir para a sua resolução (EEA, 2001). De forma a facilitar a visualização do impacto que as estratégias enumeradas poderão ter nas emissões de GEE associadas à produção de carne de bovino em Portugal, o subcapítulo que se inicia apresenta cenários nos quais se conjugam as estratégias previamente definidas e se procura prever o impacto que as mesmas têm na redução das emissões de GEE. A simulação do impacto das várias medidas também permitiu avaliar o cumprimento da ordem crescente de eficácia (e.g. Estratégias tipo 1 > (eficácia) Estratégias tipo 2) apontada por Donella Meadows, na sua lista de “*Places to Intervene in a System*”.

### 5.2.1 Cenário A – Estratégias tipo 2

O seguinte cenário consiste numa simulação da capacidade de mitigação da opção integrada nas estratégias de tipo 2, designadamente, a redução do número de bovinos abatidos provenientes de explorações leiteiras. Segue-se a sua apresentação:

A redução do número de bovinos abatidos provenientes de explorações leiteiras baseia-se no facto dos factores de emissão de animais provenientes destas explorações serem mais elevados, resultando em emissões totais superiores. O poder de alavancagem desta situação está na estrutura de animais abatidos para carne, que inclui uma grande quantidade de animais provenientes de explorações leiteiras (29%), como foi referido no capítulo dos resultados.

Estima-se que uma redução de 10% no número de animais abatidos provenientes de explorações leiteiras, transferindo a responsabilidade dessa produção para explorações de bovinos de carne, ou seja, mantendo o mesmo nível de produção a nível nacional, resultaria numa diminuição de cerca de 9% do valor total de emissões de GEE da produção de carne de bovino. Significaria, no fundo, aumentar o número de bovinos de carne abatidos em apenas 4%, fruto da redução em cerca de 12000 abates de animais de explorações leiteiras. O valor total de emissões de gases de efeito de estufa provenientes desta actividade passaria a ser de 1422 Gg CO<sub>2</sub>e, contrastando com as 1558

Gg CO<sub>2</sub>e que foram estimadas nas condições do ano de referência. Também a intensidade carbónica da carne de bovino sofreria uma redução significativa, passando para 41,4 kg CO<sub>2</sub>e / kg produto.

Deve no entanto realçar-se que a aplicação desta medida deve ser realizada de forma integrada, pois o seu efeito apenas tem valor real caso o número de bovinos em explorações leiteiras diminua efectivamente. Se tal não acontecer, apesar da contabilização das emissões deixar de estar associada à produção de carne de bovino, o nível absoluto de emissões de GEE, a nível nacional, manter-se-á o mesmo.

### 5.2.2 *Cenário B –Estratégias tipo 4 + Estratégias tipo 5*

O seguinte cenário consiste numa simulação da capacidade de mitigação de algumas opções integradas nas estratégias de tipo 4 e tipo 5. Foi testada a aplicação de uma opção de mitigação de cada estratégia, designada e respectivamente, (1) a limitação da distância percorrida entre explorações e matadouros, (2) a criação de um sistema de incentivos para a utilização de pastagens permanentes e (3) a adição de óleos essenciais às dietas animais em sistemas intensivos ou nas fases em que se recorre à suplementação. Segue-se a análise do cenário:

Para avaliação do impacto da primeira medida na redução das emissões de GEE da produção de carne de bovino, foi simulada a imposição de uma distância máxima percorrida de 100km entre explorações e matadouros. Cerca de 41% das movimentações realizadas em Portugal, entre explorações e matadouros, percorrem mais de 100km (sem contabilizar o transporte em vazio). Estimou-se que uma alteração nos fluxos de transporte, de modo a que as movimentações referidas passassem a percorrer a mesma distância média percorrida nas restantes rotas, seria capaz de causar uma redução de cerca de 35% nas emissões de GEE provenientes de toda a fase de transportes – cerca de 1,78 Gg CO<sub>2</sub>e – mas pouco significativa relativamente ao total associado à produção.

Para avaliar o efeito da primeira medida seleccionada de entre as integradas nas estratégias de tipo 5, não foi detalhada a criação do sistema de incentivos sugerido e foi traçado um cenário de uma forma de utilização específica de pastagens permanentes, desenvolvida por um grupo de estudos portugueses. O conceito de Biodiverse Permanent Pastures Rich in Legumes (BPPRL), ou Pastagens Permanentes Semeadas Biodiversas Ricas em Leguminosas (PPSBRL), distingue-se do conceito de pastagens convencionais por se fazer uso da diversidade e da complementaridade funcional das espécies de plantas para aumentar a produção vegetal (Teixeira *et al.*, 2008). Este tipo de pastagens oferece diversos benefícios do ponto de vista ambiental e ecológico, mas o factor de interesse para a aplicação da medida, neste caso, prende-se com a capacidade que as PPSBRL têm de funcionar como sumidouros de carbono (Teixeira *et al.*, 2008).

Estima-se que a conversão de 300 000 ha de pastagens portuguesas naturais, degradadas e abandonadas, em pastagens permanentes de alta produtividade como as PPSBRL, resultaria num sequestro de 1,56 Gg CO<sub>2</sub>e / ano. Este valor é próximo do valor de emissões de GEE estimado para a fase de Desmancha/Processamento da carne de bovino em Portugal, no entanto representa uma redução pouco significativa do total de emissões de todo o sistema.

De forma a determinar o impacto da adição de óleos essenciais às dietas animais nas emissões de GEE, foi simulada a aplicação desta medida a 30% do efectivo animal em explorações de bovinos de carne, durante 2 meses por ano. Os resultados da simulação determinaram um potencial de redução de cerca de 24 Gg CO<sub>2</sub>e, aproximadamente 1,6% do total de emissões de GEE do sistema em questão.

Demonstrou-se que o conjunto das duas estratégias, mediante as opções consideradas, tem o potencial de reduzir as emissões de GEE da produção de carne de bovino em cerca de 1,8%. Para compreender a força dos *leverage points* analisados é necessário perceber a dimensão da mudança que cada um deles oferece. Aparentemente, a estratégia 6 tem mais força enquanto *leverage point* que as duas anteriores, no entanto, as mudanças que propõe são bem mais alargadas, pelo que, apesar de em termos absolutos a redução nas emissões ser maior, proporcionalmente os seus ganhos são mais reduzidos relativamente às duas outras estratégias em causa.

### 5.3 Simulação das emissões de GEE no modelo dinâmico

No que diz respeito à avaliação do impacto das estratégias a partir da modelação do sistema, foram avaliadas cinco opções de mitigação, das quais duas foram avaliadas em exclusivo a partir da aplicação do modelo dinâmico, designadamente, a (1) redução do consumo de carne de bovino *per capita* e (2) o incremento nas quotas de energias renováveis nas origens da electricidade. As restantes opções avaliadas alinham-se com as que foram estudadas nos cenários A e B e são, respectivamente, a (3) redução do número de bovinos abatidos provenientes de explorações leiteiras, a (4) adição de óleos essenciais às dietas de bovinos de leite e a (5) introdução de pastagens permanentes. No caso da adição de óleos essenciais às dietas de bovinos leite foi operada uma alteração relativamente ao cenário B, nomeadamente no que diz respeito aos animais afectados. Testou-se a aplicação desta medida a 30% dos bovinos provenientes de explorações leiteiras, durante 3 meses por ano. Na figura 19, observam-se os resultados da modelação das cinco opções de mitigação na variação das emissões de GEE.

## Simulação Emissões GEE

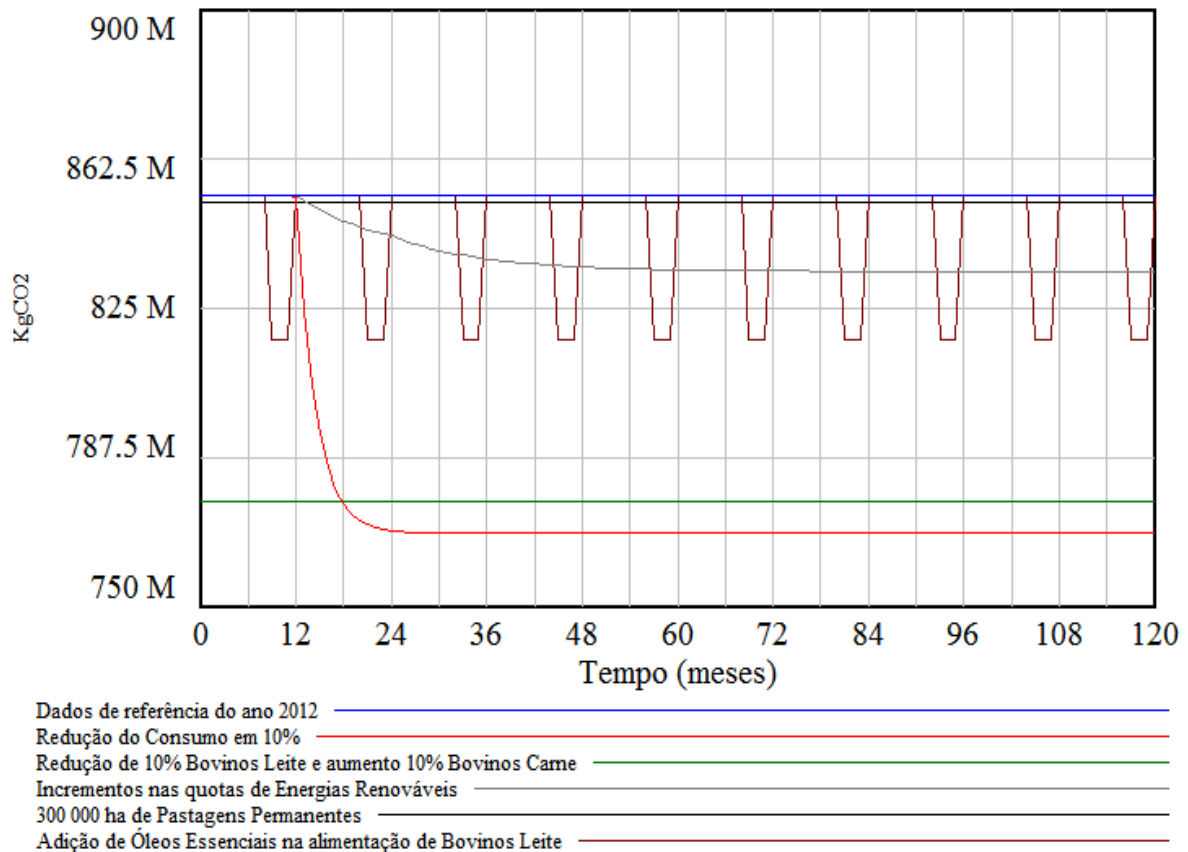


Figura 19 - Simulação das emissões de GEE da produção de carne de bovino

Deve realçar-se que o volume de emissões representado no modelo não corresponde ao volume total de emissões estimado neste trabalho, correspondendo no entanto a um valor proporcional. A diferença prende-se com o facto de não ter sido considerada, no modelo, a infraestrutura biológica que permitiu a existência dos animais abatidos.

Relativamente aos resultados da simulação, sobressai o impacto da redução de consumo de carne de bovino em 10% e da redução da quantidade de bovinos de explorações leiteiras abatidos para carne, também em 10%. Para a redução do consumo de carne partiu-se da assumpção, hipotética, de que o consumo de carne está limitado à produção representada neste sistema e de que a sua alteração se verificaria, de forma gradual, ao longo de 12 meses. No caso do estudo do impacto dos incrementos nas quotas de energias renováveis, optou por se aplicar os factores de emissão específica de electricidade dos anos de 2013 e 2014, por se ter verificado nestes anos um incremento nas quotas de energias renováveis. A leitura da figura é pouco convencional, devido a limitações na construção do modelo, mas demonstra de forma fiável o efeito das medidas na mitigação das emissões de GEE. As funções ilustradas representam os valores anuais de emissões de GEE segundo as condições do sistema em cada momento. A título de exemplo, a função “óleos

essenciais” representa o valor das emissões anuais do sistema caso os efeitos da medida se replicassem todo o ano.

O modelo dinâmico utilizado serviu, sobretudo, como método auxiliar para reflexão sobre a problemática em questão e compreensão do comportamento do sistema que representa. Adicionalmente, a modelação das várias opções de mitigação ajudou a confirmar as convicções previamente criadas acerca do comportamento do sistema, que levaram à integração das opções de mitigação na lista de “Pontos a Intervir num Sistema” de Donella Meadows (1997).

## 6. Conclusões

Esta dissertação foi desenvolvida em torno de um tema que vai assumindo preponderância no panorama internacional e que foca o impacto da produção de carne de bovino nas alterações climáticas. O trabalho, que incidiu sobre o contexto português, foi estruturado de forma a garantir o cumprimento dos objectivos propostos, e orientado para que se pudesse (1) estimar as emissões de gases com efeito de estufa da produção de carne de bovino em Portugal e (2) identificar os seus *leverage points*, isto é, os pontos-chave que podem configurar uma alteração substancial na emissão de gases com efeito de estufa. No presente capítulo sumarizam-se as principais conclusões que surgem da análise dos resultados e da interligação com os capítulos anteriores, nomeadamente com a literatura doutrinária existente sobre esta temática.

De modo a cumprir o primeiro objectivo, foram seleccionadas diferentes fontes de informação, tendo sido estabelecida uma metodologia que permitiu estimar, com diferentes graus de incerteza, o impacto de cada uma das fases da produção, transporte e disponibilização no mercado da carne de bovino em Portugal.

No âmbito do presente trabalho, considerou-se uma fronteira de análise que incluiu as seguintes componentes: (1) produção animal, (2) abate em matadouros, (3) desmancha/processamento e (4) disposição nas superfícies de venda e transporte.

O total de emissões de GEE apurado para estes domínios foi estimado em 1558 Gg CO<sub>2</sub>e e os resultados corroboram a ideia de que as emissões provenientes da fermentação entérica representam, inequivocamente, a componente mais importante desta actividade, uma vez que se demonstrou significarem cerca de 87% das suas emissões de GEE.

Esta dissertação avaliou o impacto da produção de carne de bovino em Portugal, um tema mais específico do que a maioria dos estudos que abordam o impacto da pecuária nas alterações climáticas. Ficou demonstrado neste trabalho que esta é, sem dúvida, uma actividade que contribui para as emissões nacionais de GEE - representou cerca de 2% do total nacional de emissões de GEE em 2012 - com grande intensidade carbónica. O valor por nós estimado para a intensidade carbónica da produção de carne de bovino em Portugal, fixa-se em cerca de 46,7 kg CO<sub>2</sub>e/kg de produto, sendo superior aos valores apontados por outros estudos similares (Lesschen et al., 2011; Weiss & Leip, 2012). É de referir que os resultados foram surpreendentes nesse aspecto, visto que a diferença verificada relativamente aos estudos citados é de aproximadamente 50%. A discrepância deve-se, em parte, às características inovadoras da metodologia utilizada, que do nosso ponto de vista é mais abrangente no que toca à afectação das emissões aos animais abatidos, nomeadamente no que se refere às emissões por fermentação entérica e provenientes da gestão de estrumes. Adicionalmente, a disparidade de valores entre a intensidade carbónica da

carne de bovino e a de outros produtos de uso comum, nomeadamente a batata (0,11 kg CO<sub>2</sub>e / kg produto), o pão (1,5 kg CO<sub>2</sub>e / kg produto) ou a utilização de um ar condicionado, também gerou alguma surpresa. Estimou-se que as emissões de GEE associadas à produção de um bife de 150g são equivalentes às da utilização de um ar condicionado por mais de 40 horas ou às da utilização de uma lâmpada incandescente por um pouco mais de 21 dias consecutivos, ou seja, 511 horas. Também se estimou que os 6,8 kg CO<sub>2</sub>e alocados a um passageiro numa viagem de ida e volta entre Lisboa e Pequim, ou resultantes da combustão realizada por um automóvel entre Lisboa e Setúbal, são apenas ligeiramente inferiores aos 7 kg CO<sub>2</sub>e associados à produção do mesmo bife de 150g. Acreditamos que o exercício realizado, com a colocação dos resultados em perspectiva, inseridos em contextos facilmente reconhecíveis, pode revelar-se crucial para a diminuição da lacuna de conhecimento público nesta matéria e contribuir para alterações de comportamento, no lado da procura.

A presente investigação corrobora estudos anteriormente realizados (FAO, 2006; EPA, 2006; Denman *et al.*, 2007; Goodland & Anhang, 2009; Herrero *et al.*, 2011) relativamente ao impacto da pecuária nas alterações climáticas, uma vez que demonstra o peso relativo da produção de carne de bovino, uma sub-actividade da pecuária, nas emissões de GEE nacionais. O trabalho desenvolvido contribui, do nosso ponto de vista, para a agregação do conhecimento acerca do tema e acrescenta elementos à discussão relacionada com a redução das emissões de GEE.

Paralelamente, uma vez que as alterações climáticas têm vindo a ser reconhecidas como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta enfrenta, parece justo reconhecer também que a produção de carne de bovino é uma das variáveis de influência dessa ameaça, como é reconhecido no relatório das Nações Unidas de 2010. Assim, torna-se evidente que a inclusão deste tema no panorama de discussão ambiental deve ser ponderada, quer pelos decisores políticos aquando da formulação de políticas para o consumo sustentável, quer pelos mercados aquando da produção e aprovisionamento de carne de bovino, quer, em última instância, pelos consumidores aquando das escolhas diárias de consumo.

Como se diz na gíria, ignorar os factos não os altera, pelo que ignorar o impacto da produção e consumo de carne de bovino não alterará a sua génese. Os *leverage points* sugeridos como opções de mitigação, representam uma proposta de linha de acção para os problemas revelados, podendo servir de base, em conjunto com a análise de resultados, para a criação de uma *framework* de análise desta actividade de elevada intensidade carbónica.

Nem todas as opções de mitigação apontadas pela literatura foram consideradas adequadas à realidade portuguesa. No entanto algumas figuram, em conjunto com outras opções resultantes da análise dos resultados, nos cinco tipos de estratégias de mitigação identificados nesta dissertação, no capítulo de opções de mitigação. A diminuição do consumo de carne de bovino,

integrada nas estratégias do tipo 1, surge como o principal *leverage point* na redução das emissões de GEE da produção de bovino em Portugal. Os primeiros quatro tipos de estratégias referidos, designadamente, (1) objectivos do sistema, (2) regras do sistema, (3) estrutura dos fluxos de informação e (4) estrutura de *stocks* e fluxos materiais, integram opções de mitigação de ordem mais estrutural. A estratégia tipo (5) - constantes, parâmetros e números - propõe soluções menos transversais, focadas na alteração de parâmetros individuais.

Relativamente à facilidade de aplicação dos *leverage points* identificados, a estratégia do tipo 1, que integra a redução do consumo de carne de bovino *per capita*, indicia maior dificuldade de aplicação do que, por exemplo, a estratégia do tipo 3, que prevê informar o consumidor da pegada carbónica de um produto, o que vai ao encontro da tendência apontada por Donella Meadows (1997) relativamente à facilidade de aplicação dos *leverage points*, que segue uma ordem decrescente na sua lista de “*Places to Intervene in a System*”.

Ainda no capítulo de opções de mitigação, os cenários que testaram o impacto das estratégias, corroboram esta tendência e demonstraram que as opções de mitigação seleccionadas podem realmente funcionar como *leverage points* do sistema. O cenário A testou a aplicação da estratégia do tipo 2, regras do sistema, e determinou que a redução, em 10%, do número de bovinos abatidos provenientes de explorações leiteiras, resultaria num corte de 9% das emissões globais do sistema e numa alteração do valor de intensidade carbónica da carne de bovino para 41,4 kg CO<sub>2</sub>e / kg produto. O cenário B determinou que, a partir da aplicação conjunta de três opções de mitigação distintas, seria possível atingir reduções a rondar 1,8% do total de emissões de GEE da produção de carne de bovino em Portugal. O modelo dinâmico, desenvolvido com a ferramenta Vensim, revelou-se importante para o aumento da compreensão dos aspectos de interdependência do sistema em questão. A simulação da aplicação das várias opções de mitigação - variáveis extrínsecas – atestou a importância da redução do consumo de carne de bovino e da redução do número de bovinos de explorações leiteiras abatidos para carne, enquanto *leverage points* das emissões de GEE da produção de carne de bovino em Portugal.

Consideramos que a investigação desenvolvida permitiu fazer o que a Engenharia do Ambiente deve fazer – estudar de forma integrada as questões de ambiente e desenvolvimento, numa perspectiva de sustentabilidade. O conhecimento e a apropriação de conteúdos de diversas disciplinas revelou-se crucial para o entendimento do tema em questão e para a criação e desenho metodológico que permitiu atingir os objectivos delineados.

## 6.1 Limitações e recomendações para trabalhos futuros

Os resultados e conclusões apresentados nesta dissertação devem ser admitidos com prudência devido às limitações que a metodologia usada oferece, nomeadamente nas incertezas associadas

às estimativas realizadas, especialmente as relativas a consumos de energia específicos na produção dos animais e nas superfícies de venda. Certas suposições representaram, em simultâneo, soluções, pois foram cruciais para o avanço do trabalho, mas também limitações, na medida em que vieram acrescentar incerteza aos resultados finais. O facto de se ter assumido que todos os animais abatidos no país são consumidos internamente, por exemplo, pode ter provocado uma estimativa por excesso no que diz respeito à energia consumida nas superfícies de venda e às emissões por combustão dos transportes. A suposição, noutro prisma, dos tipos de equipamentos de refrigeração e congelação mais representativos da realidade portuguesa, revelou-se essencial para proceder à estimativa dos consumos de energia das superfícies de venda, representando no entanto um considerável aumento da incerteza final do resultado.

O uso da base de dados adquirida junto do IFAP representa outra possível limitação deste trabalho, embora não existam evidências que o permitam concluir nem legitimidade para a questionar, uma vez que é uma base de dados oficial e suportada por requisitos legais. A leitura da base de dados foi feita de acordo com o que foi transmitido pelos peritos do IFAP e todas as estimativas das emissões de GEE (exceptuando as provenientes da fermentação entérica e gestão de estrumes) partiram da informação dela retirada. Não obstante, uma análise crítica desses valores, realizada a partir das referências bibliográficas existentes sobre o tema em apreço, bem como da opinião de peritos em produção bovina, permite-nos identificar possíveis incoerências nos valores de peso, ainda que não tenha sido possível verificá-las. Confirmando-se a existência dessas incoerências e acertados os valores de peso vivo dos animais no momento de abate, os valores estimados de energia consumida nas várias fases poderiam ser superiores, consequentemente resultando em valores totais de emissão de GEE superiores mas num valor de intensidade carbónica inferior, aproximando-o de outros estudos e reduzindo, em parte, a diferença de 50% referida anteriormente.

Deve realçar-se que os resultados poderiam ter demonstrado valores de emissão de GEE e de intensidade carbónica diferentes, caso tivessem sido considerados limites de análise mais alargados e incluídos sumidouros de carbono nas estimativas. Ainda assim, cremos que a metodologia seguida e os limites definidos resultaram em evidências representativas da realidade portuguesa.

Em trabalhos futuros, o desenvolvimento de um modelo dinâmico aperfeiçoado e de maior complexidade poderá revelar-se uma ferramenta interessante para a integração de outras variáveis que não tenham sido consideradas e para o estudo, por exemplo, do impacto do sector da produção de carne de bovino noutras componentes ambientais, como o solo e a água. Seria interessante, na nossa opinião, desenvolver um estudo do impacto do mesmo sector numa perspectiva de pegada hídrica da carne de bovino, uma vez que as visitas aos matadouros, às salas de desmancha e

processamento e às explorações, indiciaram uma elevada intensidade no consumo de água. Também poderá ser importante estudar o impacto da fase de consumo de carne de bovino, ou seja, a partir da saída das superfícies de venda. O mesmo trabalho que se desenvolveu nesta dissertação poderá ser realizado para a produção dos lacticínios, já que a revisão da literatura permitiu perceber a importância e dimensão que este sector também assume na produção agrícola europeia.

Por último, consideramos urgente que se facilite a obtenção de dados para o desenvolvimento de investigação académica e que, sobretudo o Estado, tenha interesse e obrigação de disponibilizar dados que estejam em sua posse, susceptíveis de produzir conhecimento utilizável por toda a comunidade, uma vez que a cooperação com Universidades corresponde a uma preocupação central em vários sectores da actividade económica.



## 7. Referências bibliográficas

- Arias, J. (2005). Energy Usage in Supermarkets - Modelling and Field Measurements. Dissertação de Doutorado. Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suécia.
- APA (2014). Portuguese National inventory report on greenhouse gases, 1990-2012, Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, Portugal.
- Bailey, R., Froggatt, A. & Wellesley, L. (2014). Livestock – Climate Change’s Forgotten Sector, *Energy, Environment and Resources*
- Balmaseda, M., Trenberth, & E. Källén, (2013). Distinctive climate signals in reanalysis of global ocean heat content, *Geophysical Research Letters*, 40, 1754-1759.
- Beauchemin, K., Henry Janzen, H., Little, S., McAllister, T. & McGinn, S. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, 103(6), 371-379.
- Beauchemin, K., Janzen, H., Little, S., McAllister, T. & McGinn, S. (2011). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 663-677.
- Benchaar, C. & Greathead, H. (2011). Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 338-355.
- Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A., Fraser, G., Colombatto, D., McAllister, T. & Beauchemin, K. (2008). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 209-228.
- Buddle, B., Denis, M., Attwood, G., Altermann, E., Janssen, P., Ronimus, R., Pinares-Patiño, C., Muetzel, S. & Neil Wedlock, D. (2011). Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *The Veterinary Journal*, 188(1), 11-17.
- Bugallo, P., Andrade, L., de la Torre, M. & López, R. (2014). Analysis of the slaughterhouses in Galicia (NW Spain). *Science of The Total Environment*, 481, 656-661.
- Carson, R. (1962). Silent Spring. Houghton Mifflin, Nova Iorque.
- Clark, H., Pinares-Patiño, C.S., de Klein, C.A.M., 2005. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. *Grassland: A Global Resource*, 279–293.
- Cláudio, D. Cortes Martins, L. & Vaz Portugal, A. (1988). Sistemas de selecção e produção de raças bovinas de carne especializadas ou não, na área Mediterrânica. *Revista de Medicina Veterinária*, 30, 4-16
- Craig, A. & Blanco, E. (2013). Carbon footprint of chiquita’s North American and European

bananas, MIT Center for Transportation & Logistics, EUA.

- Crosson, P., Shalloo, L., O'Brien, D., Lanigan, G., Foley, P., Boland, T. & Kenny, D. (2011). A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 29-45.
- Davies, R. & Davies, H. (1994). Modelling patient flows and resource provision in health systems. *Omega*, 22(2), 123-131.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silva Dias, P.L., Wofsy & S.C., Zhang, X. (2007). Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry, Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, 499-587.
- Delauretis, R., Dilara, P. & Ntziachristos, L. (2013). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013, Environmental European Agency, Copenhagen, Dinamarca.
- Dias, A., Silva, L. & Silva, M. (2008). Caracterização de duas explorações de raça bovina alentejana produtoras de carnalentejana dop. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Técnica de Lisboa.
- Dickie, A., Streck, C., Roe, S., Zurek, M., Haupt, F. & Dolginow, A. (2014). Strategies for Mitigating Climate Change in Agriculture: Abridged Report, *Climate Focus and California Environmental Associates*
- Di, H. & Cameron, K. (2011). How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures?. *Soil Use and Management*, 28(1), 54-61.
- European Commission. (1993). Directive 93/119/EC. Off J Euro Communities, 340, 21-31.
- European Commission (2004). Consumption trends for dairy and livestock products, and the use of feeds in production, in the CEE Accession and Candidate countries, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo
- European Commission. (2005). Reference document BAT in the slaughterhouses and animal by-products industries.
- Eckard, R., Grainger, C. & de Klein, C. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, 130(1-3), 47-56.
- EDP. (2012). Produção de electricidade. Obtido em 19 de Junho de 2015, de [www.edp.pt/unidadesdenegocio](http://www.edp.pt/unidadesdenegocio):

<http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/producaodeelectricidade/Pages/ProducaoElectricidade.aspx>

EDP. (2013). Origens da electricidade. Obtido em 25 de Junho de 2015 de

[www.edp.pt](http://www.edp.pt):

<http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>

EDP. (2014). Comercialização de energia eléctrica. Obtido em 20 de Junho de 2015 de

[www.edp.pt](http://www.edp.pt):

[http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/comercializacao/Pages/default\\_new.aspx](http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/comercializacao/Pages/default_new.aspx)

EPA (2006). Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020, *United States Environmental Protection Agency*, Washington, DC, USA. Obtido em:

[www.epa.gov/nonco2/econ-inv/dow](http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/dow).

Espinoza-Orias, N., Stichnothe, H. & Azapagic, A. (2011). The carbon footprint of bread. *Int J Life Cycle Assess*, 16(4), 351-365.

FAO (2006). Livestock's long shadow - environmental issues and options, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO (2009). The state of food and agriculture. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Roma, Itália. Obtido em:

<http://www.fao.org/>

FAO (2010). Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Galan, G., Dolle, J.B., Charroin, T., Ferrand, M. & Hiet, C., (2007). Consommation d'énergie en élevage bovin. Des repères pour se situer et progresser. *Rencontres Recherches Ruminants* 14, 29–32.

Goodland, R & Anhang, J. (2009). Livestock and Climate Change: What if the key actors in climate change were pigs, chickens and cows?, *WorldWatch*, November/December, 10.

González-Avalos, E. (2001). Methane emission factors from cattle manure in Mexico. *Bioresource Technology*, 80(1), 63-71.

Haas, G., Wetterich, F. & Kopke, U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83(1-2), 43-53.

- Herrero, M., Gerber, P., Vellinga, T., Garnett, T., Leip, A., Opio, C., Westhoek, H., Thornton, P., Olesen, J., Hutchings, N., Montgomery, H., Soussana, J., Steinfeld, H. & McAllister, T. (2011). Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 779-782.
- Hobson, P.N. & Stewart, C.S. (1997). *The Rumen Microbial Ecosystem*, Springer, Nova Iorque.
- INE (2013). *Estatísticas Agrícolas*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal
- INE (2014). *Estatísticas dos Transportes e Comunicações*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal
- IPCC (1996). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Obtido em:  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- IPCC (2007). *Climate Change: Mitigation of Climate Change, Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- James, S. & James, C. (2010). The food cold-chain and climate change. *Food Research International*, 43(7), 1944-1956.
- Kumar, S., Choudhury, P., Carro, M., Griffith, G., Dagar, S., Puniya, M., Calabro, S., Ravella, S., Dhewa, T., Upadhyay, R., Sirohi, S., Kundu, S., Wanapat, M. & Puniya, A. (2013). New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. *Appl Microbiol Biotechnol*, 98(1), 31-44.
- Kythreotou, N., Florides, G. & Tassou, S. (2012). A proposed methodology for the calculation of direct consumption of fossil fuels and electricity for livestock breeding, and its application to Cyprus. *Energy*, 40(1), 226-235.
- Lassey, K. (2007). Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2-4), 120-132.

- Lassey, K., Ulyatt, M., Martin, R., Walker, C. & David Shelton, I. (1997). Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric Environment*, 31(18), 2905-2914.
- Lesschen, J., van den Berg, M., Westhoek, H., Witzke, H. & Oenema, O. (2011). Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 16-28.
- Margulis, S. (2003). Causes of Deforestation of the Brazilian Rainforest. *World Bank Publications*
- Magnabosco, C., Araújo, C. & Manicardi, F. (2004) The use of real time ultrasound to estimate variance components for growth and carcass traits in nelore cattle. *Journal of animal science* , 83.
- Matthews, H. D. & K. Zickfeld, (2012). Climate response to zeroed emissions of greenhouse gases and aerosols. *Nature Climate Change*, 2, 338-341.
- Merino, P., Ramirez-Fanlo, E., Arriaga, H., del Hierro, O., Artetxe, A. & Viguria, M. (2011). Regional inventory of methane and nitrous oxide emission from ruminant livestock in the Basque Country. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 628-640.
- Meadows D. (1997). Leverage points: Places to intervene in a system, The Sustainability Institute, EUA.
- McCarty, G.W. 1998. Modes of action of nitrification inhibitors. *Biology and Fertility of Soils*, 29(1),1-9.
- National Geographic (2014), 'Increased Fears about Environment, but Little Change in Consumer Behavior, According to New National Geographic/GlobeScan Study', Obtido a 20 de Maio, em:  
<http://press.nationalgeographic.com/2014/09/26/greendex>.
- Nguyen, N. & Bosch, O. (2012). A Systems Thinking Approach to identify Leverage Points for Sustainability: A Case Study in the Cat Ba Biosphere Reserve, Vietnam. *Syst. Res.*, 30(2), 104-115.
- O'Mara, F.P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 7-15.

- Oppenlander, R. A. (2013). Food Choice and Sustainability: Why Buying Local, Eating Less Meat, and Taking Baby Steps Won't Work, *Langdon Street*.
- PAGES 2K Consortium, (2013). Continental-scale temperature variability during the past two millennia. *Nature Geoscience*, 6, 339- 346.
- Pattara, C., Raggi, A. & Cichelli, A. (2012). Life Cycle Assessment and Carbon Footprint in the Wine Supply-Chain. *Environmental Management*, 49(6), 1247-1258.
- Perry, B. and Sones, K. (2007). Science for development: Poverty Reduction Through Animal Health. *Science*, 315(5810), 333-334.
- Powell, T. & Lenton, T. (2012). Future carbon dioxide removal via biomass energy constrained by agricultural efficiency and dietary trends, *Energy & Environmental Science*
- Ramirez, C., Patel, M. & Blok, K. (2006). How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries. *Energy*, 31(12), 2047-2063.
- Rashwan, W., Abo-Hamad, W. & Arisha, A. (2015). A system dynamics view of the acute bed blockage problem in the Irish healthcare system. *European Journal of Operational Research*, 247(1), 276-293.
- Restle, J., Vaz, F., Roso, C., Oliveira, A., Cerdótes, L., Menezes, L. (2001). Desempenho e características da carcaça de vacas de diferentes grupos genéticos em pastagem cultivada com suplementação energética, *Revista Brasileira Zootecnia*, 30.
- Ridoutt, B., Page, G., Opie, K., Huang, J. & Bellotti, W. (2014). Carbon, water and land use footprints of beef cattle production systems in southern Australia. *Journal of Cleaner Production*, 73, 24-30.
- Riso, A., Fontes, M. & Gouveia, D. (2014). Contributo para a análise da cadeia de valor da carne de bovino em Portugal. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa.
- Rodrigues, A. (1997). Sistemas de produção de bovinos de carne em Portugal. Dissertação de Mestrado. Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Roos, E., Sundberg, C. & Hansson, P. (2010). Uncertainties in the carbon footprint of food products: a case study on table potatoes. *International J Life Cycle Assess*, 15(5), 478-488.
- Ruiz-Suárez, L. & Gonzalez-ávalos, E. (1997). Modeling methane emissions from cattle in Mexico. *Science of The Total Environment*, 206(2-3), 177-186.

- Scarborough P., Appleby, P., Mizdrak, A., Briggs, A., Travis, R., Bradbury K. & Key, T. (2014). Dietary Greenhouse Gas emissions of Meat-eaters, Fish-eaters, Vegetarians and Vegans in the UK, *Climate Change*, 124(2), 179–92.
- Shibata, M. & Terada, F. (2010). Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal*, 81(1), 2-10.
- Sterman, J. (2002). All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, 18(4), 501-531.
- Sterman, J. (2002). Systems dynamics modeling: tools for learning in a complex world. *IEEE Engineering Management Review*, 30(1), 42-42.
- Sugiarta, N., Tassou, S.A., Chaer, I. & Marriott, D. (2009). Trigeneration in food retail: An energetic, economic and environmental evaluation for a supermarket application, *Applied Thermal Engineering*, 29, 2624–2632
- Tassou, S., Ge, Y., Hadawey, A. & Marriott, D. (2011). Energy consumption and conservation in food retailing. *Applied Thermal Engineering*, 31(2-3), 147-156.
- Thornton, P., Herrero, M. & Ericksen, P. (2011). Livestock and Climate Change, *Livestock Exchange*, 3.
- Thorpe, A. (2009). Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control?) of methane in the climate change debate, *Climate Change*, 93, 407-43.
- Toresen, K., Kjött, N., Herlevsen, S., Pontoppidan, O., Hansen, P.-I.E., (2001). Nordic slaughterhouses BAT document. *The Danish Meat Research Institute*, Roskilde, Dinamarca
- UN (2008). The Millenium Development Goals Report, United Nations, Nova Iorque. Obtido em: [http://www.un.org/millenniumgoals/2008highlevel/pdf/newsroom/mdg%20reports/MDG\\_Report\\_2008\\_ENGLISH.pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/2008highlevel/pdf/newsroom/mdg%20reports/MDG_Report_2008_ENGLISH.pdf)
- UNEP (2010). Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials, A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management.
- UNFCCC (2013). Compilation of Information on Nationally Appropriate Mitigation Actions to be Implemented by Developing Country Parties, Obtido a 28 de Maio, em: <http://unfccc.int/resource/docs/2013/sbi/eng/inf12r02.pdf>

- Veysset, P., Lherm, M. & Bébin, D. (2010). Energy consumption, greenhouse gas emissions and economic performance assessments in French Charolais suckler cattle farms: Model-based analysis and forecasts. *Agricultural Systems*, 103(1), 41-50.
- Veysset, P., Lherm, M., Bébin, D., Roulenc, M. & Benoit, M. (2014). Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 188, 180-191.
- Walsh, J., Wuebbles, D., Hayhoe, K., Kossin, J., Kunkel, K., Stephens, G., Thorne, R., Vose, M., Wehner, J., Willis, D., Anderson, S., Doney, R., Feely, P., Hennon, V., Kharin, T., Knutson, F., Landerer, T. , Lenton, J., Kennedy, J. & Somerville, R. (2014). Ch. 2: Our Changing Climate - Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment, *U.S. Global Change Research Program*, 19-67.
- Weiss, F. & Leip, A. (2012). Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 149, 124-134.

## A. Anexos

### A.1 Base de dados do IFAP

Tabela 15 - Contagem do número de bovinos abatidos por ano, por concelho de exploração

Rótulos de Linha	Contagem de EXPLORAÇÃO_CONCELHO
BARCELOS	15668
MAFRA	10235
PONTA DELGADA	9599
POVOA DE VARZIM	9413
ANGRA DO HEROISMO	8685
PALMELA	8532
TORRES VEDRAS	8308
BENAVENTE	8135
PRAIA DA VITORIA	7928
EVORA	6402
MONTEMOR-O-NOVO	6180
SANTAREM	5985
RIBEIRA GRANDE	5655
MONTALEGRE	5453
VILA DO CONDE	5383
MOITA	5280
ALCOBACA	5175
CARTAXO	4745
SANTA MARIA DA FEIRA	4357
VILA NOVA DE FAMALICAO	4089
VILA VERDE	3822
ELVAS	3792
CUBA	3729
CANTANHEDE	3656
CALDAS DA RAINHA	3646
HORTA	3566
MONFORTE	3227
CASTELO BRANCO	3222
LOUSADA	3171
PONTE DE SOR	3031
CORUCHE	3009
ALVITO	2958
MADALENA	2947
SANTIAGO DO CACEM	2935
MOURA	2873
SOBRAL DE MONTE AGRACO	2803
BRAGA	2789
GUIMARAES	2752

ALCACER DO SAL	2697
ARRAIolos	2685
ESTARREJA	2556
VILA FRANCA DO CAMPO	2543
POMBAL	2533
LOURINHA	2488
MONTIJO	2464
CHAVES	2450
PORTALEGRE	2384
REDONDO	2268
VILA REAL	2268
IDANHA-A-NOVA	2207
PAREDES	2186
LEIRIA	2178
LAJES DO PICO	2152
MAIA	2151
OVAR	2141
TORRES NOVAS	2088
MIRANDA DO DOURO	2055
AVIS	2037
BEJA	2036
SANTA CRUZ	2020
FELGUEIRAS	2002
ALENQUER	1990
ALMEIRIM	1979
CALHETA (SAO JORGE)	1854
MONTEMOR-O-VELHO	1801
PONTE DE LIMA	1784
AROUCA	1781
BRAGANCA	1778
NORDESTE	1732
RIO MAIOR	1719
OLIVEIRA DE AZEMEIS	1711
MACEDO DE CAVALEIROS	1707
SILVES	1620
BOTICAS	1609
MOGADOURO	1588
OUREM	1553
SERPA	1548
VILA POUCA DE AGUIAR	1544
VELAS	1520
FAFE	1489
VIANA DO ALENTEJO	1471
CASTRO DAIRE	1458
VINHAIS	1436

<b>CADAVAL</b>	<b>1410</b>
<b>VAGOS</b>	<b>1390</b>
<b>ESPOSENDE</b>	<b>1371</b>
<b>ALCOCHETE</b>	<b>1364</b>
<b>GRANDOLA</b>	<b>1360</b>
<b>CABECEIRAS DE BASTO</b>	<b>1355</b>
<b>MORA</b>	<b>1351</b>
<b>WISEU</b>	<b>1343</b>
<b>TROFA</b>	<b>1324</b>
<b>CRATO</b>	<b>1296</b>
<b>VIANA DO CASTELO</b>	<b>1296</b>
<b>PORTEL</b>	<b>1254</b>
<b>ARRONCHES</b>	<b>1237</b>
<b>ALANDROAL</b>	<b>1208</b>
<b>LAGOA (SAO MIGUEL)</b>	<b>1189</b>
<b>CELORICO DE BASTO</b>	<b>1142</b>
<b>POVOACAO</b>	<b>1137</b>
<b>SAO ROQUE DO PICO</b>	<b>1133</b>
<b>MIRANDELA</b>	<b>1132</b>
<b>SAO PEDRO DO SUL</b>	<b>1131</b>
<b>CINFAES</b>	<b>1098</b>
<b>NISA</b>	<b>1090</b>
<b>GONDOMAR</b>	<b>1074</b>
<b>MERTOLA</b>	<b>1074</b>
<b>ODEMIRA</b>	<b>1060</b>
<b>FIGUEIRA DA FOZ</b>	<b>1040</b>
<b>SOUSEL</b>	<b>1023</b>
<b>ARCOS DE VALDEVEZ</b>	<b>1012</b>
<b>AMARANTE</b>	<b>1012</b>
<b>RIBEIRA DE PENA</b>	<b>1006</b>
<b>Concelhos com &lt; 1000 bovinos</b>	<b>981</b>
<b>Total Geral</b>	<b>381562</b>

Tabela 16 - Contagem do número de bovinos abatidos por ano, por concelho de matadouro

<b>Rótulos de Linha</b>	<b>Contagem de MATADOURO_CONCELHO</b>
VILA NOVA DE FAMALICAO	72792
MONTIJO	41343
BARCELOS	27839
PENAFIEL	22172
RIBEIRA GRANDE	21817
PRAIA DA VITORIA	18727
MAFRA	15909
SANTAREM	15443
TOMAR	14121
SOUSEL	13174
LEIRIA	12881
AVEIRO	11702
CASTELO BRANCO	9894
MARCO DE CANAVESES	9179
VALE DE CAMBRA	8514
BEJA	8481
LAJES DO PICO	6950
MONTALEGRE	6699
PEDROGAO GRANDE	6205
SANTA MARIA DA FEIRA	4871
FUNCHAL	4126
VINHAI	3602
OLIVEIRA DO HOSPITAL	3491
MIRANDA DO DOURO	3093
GUARDA	2762
BRAGANCA	2601
HORTA	2424
MONCAO	2276
ODEMIRA	2211
SETUBAL	2058
CALHETA (SAO JORGE)	1932
RESENDE	794
VILA DO PORTO	556
SANTA CRUZ DAS FLORES	554
SANTA CRUZ DA GRACIOSA	328
CORVO	41
<b>Total Geral</b>	<b>381562</b>

Tabela 17 - Média de idade dos bovinos por género (M ou F)

Rótulos de Linha	Contagem de RAÇA	Média de IDADE
F	171273	44
M	210288	14

Tabela 18 - Exemplo das matrizes de tratamento de dados no Excel

25% desmanchada - ou seja directa					
Número de animais	Concelho do matadouro de	Distânc	Peso méd	Peso carc	
11702	AVEIRO	135,27	240,5	125,6	
27839	BARCEL	135,27	243,5	127,1	
8481	BEJA	135,27	298,6	155,9	
2601	BRAGA	135,27	189,9	99,1	
1932	CALHETA (SAO JORGE)	20	209,2	109,2	
9894	CASTELO BRANCO	135,27	249,1	130,1	
41	CORVO	20	187,7	98,0	
4126	FUNCHAL	20	240,9	125,8	
2762	GUARDA	135,27	244,3	127,6	
2424	HORTA	20	278,7	145,5	
6950	LAJES DO PICO	20	217,8	113,7	
12881	LEIRIA	135,27	277,1	144,7	
15909	MAFRA	135,27	288,6	150,7	
9179	MARCO DE CANAVESES	135,27	232,3	121,3	
3093	MIRANDA DO DOURO	135,27	173,8	90,7	
2276	MONCAO	135,27	234,2	122,3	

Tabela 19 - Exemplo das matrizes de tratamento de dados no Excel

Rendimento da desma	Toneladas abat	Rendimento car	Tonelada carca
0,66	703,5	0,52	367,33
0,66	1694,8		884,88
0,66	633,1	0,497607656	330,57
0,65	123,5	0,556164384	64,46
0,65	101,0	0,541935484	52,76
0,66	616,2	0,51	321,73
0,65	1,9	0,518	1,00
0,66	248,5	0,509	129,75
0,66	168,7	<b>0,52211792</b>	88,08
0,66	168,9		88,17
0,65	378,4		197,58
0,66	892,4		465,96
0,66	1147,8		599,27

Tabela 20 - Exemplo das matrizes de tratamento de dados no Excel

Nº cami	Distância total percorrida		CO2 (g/ro	HF
	Transporte - Transporte	Transporte		
57,849	15650,09338		7596285	
139,44	37723,25797		18310217	
52,663	14247,14036		6915315	
10,049	2718,474339		1319500	
8,2565	330,2602852		160302,6	
50,756	13731,13967		6664858	
0,1565	6,260711277		3038,841	
20,435	817,4049693		396754,2	
13,882	3755,66371		1822934	
13,991	559,6464444		271642,7	
30,975	1239,017032		601397,4	
73,918	19997,31575		9706351	
95,281	25776,64927		12511540	

Tabela 21 - Estudo dos pesos típicos dos bovinos para acerto da base de dados

meses	pesos						MAX	
0	18	25	40	33	40	33	32,5	<b>46</b>
1	30	47,5	64	57	85	57	56,5	<b>98</b>
2	42	70	88	81	130	81	80,5	<b>150</b>
3	54	92,5	112	105	175	105	104,5	<b>201</b>
4	66	115	136	129	220	129	128,5	<b>253</b>
5	78	137,5	160	153	265	153	152,5	<b>305</b>
6	90	160	184	177	310	177	176,5	<b>357</b>
7	102	182,5	208	201	355	201	200,5	<b>408</b>
8	114	205	232	225	400	225	224,5	<b>460</b>
9	126	227,5	256	249	445	249	248,5	<b>512</b>
10	138	250	280	273	490	273	272,5	<b>564</b>
11	150	272,5	304	297	535	297	296,5	<b>615</b>
12	162	295	328	321	580	321	320,5	<b>667</b>
13	174	317,5	352	345	625	345	344,5	<b>719</b>
14	186	340	376	369	670	369	368,5	<b>771</b>
15	198	362,5	400	393	715	393	392,5	<b>822</b>
16	210	385	424	417	760	417	416,5	<b>874</b>
17	222	407,5	448	441	805	441	440,5	<b>926</b>
18	234	430	472	465	850	465	464,5	<b>978</b>