

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA



AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE UMA SUPLEMENTAÇÃO COM ÁCIDOS GORDOS ÓMEGA-3 E
A SUA DEPOSIÇÃO NA CARNE DE SUÍNO: META-ANÁLISE

MAFALDA DE ALBUQUERQUE NÚNCIO PEREIRA COUTINHO

ORIENTADOR

Doutor Rui José Branquinho de Bessa

COORDINADORA

Doutora Fernanda Maria dos Reis
Torraes Valente.

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA



AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE UMA SUPLEMENTAÇÃO COM ÁCIDOS GORDOS ÓMEGA-3 E
A SUA DEPOSIÇÃO NA CARNE DE SUÍNO: META-ANÁLISE

MAFALDA DE ALBUQUERQUE NÚNCIO PEREIRA COUTINHO

Dissertação elaborada para obtenção do grau de mestre em
Engenharia Zootécnica / Produção Animal

JÚRI

PRESIDENTE:

Doutor Luís Lavadinho Telo da Gama

VOGAIS:

Doutor Rui José Branquinho de Bessa

Doutora Teresa de Jesus da Silva Matos Nolasco

Crespo

ORIENTADOR:

Doutor Rui José Branquinho de Bessa

COORIENTADORA:

Doutora Fernanda Maria dos Reis

Torroaes Valente.

DECLARAÇÃO RELATIVA ÀS CONDIÇÕES DE REPRODUÇÃO DA TESE OU DISSERTAÇÃO

Nome: Mafalda de Albuquerque Núncio Pereira Coutinho

Título da Dissertação: Avaliação da eficácia de uma suplementação com ácidos gordos ómega-3 e a sua deposição na carne de suíno: meta-análise.

Designação do curso de Mestrado: Engenharia Zootécnica – Produção Animal

Área científica em que melhor se enquadra:

- Clínica Produção Animal e Segurança Alimentar
 Morfologia e Função Sanidade Animal

Declaro sob compromisso de honra que a dissertação agora entregue corresponde à que foi aprovada pelo júri constituído pela Faculdade de Medicina Veterinária da ULISBOA.

Declaro que concedo à Faculdade de Medicina Veterinária e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha tese ou dissertação, no todo ou em parte, em suporte digital.

Declaro que autorizo a Faculdade de Medicina Veterinária a arquivar mais de uma cópia da tese ou dissertação e a, sem alterar o seu conteúdo, converter o documento entregue, para qualquer formato de ficheiro, meio ou suporte, para efeitos de preservação e acesso.

Retenho todos os direitos de autor relativos à dissertação, e o direito de a usar em trabalhos futuros (como artigos ou livros).

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Faculdade de Medicina Veterinária com o seguinte estatuto (assinale um):

- Disponibilização imediata do conjunto do trabalho para acesso mundial;
- Disponibilização do conjunto do trabalho para acesso exclusivo na Faculdade de Medicina Veterinária durante o período de 6 meses, 12 meses, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso mundial*;

* Indique o motivo do embargo (OBRIGATÓRIO)

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTES TRABALHOS APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa, 20 de maio de 2021

Assinatura:

Assinado por : **Mafalda de Albuquerque Núncio
Pereira Coutinho**
Num. de Identificação: B113748666
Data: 2021.06.11 13:36:07 +0100



AGRADECIMENTOS

Ao professor Rui Bessa, por ter aceitado orientar-me nesta dissertação e me ter introduzido às meta-análises, assim como todo o apoio científico, sugestões e disponibilidade demonstrada ao longo deste trabalho.

À professora Fernanda Valente, minha coorientadora, por ter aceitado este desafio, por toda a paciência e disponibilidade demonstrada.

À minha família, por todo o apoio e motivação ao longo destes meses, assim como ao longo de todo o meu percurso académico. Em especial à minha mãe, pela ajuda, correções e sugestões que pôs neste trabalho, e ao meu pai por todo o apoio moral.

Ao José Vilhena, por toda a ajuda, companhia e motivação.

Às minhas colegas de curso e de faculdade, por terem tornado o meu percurso académico tão especial e divertido.

A todos os professores, amigos e colegas que de alguma forma me marcaram.

Muito obrigada.

RESUMO

Os ácidos gordos (AG) ómega-3 são nutrientes conhecidos pelas suas propriedades anti-inflamatórias, assim como pelo papel essencial que desempenham no desenvolvimento cerebral e sua funcionalidade, tanto nos animais como nos humanos. No entanto, estes AG não são produzidos pelos vertebrados, pelo que terão de ser obtidos através da alimentação. Assim, o tipo de gordura presente na alimentação dos suínos irá determinar a composição em AG nas gorduras dos tecidos do animal. A presença dos AG ómega-3 nas dietas animais geralmente não é muito elevada e a sua inclusão tem gerado interesse de modo a valorizar o produto, através do enriquecimento da carne em AG ómega-3.

Sabendo que existe uma relação positiva entre a suplementação com AG ómega-3 na alimentação de suínos e a sua deposição na carne, o objetivo desta análise foi de quantificar a resposta do suíno a uma suplementação com fontes ricas em AG ómega-3, tanto no músculo (*longissimus dorsi*) como no tecido adiposo. Para isso, foi analisada uma base de dados com os resultados de 44 artigos científicos que descreviam ensaios de suplementação com três fontes de AG ómega-3: óleo de linhaça, óleo de peixe e óleo de microalga. De forma a avaliar a magnitude desta resposta, foi realizada uma análise clássica de regressões lineares, com e sem efeito da fonte de AG ómega-3, e duas análises de regressão com modelos mistos, considerando cada ensaio como efeito aleatório. A segunda metodologia com modelos mistos (terceira etapa) apresentou modelos de melhor qualidade e sugere que, por cada g adicional de AG ómega-3 em 100g AG de alimento composto, a concentração de AG ómega-3 aumenta, em média, 200 mg/100 g AG de músculo e 247 mg/100 g AG de tecido adiposo. Em geral, o efeito da fonte não foi significativo indicando que os resultados poderiam ser obtidos através de qualquer uma destas fontes. A semelhança entre metodologias indica que a análise clássica não se encontra tão afastada da realidade como se poderia esperar e que a terceira etapa não causou tantas alterações como previsto, mas suficientes para melhorar a qualidade dos modelos.

Palavras-chave: alimentação animal, óleo, carne de suíno, modelos mistos

ABSTRACT

Omega-3 fatty acids (FA) are nutrients known for their anti-inflammatory properties, as well as the essential role they play in brain development and functionality, both in animals as in humans. However, these FA are not produced by vertebrates, therefore must be obtained through food. Thus, the type of fat used in swine feed will determine the fatty acid composition in the animal's fat tissue. The presence of omega-3 FA in animal diets is usually not very high and its inclusion has been of increasing interest in order to enhance the product, through meat enrichment in omega-3 FA.

Knowing that there is a positive relation between omega-3 FA supplementation in swine feed and its deposition in the flesh, the objective of this analysis was to quantify animal response to supplementation rich in omega-3 FA in the muscle (longissimus dorsi) and adipose tissue. For this, a database with the results of 44 papers describing supplementation essays with 3 different omega-3 sources was analyzed: linseed oil, fish oil and algae oil. In order to evaluate the magnitude of the response, a classic linear regression study was made with and without the effect of the omega-3 FA source, as well as a mixed model regression analysis, considering each essay as a random effect. The second methodology with mixed models (third stage) presented models of better quality and suggests that, for each additional g of omega-3 FA in 100 g compound feed's FA, the concentration of omega-3 FA increases, on average, 200 mg / 100 g of muscle's FA and 247 mg / 100 g of adipose tissue's FA. In general, the effect of the source was not significant, indicating that the results could be obtained from any of these sources. The similarity between methodologies indicates that the classic analysis is not as far of reality as one might expect and that the third stage did not cause as many changes as expected, but enough to improve the quality of the models.

Keywords: animal feed, oil, pork meat, adipose tissue.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| ÍNDICE DE TABELAS | viii |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | ix |
| LISTA DE ABREVIATURAS | x |
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Revisão bibliográfica..... | 3 |
| 2.1. Suinicultura | 3 |
| 2.1.1. A produção suinícola no mundo..... | 3 |
| 2.1.2. A produção suinícola em Portugal | 4 |
| 2.1.2.1. Efetivo suinícola nacional..... | 4 |
| 2.1.2.2. Produção de carne de suíno | 4 |
| 2.2. Ácidos gordos | 6 |
| 2.2.1. Caracterização dos ácidos gordos..... | 6 |
| 2.2.2. Ácidos gordos polinsaturados | 7 |
| 2.2.3. Influência dos ácidos gordos na saúde humana..... | 9 |
| 2.2.4. Presença dos ácidos gordos ómega-3 na alimentação animal..... | 10 |
| 2.3. Características da carne suína..... | 11 |
| 2.4. Fontes de ácidos gordos ómega-3 na alimentação animal..... | 14 |
| 2.4.1. Óleos vegetais | 14 |
| 2.4.1.1. Óleo de linhaça..... | 14 |
| 2.4.1.2. Outros óleos..... | 15 |
| 2.4.2. Óleo de peixe..... | 16 |
| 2.4.3. Óleo de microalga..... | 17 |
| 2.5. Meta-análise em nutrição animal | 19 |
| 2.5.1. O que é uma meta-análise? | 19 |
| 2.5.2. Modelo Linear | 20 |
| 2.5.3. Modelos mistos..... | 22 |
| 3. Material e métodos | 23 |
| 3.1 Critérios de pesquisa para seleção dos estudos | 23 |

| | |
|--|----|
| 3.2. Recolha e conversão de dados | 25 |
| 3.3. Análise gráfica exploratória das variáveis | 26 |
| 3.4. Análise estatística | 26 |
| 3.4.1. Primeira Etapa – Análise estatística clássica | 26 |
| 3.4.2. Segunda Etapa – Análise com Modelos Mistos | 28 |
| 3.4.3. Terceira Etapa – Análise com Modelos Mistos com heteroscedasticidade dos erros aleatórios | 29 |
| 3.4.4. Quarta Etapa – Análise das etapas anteriores | 29 |
| 4. Resultados e discussão | 30 |
| 4.1. Variabilidade das variáveis em estudo | 30 |
| 4.2. Análise gráfica exploratória das principais relações entre variáveis | 33 |
| 4.3. Análise estatística | 39 |
| 4.3.1. Primeira Etapa – Análise estatística clássica | 39 |
| 4.3.2. Segunda Etapa – Análise com Modelos Mistos | 44 |
| 4.3.3. Terceira etapa – Análise com Modelos Mistos com heteroscedasticidade dos erros aleatórios | 46 |
| 4.3.4. Quarta etapa – Análise das etapas anteriores | 48 |
| 5. Conclusões e perspetivas | 50 |
| 6. Referências bibliográficas | 51 |
| Anexos | 61 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Estrutura dos principais AG ómega-3 (Adaptado de R.J.B. Bessa 2009) | 7 |
| Figura 2. Estrutura dos principais AG ómega-6 (Adaptado de R.J.B. Bessa 2009) | 8 |
| Figura 3. Processos de transformação dos AG ómega-6 e ómega-3 (Adaptado de FAO 2010). | 9 |
| Figura 4. Comparação gráfica dos resultados de uma análise efetuada através de uma regressão linear simples e de modelos mistos (retirado de Demidenko 2013). | 22 |
| Figura 5. Diagrama PRISMA com o processo de seleção dos artigos científicos para a base de dados. | 24 |
| Figura 6. Procedimento relativo à primeira etapa da análise estatística clássica para cada par de variáveis (x,Y), com algumas das funções de R utilizadas..... | 27 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Composição em ácidos gordos (g/100 g AG) de diferentes animais (adaptado de Wood et al. 2008)..... | 13 |
| Tabela 2. Composição em AG de alguns óleos vegetais (g/100 g AG, adaptado de Dubois et al. 2007)..... | 15 |
| Tabela 3. Composição em ácidos gordos ómega-3 dos principais óleos de peixe (g/100 g AG, adaptado de Lee et al. 2008)..... | 16 |
| Tabela 4. Composição em ácidos gordos ómega-3 dos principais óleos de microalga (g/100 g AG, adaptado de Widianingsih et al. 2013)..... | 17 |
| Tabela 5. Variáveis preditoras (x) e resposta (Y) utilizadas na meta-análise..... | 23 |
| Tabela 6. Exemplo de cálculo para a conversão de g/100 g AG totais em g/100 g MS na dieta. | 25 |
| Tabela 7. Exemplo de cálculo para a conversão de g/100 g AG totais no músculo em g/100 g de músculo..... | 25 |
| Tabela 8. Indicadores de localização e dispersão de cada uma das variáveis analisadas nas dietas com a inclusão de óleo de linhaça, peixe e microalga..... | 32 |
| Tabela 9. Resultados da regressão linear simples (sem o fator “fonte”). | 40 |
| Tabela 10. Resultados da regressão linear simples considerando o fator “fonte”: Linhaça.. | 41 |
| Tabela 11. Resultados da regressão linear simples considerando o fator “fonte”: Peixe. | 42 |
| Tabela 12. Resultados da regressão linear simples considerando o fator “fonte”: Microalga. | 42 |
| Tabela 13. Análise-resumo das relações significativas da análise clássica..... | 44 |
| Tabela 14. Resultados da primeira análise utilizando modelos mistos. | 46 |
| Tabela 15. Resultados da segunda análise utilizando modelos mistos..... | 47 |
| Tabela 16. Comparação dos declives obtidos através das diferentes metodologias..... | 48 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Produção mundial de carne de suíno (FAOSTAT 2020). | 3 |
| Gráfico 2. Efetivo nacional de suínos entre os anos 1955 e 2020 (Adaptado de INE 2021).. | 4 |
| Gráfico 3. Produção anual de carne de suíno em Portugal (Adaptado de FAOSTAT 2020). | 5 |
| Gráfico 4. Distribuição das diferentes fontes de AG ómega-3 pelos ensaios que constituem a presente meta-análise. | 30 |
| Gráfico 5. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g tecido). | 34 |
| Gráfico 6. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g AG) e a concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g AG). | 35 |
| Gráfico 7. Relação entre a ingestão de AG ómega-3 e a concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g tecido). | 35 |
| Gráfico 8. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido). | 36 |
| Gráfico 9. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g AG) e a concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g AG). | 37 |
| Gráfico 10. Relação entre a ingestão de AG ómega-3 (g/dia) e a concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido). | 37 |
| Gráfico 11. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a adiposidade da carcaça (mm). | 38 |
| Gráfico 12. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g AG) e a adiposidade da carcaça (mm). | 38 |
| Gráfico 13. Relação entre a ingestão de AG ómega-3 (g/dia) e a adiposidade da carcaça (mm). | 39 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AG – Ácido gordo

AL – Ácido linoleico

ALA – Ácido α -linolénico

ANCOVA – Análise de covariância

ANOVA – Análise de variância

ATP – Trifosfato de adenosina

CEE – Comunidade económica europeia

CRA – Capacidade de retenção de água

DHA – Ácido docosaheptaenoico

DPA – Ácido docosapentaenoico

EPA – Ácido eicosapentaenoico

FAO – Organização das nações unidas para alimentação e agricultura

GLA - Ácido γ -linoleico

GMD – Ganho médio diário

MP – Matéria-prima

MS – Matéria seca

MUFA – Ácidos gordos monoinsaturados

n-3 – Ácidos gordos ómega-3

n-6 – Ácidos gordos ómega-6

PV – Peso vivo

RL – Regressão linear

RLS – Regressão linear simples

SFA – Ácidos gordos saturados

1. Introdução

Em Portugal, a produção de suínos tem vindo a aumentar ao longo dos anos (FAOSTAT 2020), concentrando o efetivo nacional no centro e alentejo. O número de suínos abatidos, em Portugal, apresentou um acréscimo de 1,2% em 2019, em comparação com 2018, o que demonstra o contínuo interesse por este setor. Ao contrário da produção de pequenos ruminantes, a produção de suínos não é sazonal, pelo que existem ao longo do ano vários picos de abates, pouco acentuados (INE 2020).

As recomendações para a alimentação humana aconselham a diminuição do consumo de gorduras saturadas, o que leva ao interesse do consumo de produtos enriquecidos em ácidos gordos insaturados. No entanto, a incorporação de PUFA (ácidos gordos polinsaturados) é limitada pois, quando presente em excesso, desempenha um papel negativo nos processos lipídicos da carne (Gray et al. 1997). Em comparação com o peixe, a carne de suíno tem muito poucos AG ómega-3 (Gjerlaug-Enger et al. 2015), no entanto, a presença de AG é facilmente ajustável através da alimentação do animal. A inclusão de aditivos no regime alimentar para melhorar as características da carcaça é de grande importância na indústria suinícola (Panisson et al. 2020). Nos últimos anos, houve uma mudança no perfil de AG na carne, passando de AG altamente saturados (SFA) para AG polinsaturados (PUFA), menos prejudiciais à saúde (Hallenstvedt et al. 2010). Em termos de diferenças dentro da espécie, Lu et al. (2008) mostraram que as fêmeas apresentam maior concentração de PUFA e menor concentração de MUFA (AG monoinsaturados) e SFA na composição do *musculus longissimus dorsi*, em comparação a machos castrados.

Devido ao seu elevado valor energético, as gorduras e os óleos são ingredientes importantes na produção de alimentos compostos para animais de rápido crescimento (Lauridsen et al. 1999). O óleo de peixe é comumente utilizado como fonte de AG ómega-3 no regime alimentar animal (Bryhni et al. 2001; Komprda et al. 2017), mas já se encontram outras alternativas viáveis como as algas/microalgas, óleo de chia (*Salvia hispanica L.*) ou óleo de linhaça (*Linus usitatissimum L.*). Foi provado que o fornecimento de microalgas pode melhorar o sistema imunitário dos animais (Turner et al. 2006), o metabolismo lipídico (Nakagawa 1997), a ação antibacteriana e antiviral, função intestinal (Michiels et al. 2010) e resistência ao stress (Lee et al. 2019), além de ser fonte de proteínas (Chiu et al. 2015), AG, aminoácidos, minerais, vitaminas e outros compostos biológicos (Yaakob et al. 2014). Trombetta et al. (2019) demonstraram que a inclusão de óleo de linhaça reduz a deposição de SFA e aumenta os níveis de PUFA ómega-3, principalmente C18:3, C20:3 e C20:5, no músculo, reduzindo assim o rácio ómega-6/ómega-3 para 4:1. Garantiram também que este subproduto pode ser utilizado no acabamento de suínos sem efeitos prejudiciais no ganho de peso e na qualidade da carne, não alterando a sua perceção sensorial.

O presente estudo incide numa meta-análise sobre os efeitos da inclusão de três fontes de AG ómega-3 (óleo de linhaça, óleo de peixe e óleo de microalga) na alimentação de suínos, no perfil lipídico da carne, e como estes serão transmitidos para o respetivo músculo e tecido adiposo. De modo a quantificar a eficácia desta suplementação, procedeu-se a uma recolha de dados de variados artigos científicos, ao cruzamento destes dados e análise estatística através do *software* R, utilizando uma análise clássica com modelos lineares e duas análises com modelos mistos.

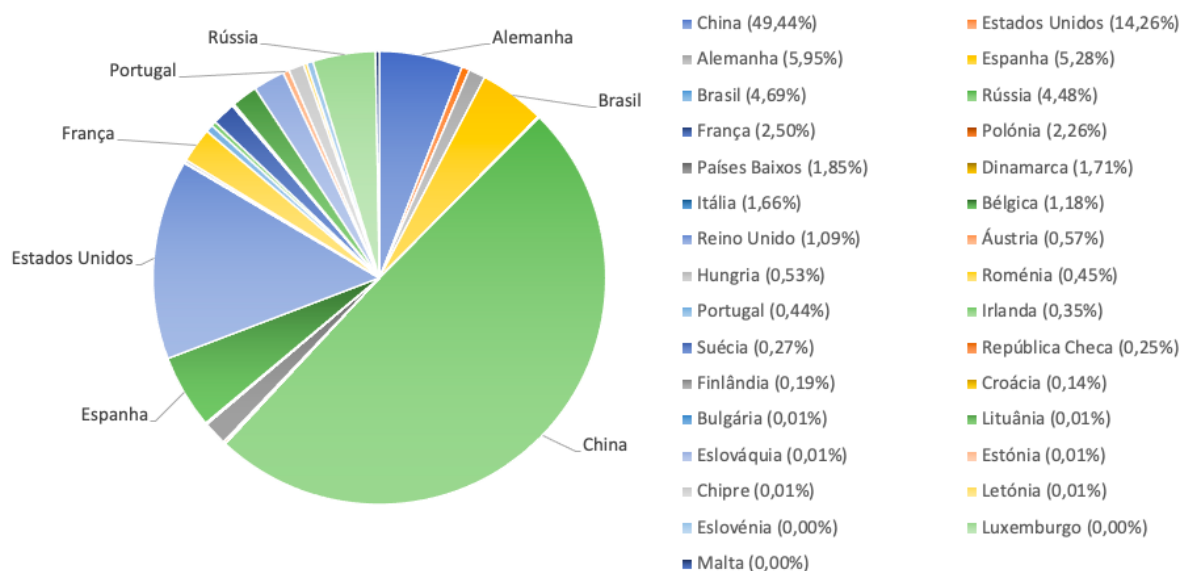
2. Revisão bibliográfica

2.1. Suinicultura

2.1.1. A produção suinícola no mundo

Os países ocidentais, assim como a China, têm por hábito o consumo de carne fresca de suíno, tornando-a na carne mais consumida a nível mundial. Em 2019, o efetivo mundial de suínos foi de aproximadamente 850 M de cabeças e, segundo a FAO, verifica-se que o continente asiático é o maior produtor de carne de suíno, seguido do europeu e americano (gráfico 1).

Gráfico 1. Produção mundial de carne de suíno (FAOSTAT 2020).



Ao analisar com mais detalhe, confirma-se que a China lidera, de facto, a produção mundial, com 43,48 M de toneladas de carne de suíno em 2019, e apresenta o maior efetivo de suínos. Seguem-se os Estados Unidos da América, Alemanha e Espanha. Os restantes países representam menos de 5% da produção mundial de carne de suíno (FAOSTAT 2020).

A nível da União Europeia, o efetivo de suínos em 2019 foi de cerca de 148 M de cabeças. No que toca a trocas comerciais, no ano de 2019, Espanha e Alemanha apresentaram-se como os maiores exportadores de carne de suíno. Os maiores importadores de carne de suíno, em 2019, foram Alemanha e Itália (FAOSTAT 2020).

2.1.2. A produção suinícola em Portugal

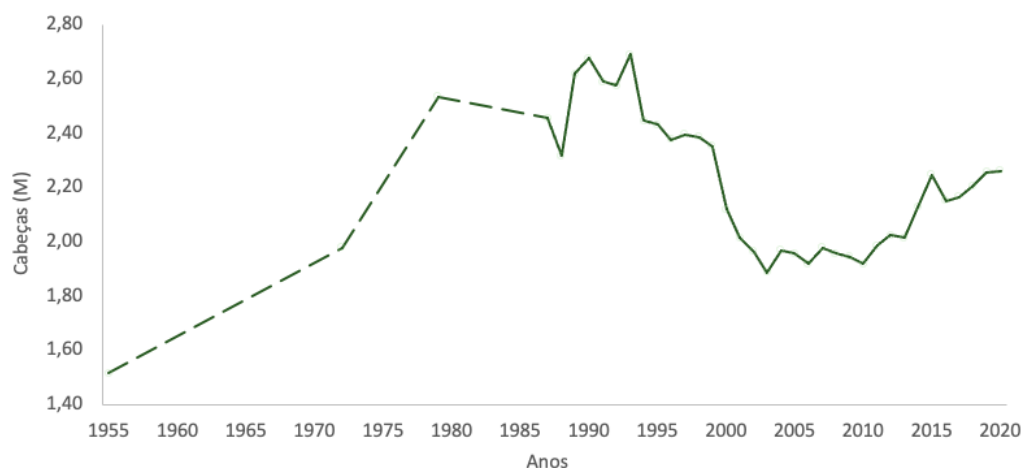
O efetivo suinícola nacional tem vindo a oscilar ao longo dos anos, assim como a produção de carne de suíno (INE 2020). No entanto, ao analisar qualquer setor animal é importante avaliar primeiro o seu peso no país para melhor compreender a sua produção.

2.1.2.1. Efetivo suinícola nacional

Em Portugal, a produção média de suínos tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos (FAOSTAT 2020), concentrando o efetivo nacional no centro e sul, representando cerca de 85% da produção animal nacional (EA 2018).

O gráfico 2 traduz as variações no efetivo nacional de suínos, das 1,5 M de cabeças, em 1955, às 2,25 M de cabeças atuais. Apresenta-se a tracejado até ao ano de 1987, onde as contagens passaram a ser anuais (anteriormente apenas foram divulgados os anos de 1955, 1972 e 1979) (INE 2021). Até à data, os valores mais elevados foram registados entre 1979 e 1999, ocorrendo uma acentuada descida na mudança de milénio, que aparenta estar a ser combatida até à atualidade. A entrada na CEE pode estar na base do aumento do efetivo em 1989. O efetivo nacional atual encontra-se inferior ao dos últimos anos do século XX, no entanto, com tendência a aumentar progressivamente (INE 2021).

Gráfico 2. Efetivo nacional de suínos entre os anos 1955 e 2020 (Adaptado de INE 2021).



2.1.2.2. Produção de carne de suíno

No universo do consumo de carne em Portugal, a carne de suíno continua a ser a mais consumida (44,7 kg/*per capita* em 2018), seguida da carne de animais de capoeira (42,8 kg/*per capita*). Com isto, os suínos encontram-se no setor que apresenta maior número de abates em Portugal, seguindo-se os ovinos, bovinos, aves de capoeira e caprinos (INE 2019).

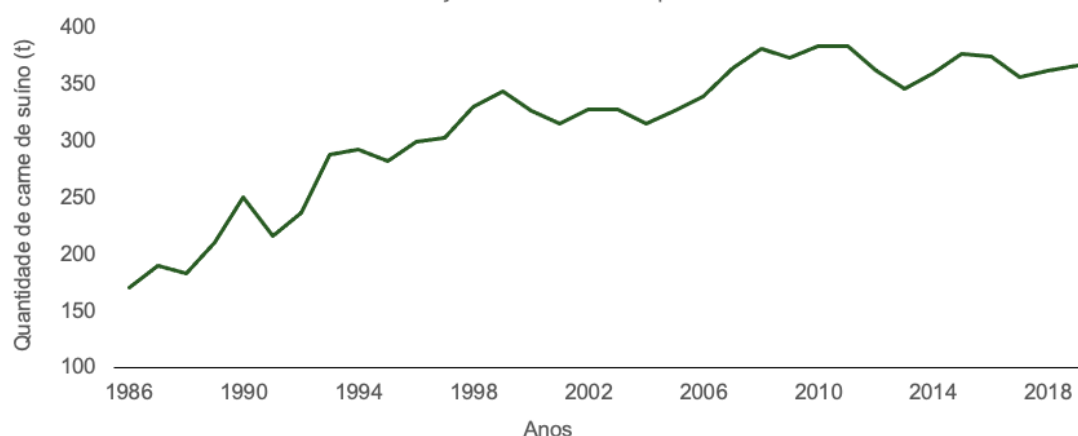
Nos primeiros cinco anos deste milénio, a exportação de carne de suíno contou com uma média de 3400 t/ano que em nada se compara às 37 500 t exportadas em 2019.

Desde a adesão de Portugal à CEE (1986) que se pode observar um aumento no consumo geral de carne. Apesar do aumento da produção nacional, esta não é suficiente para satisfazer as necessidades de consumo e requer um incremento das importações. Com o aumento da produção, veio também a necessidade de importar alimentos para animais, como cereais, que vieram acrescer aos custos de produção (MADRP 2007).

A importação de carne de suíno varia bastante consoante os anos, rondando as 91 000 t de carne em 2000. De 2006 a 2009 observa-se o máximo da importação com uma média de 133 000 t/ano. Em 2019 Portugal importou cerca de 95 500 t de carne de suíno, um valor inferior ao dos anos passados, mas mesmo assim significativa, sendo a importação de carne fresca cerca de três vezes superior à de carne congelada. Observa-se assim que a quantidade de carne de suíno importada é bastante mais elevada que aquela que é exportada, não sendo o ideal para o saldo da balança comercial nacional (FAOSTAT 2020).

No que toca à produção de carne de suíno, esta quase quadruplicou em 2010 em comparação a 1974, rondando as 380 000 t/ano (gráfico 3). Esta variação pode dever-se ao aumento da eficiência produtiva, aumento do número de abates e da importação de efetivos. Em 2018, a produção nacional de carne cobriu 74,9% das necessidades nacionais de consumo de carne (76,7% em 2017). Também neste ano foram consumidas 1 400 000 t de carne e a produção foi de cerca de 900 000 t. Desta quantidade, cerca de 650 000 t do consumo foram de carne de suíno. Com isto, a carne de suíno apresenta um grau de autoaproveitamento que ronda os 70-75% entre 2015 e 2018, sendo superior ao de carne de bovino (55%) mas inferior à carne de ovino e caprino (75-80%) e carne de animais de capoeira (90%) (INE 2019). Em 2019 Portugal produziu 366 000 t de carne de suíno, o que representa 0,4% da produção mundial de carne de suíno (FAOSTAT 2020).

Gráfico 3. Produção anual de carne de suíno em Portugal (Adaptado de FAOSTAT 2020).



2.2. Ácidos gordos

Os ácidos gordos (AG) são os principais constituintes das membranas celulares e desempenham um papel fundamental na composição lipídica da carne, logo, no seu valor nutricional. A preocupação atual dos países ocidentais com a ingestão de gordura levantou a questão do impacto individual dos AG na saúde (Dubois et al. 2007). Estes podem ser divididos em saturados e insaturados, incidindo o presente trabalho nos ácidos gordos polinsaturados ómega-3.

2.2.1. Caracterização dos ácidos gordos

As células humanas são formadas por membranas, citoplasma, organelas e núcleo. As membranas nas células são formadas por uma dupla camada de fosfolípidos que delimitam as células do seu exterior e compartimentam os diversos espaços funcionais no seu interior. As membranas possuem importantes funções no transporte passivo de nutrientes e no transporte ativo de proteínas (Hackney and Furness 2015). Os AG são os principais constituintes das membranas celulares e, como parte dos fosfolípidos, garantem a fluidez, flexibilidade e permeabilidade da membrana (Nagy and Tiuca 2017). São compostos orgânicos simples, formados por moléculas de carbono, hidrogénio e oxigénio, e desempenham importantes funções biológicas, estruturais e funcionais (Zubay et al. 1995). Atuam como fonte de energia, produzindo uma grande quantidade de trifosfato de adenosina (ATP) quando oxidados nas mitocôndrias. Foi observado que diferentes doenças causam alterações no perfil de AG que podem assim ser usados como biomarcadores para identificar patologias como a síndrome dos ovários policísticos (Nagy and Tiuca 2017). Os AG podem ser analisados através de técnicas de cromatografia gasosa, cromatografia líquida de alta eficiência ou eletroforese capilar (Salimon et al. 2013; Tiuca et al. 2015).

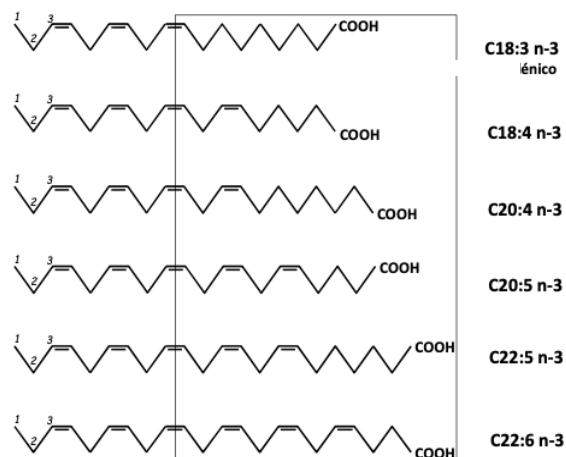
Cada molécula de um ácido gordo apresenta na extremidade (α) um grupo carboxilo (COOH) e na outra extremidade (ω) um grupo metilo (CH₃) não funcional. Uma notação frequentemente utilizada para descrever AG insaturados com duplas ligações “cis” e interrompidas por grupos metilénicos é indicar o seu número de átomos de carbono e o número de ligações duplas na cadeia carbonada. O termo “ ω -“ ou “n-“ indica a posição da ligação dupla do AG mais próximo ao grupo terminal metilo da molécula (Zubay et al. 1995). Os ácidos gordos saturados (SFA) não apresentam ligações duplas carbono-carbono e são designados de acordo com o número de átomos de carbono. Os ácidos gordos insaturados podem ser monoinsaturados (MUFA), com apenas uma ligação dupla e 10-30 átomos de carbono, ou polinsaturados (PUFA) com, em geral, um número par de átomos de carbono, e

duas a sete ligações duplas. Os AG insaturados mais comuns podem ser agrupados em três famílias: ômega-3 (n-3), ômega-6 (n-6) e ômega-9 (n-9) (Zubay et al. 1995).

2.2.2. Ácidos gordos polinsaturados

Os mamíferos podem sintetizar muitos AG, exceto alguns PUFAs como o ácido linoleico (C18:2 n-6, LA) e o ácido α -linolénico (C18:3 n-3, ALA). Desta forma, estes AG devem ser fornecidos pela dieta e são designados como AG essenciais (Sobol et al. 2016). Quando ingeridos, estes PUFAs de cadeia longa são convertidos em AG de cadeia mais longa. O ácido linoleico é o AG predominante em muitas dietas e poderá ser convertido em ácido araquidónico (C20:4 n-6, AA), AG ômega-6 de cadeia muito longa, que pode ser libertado das membranas celulares e serve como precursor para a síntese dos eicosanóides pró-inflamatórios (Kurlak and Stephenson 1999).

O ácido α -linolénico pode ser dessaturado em ácido eicosapentaenoico (C20:5 n-3, EPA) e ácido docosahexaenoico (C22:6 n-3, DHA) (Voss et al. 1991) que produzem eicosanóides anti-inflamatórios (Calder et al. 2006). Os AG ômega-3 (figura 1) e ômega-6 (figura 2) são ácidos gordos polinsaturados de cadeia longa com a primeira ligação dupla localizada no terceiro ou sexto átomo de carbono em relação à extremidade metilo, tendo as duplas ligações a configuração cis, separadas por um grupo metilénico. Quer o ácido linoleico quer o ácido α -linolénico partilham as mesmas vias metabólicas de alongamento e dessaturação, pelo que existe uma competição entre estas e o excesso de um ácido levará à diminuição do rendimento de conversão do outro (Brody 1999). Um consumo significativo de AG ômega-3 irá resultar numa diminuição do nível de ácido araquidónico nas membranas das células inflamatórias, que levará a uma diminuição do nível de eicosanóides pró-inflamatórios (Kurlak and Stephenson 1999).



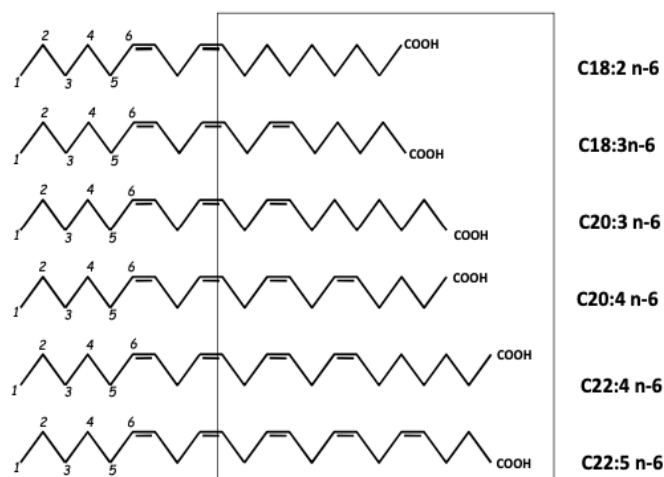


Figura 2. Estrutura dos principais AG ω -6 (Adaptado de R.J.B. Bessa 2009)

Sabe-se que um aumento da oferta de AG ω -3 inibe a formação do ácido araquidônico a partir do ácido linoleico, devido à competição pela enzima Δ 6-dessaturase (figura 3) e preferência desta enzima por AG ω -3 em vez de AG ω -6 (Kurlak and Stephenson 1999; Lavialle and Layé 2010; Portolesi et al. 2007).

Foi verificado que, nos humanos, as enzimas (elongases, Δ 6- e Δ 5-dessaturases) envolvidas na biossíntese de EPA, DPA e DHA diminuem a sua eficiência com a idade, pelo que LA e ALA não devem ser considerados como a única fonte de EPA e DHA na dieta humana (Heird and Lapillonne 2005). A evidência científica sugere que o EPA e o DHA apresentam maiores efeitos positivos para a saúde humana, em relação ao ALA. A conversão deste último em EPA e DHA, em humanos, é limitada (<10%) (Calder 2015; Innes and Calder 2018; Kalbe et al. 2019), sendo assim necessário o consumo direto de alimentos ricos em EPA e DHA para atingir a sua ingestão diária recomendada de aproximadamente 300 mg/d (FAO 2010; Mozaffarian and Rimm 2006; Yokoyama et al. 2007). A ingestão diária recomendada de AG ω -3 é de pelo menos 0,5% da energia ingerida, contudo, uma ingestão superior a 0,5% de ALA pode evitar problemas de saúde em adultos (FAO 2010). Existe uma certa discrepância entre estudos sobre a eficiência da conversão de ALA em EPA e DHA (Tanghe et al. 2014).

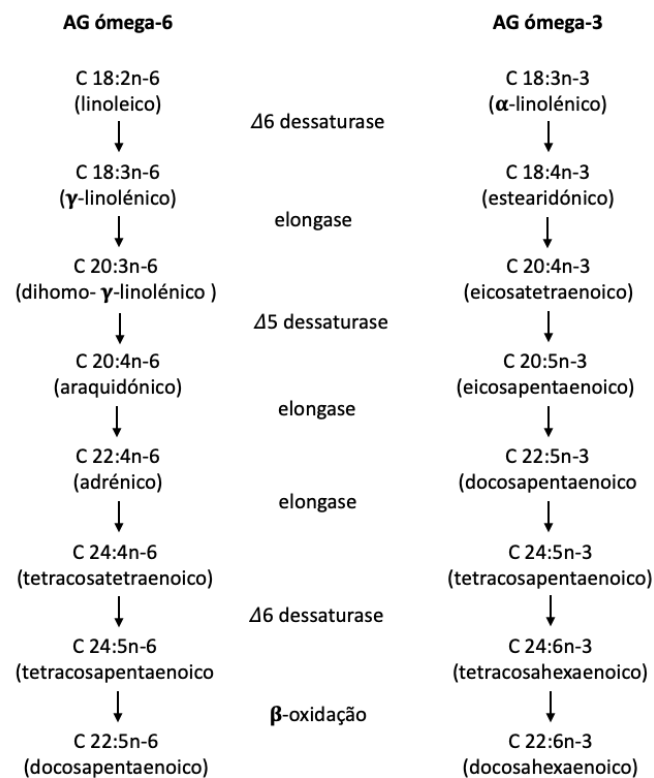


Figura 3. Processos de transformação dos AG ômega-6 e ômega-3 (Adaptado de FAO 2010).

2.2.3. Influência dos ácidos gordos na saúde humana

As investigações dos últimos vinte anos têm se focado em melhorar o equilíbrio entre ácidos gordos polinsaturados e ácidos gordos saturados, em produtos de origem animal. Este curso de investigação deve-se ao reconhecimento dos benefícios dos PUFA para a saúde, em particular dos AG ômega-3, essenciais para os seres humanos (Simopolous 2001).

As dietas ocidentais são ricas em AG ômega-6 e os nutricionistas, além de uma menor ingestão de gordura, recomendam uma maior ingestão de AG ômega-3, reduzindo a razão ômega-6:ômega-3 das dietas (Departamento of Health 1994 citado por Sardi et al. 2006). O rácio ômega-6:ômega-3 na dieta moderna é habitualmente elevado (10-15:1), sendo o rácio considerado ideal 4:1 (Wood et al. 2003; Ruxton et al. 2005).

Um elevado teor em SFA na dieta contribui para aumentos no nível sanguíneo de colesterol, levando ao aparecimento de doenças cardiovasculares (Mahanetal 2011). Os PUFA regulam variadas funções corporais e previnem a aparição de doenças cardiovasculares (Marchioli and Levantesi 2013), reduzem a arritmia e ajudam a proteger contra essas condições (Nevrkla and Vaclavkova 2019), podem prevenir cancros (Ferguson 2010) e distúrbios metabólicos (Julibert et al. 2019), além de terem efeitos hipocolesterolémicos e anti-inflamatórios. São ainda necessários para o correto

desenvolvimento das funções cerebrais na fase de desenvolvimento fetal (Nevrkla and Vaclavkova 2019). Os efeitos benéficos estão principalmente associados ao conteúdo de AG α -linolénico (C18:3 n-3), γ -linolénico (C18:3 n-6), eicosatetraenóico (C20:4 n-3), eicosapentaenoico (C20:5 n-3) e ácidos docosahexaenóicos (C22:6 n-3) (Nevrkla and Vaclavkova 2019).

Os PUFA são muito propensos à oxidação, resultado das suas ligações duplas. Como as membranas celulares são ricas em PUFA, o dano oxidativo pode levar a uma perda de integridade e alteração da fluidez da membrana, assim como uma transmissão alterada de sinais dentro e entre células diferentes (Hughes 2000).

O nosso organismo, assim como o dos suínos, é capaz de metabolizar cerca de um terço do ácido α -linolénico ingerido em EPA e DPA, e em menor quantidade em DHA (Kloareg et al. 2007).

2.2.4. Presença dos ácidos gordos ómega-3 na alimentação animal

Em monogástricos, é possível aumentar a concentração de AG ómega-3 no músculo, uma vez que os lípidos da carne refletem a natureza da gordura da dieta (Kouba and Mouroit 2011). No caso dos ruminantes, tal não é possível uma vez que os AG se perdem pela ação hidrogenante do rúmen. O tipo de gordura presente na alimentação de suínos irá, portanto, determinar a composição em AG nas gorduras dos tecidos do animal (St-John et al. 1987). Quanto maior a incorporação de PUFAs na dieta, menor será a composição em ácidos gordos saturados na gordura (Bryhni et al. 2002).

Os AG ómega-3 podem ser incluídos na dieta sob a forma de ácido α -linolénico (C18:3 ω -3), ácido eicosapentaenoico (C20:5 ω -3), e ácido docosahexaenoico (C22:6 ω -3). Esta incorporação pode ser feita através, por exemplo, da adição de óleo de peixe ou sob a forma do precursor (ALA) que será convertido nos seus derivados de cadeia mais longa, pelo próprio animal. Como o óleo de peixe se está a tornar um recurso escasso (Delgado et al. 2003), houve um aumento no interesse do uso do precursor (ALA). Uma fonte é o óleo de linhaça, rico em ALA (Tanghe et al. 2014).

As principais fontes de AG ómega-3 fornecidas aos suínos são óleos vegetais (Romans et al. 1995; Leskanich et al. 1997; Warnants et al. 1999; Matthews et al. 2000; Enser et al. 2000; Riley et al. 2000; Kouba et al. 2003), óleo ou farinha de peixe (Leskanich et al. 1997; Kjos et al. 1999) e forragem (Nilzen et al. 2001). Foi demonstrado que fornecer uma mistura de óleo de linhaça, colza e óleo de peixe a suínos originou os melhores resultados (Skiba et al. 2012) em comparação com uma dieta enriquecida num único óleo (Raj et al. 2010).

O ácido α -linolénico pode alongar-se nos tecidos dos suínos para produzir EPA e DHA, que melhoram o estado do sistema cardiovascular e o controlo da resposta imunitária. Por outro lado, uma maior proporção de PUFA ómega-6 de cadeia mais longa derivados do ácido linoleico (C18:2 n-6) resulta num estado pró-inflamatório, por isso é recomendado manter um rácio ómega-6/ómega-3 abaixo de 4 (Wood and Enser 1997). Smink et al. (2012) mostraram que a inclusão de ALA na alimentação não altera a deposição de EPA e DHA na gordura subcutânea dorsal, mas aumenta a de DPA e diminui a concentração de ácido linoleico no plasma.

Alguns estudos indicam que o aumento de PUFA na dieta acelera a deterioração oxidativa na carne de suíno (Monahan et al. 1992), portanto, não apenas a fonte de óleo e o nível de inclusão, mas também a combinação adequada com antioxidantes deve ser considerada na formulação de dietas para suínos (Rey et al. 2004). Uma alternativa seria a inclusão de MUFA, como por exemplo azeite (Lopez-Bote et al. 1997; Rey et al. 1997). De modo a reduzir questões oxidativas, Bryhni et al. (2002) recomendam uma quantidade inferior a 50 g PUFA/kg de ração e 23% de PUFA na gordura subcutânea dorsal para o acabamento em suínos.

Além dos efeitos que se podem observar na gordura e qualidade da carne, os AG ómega-3 desempenham outros papéis e podem ser utilizados em porcas como estratégia para aumentar o número de leitões nascidos vivos, assim como a sua sobrevivência e crescimento pós-natal (Gessner et al. 2015). Segundo Innis (1991) a inclusão de AG ómega-3 na dieta das fêmeas pode ter efeitos benéficos no resultado reprodutivo, pois estes nutrientes são essenciais para o crescimento e desenvolvimento do feto.

2.3. Características da carne suína

A carne de suíno, além de ser das carnes mais consumidas no mundo, é também das mais acessíveis (Trombetta 2019). No entanto, o seu elevado teor em SFA apresenta um risco à saúde humana (Nevrkla and Vaclavkova 2019). O valor nutritivo da carne suína depende principalmente da gordura intra e intermuscular e do seu perfil em ácidos gordos (Sobol et al. 2016).

O que define o valor de uma carcaça de suíno é a quantidade e qualidade da carne (Reg. 1234/2007). Os níveis pretendidos de gordura na carne e carcaça do suíno podem variar consoante o gosto de cada região ou nichos de mercado, mas a tendência é de diminuir a quantidade de gordura no suíno. A diminuição de gordura tem sido a alteração mais acentuada na carne de suíno, através do reconhecimento das necessidades nutricionais e da seleção de raças mais magras. A carne de suíno é agora considerada mais magra e com menor teor em lípidos que a carne de bovino e ovinos. Com a diminuição do teor de gordura

existe também um aumento na percentagem de água e um aumento na proporção de ácidos gordos insaturados no tecido adiposo, que o tornam mais macio. No entanto, a gordura mole é muitas vezes associada a uma falta de qualidade, visto que não é tão agradável de comer, é mais difícil de cortar e o período de validade é inferior devido à oxidação lipídica (Whittemore e Kyriazakis 2006). Foi definido que uma gordura de boa qualidade será aquela que se apresente branca e firme, enquanto que a de baixa qualidade foi descrita como macia, oleosa, húmida, cinzenta e mole (Wood 1984). Hugo e Roodt (2007) concluíram que a cor e a consistência foram os principais critérios para a avaliação da qualidade da gordura.

A quantidade de gordura intramuscular desempenha um papel importante na suculência, tenrura e palatabilidade da carne e a sua percentagem recomendada é de pelo menos 1% de gordura intramuscular (Whittemore e Kyriazakis 2006). Segundo Wood et al. (2008), um valor de 2-3% de gordura intramuscular é o mais favorável para as características sensoriais esperadas da carne, no entanto este aspeto é discutível sendo que se produz em Portugal porco alentejano com gordura intramuscular a rondar os 12% com ótimas características sensoriais. Neste caso, os PUFA em elevada quantidade pesam negativamente, pela sua suscetibilidade aos processos de oxidação lipídica da carne. A oxidação destes AG pode ser combatida através da suplementação em antioxidantes como o α -tocoferol, ácido ascórbico e β -caroteno (Mitsumoto et al. 1991; Boler et al. 2009).

Para um desempenho ideal de suínos em engorda, sob condições ambientais e de manejo normais, é recomendada a adição de α -tocoferol no alimento composto, entre 20-50 mg/kg MS. Vários estudos mostram a utilização de níveis superiores para melhorar a qualidade e estabilidade de armazenamento da carne suína. Tornou-se uma prática comum suplementar α -tocoferol em alimentos compostos acima das necessidades fisiológicas, sendo considerado o principal antioxidante lipossolúvel. Este antioxidante atua rompendo a cadeia de oxidação lipídica nas membranas celulares, evitando a formação de hidroperóxidos lipídicos (Vossen et al. 2016). A concentração de PUFA é maior no músculo que no tecido adiposo, e a gordura geralmente contém cerca de 40% C18:1, 13% C18:2 e 1% C18:3 (Whittemore e Kyriazakis, 2006).

A carcaça de um suíno de 100 kg PV e 10mm de adiposidade (espessura do toucinho idealmente medida na posição P2), terá uma composição química de cerca de 67% de água, 17% proteína, 13% lípidos e 3% de cinzas. A adiposidade da carcaça é recomendada estar compreendida entre 8 e 14 mm e, por cada kg de peso vivo, a adiposidade da carcaça irá aumentar 0,1-0,2mm, mas este valor está bastante dependente do genótipo e regime alimentar (Whittemore e Kyriazakis, 2006).

Nas primeiras seis horas após o abate, o pH da carne irá decrescer gradualmente até atingir valores próximos de 5,5 (idealmente entre 5,6 e 5,8). Este tempo varia consoante a atividade metabólica do músculo. O pH₄₅ (medido 45 minutos após o abate) normal é de 5,8-

6,4 (Whittemore e Kyriazakis, 2006). Quando este é muito baixo, existe uma maior desnaturação de proteínas e maior liberação de água que irá provocar uma maior reflexão de luz e menor capacidade de retenção de água. Estes fenómenos dão origem a uma carne extremamente húmida, mole e clara, denominada por carne PSE (*pale, soft and exudative*) (Adzitey and Nurul 2011). Geralmente acontece em suínos que possuam o gene halotano ou que tenham estado sujeitos a stress antes do abate (Whittemore e Kyriazakis 2006). A carne DFD (*dark, firm and dry*) apresenta-se escura e seca, de difícil conservação, e ocorre quando o pH não baixa o suficiente após o abate ($pH_{45} > 6,5$). Com isto, existe uma menor desnaturação de proteínas e consequentemente maior CRA (Adzitey and Nurul 2011). Este processo ocorre menos frequentemente em suínos e pode ser causado por um maneiço inadequado no transporte até ao matadouro, resultando na escassez das reservas de glicogénio no músculo (Whittemore and Kyriazakis 2006).

Em geral, a preferência é por carne de suíno mais clara, ao contrário de países como o Japão onde têm preferência por carne de tom rosa mais escuro. Neste contexto, uma maior quantidade de fibras vermelhas, como acontece nas raças Duroc e Berkshire, está associada a uma melhoria na qualidade sensorial (Whittemore and Kyriazakis 2006).

Na tabela 1 estão apresentadas as composições em AG de suínos, ovinos e bovinos, tanto no músculo como no tecido adiposo. É de notar que os suínos apresentam um valor considerável de AG ómega-3 nos seus tecidos, no entanto, a quantidade de AG ómega-6 é bastante elevada, resultando num rácio ómega-6:ómega-3 bastante elevado, não sendo o recomendado.

Tabela 1. Composição em ácidos gordos (g/100 g AG) de diferentes animais (adaptado de Wood et al. 2008)

| AG | Tecido adiposo | | | Músculo | | |
|---------|----------------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | Suínos | Ovinos | Bovinos | Suínos | Ovinos | Bovinos |
| C18:3 | 1,4 | 1,0 | 0,5 | 0,95 | 1,37 | 0,70 |
| C20:5 | ND | ND | ND | 0,31 | 0,45 | 0,28 |
| n-6:n-3 | 7,6 | 1,4 | 2,3 | 7,2 | 1,3 | 2,1 |

ND: não detetado

2.4. Fontes de ácidos gordos ômega-3 na alimentação animal

Verificada a influência da alimentação na composição lipídica dos tecidos do suíno, algumas matérias-primas (MP) têm sido estudadas para servirem como suplemento de AG ômega-3. Os óleos aparentam ser a forma mais eficaz de introduzir os AG ômega-3 no alimento composto e serem posteriormente ingeridos pelo animal. O óleo de linhaça e o óleo de peixe são as fontes mais utilizadas.

2.4.1. Óleos vegetais

2.4.1.1. Óleo de linhaça

Uma fonte natural e comercialmente disponível de AG ômega-3 é a linhaça (ou semente de linho) que, por sua vez, contém cerca de 30% de óleo, dos quais cerca de 60% são ALA (Enser et al. 2000; Matthews et al. 2000; Kouba et al. 2003). Valor elevado se se comparar ao óleo de colza onde o ALA apenas corresponde a 8,1% dos AG totais (Barowicz and Kędzior 2000)

A presença de linhaça no alimento composto costuma variar entre 1% a 15% (Matthews et al. 2000; Corino et al. 2008; Okrouhla et al. 2013), sendo o suficiente para alterar o perfil de AG do animal. Uma dose de pelo menos 5% de linhaça na dieta pode ser considerada ideal (Vaclavkova and Beckova 2007; Juarez et al. 2010).

Muitos autores descreveram o efeito positivo da suplementação da alimentação de suínos com sementes de linho, no aumento da concentração de ácido α -linolênico e na diminuição da razão ômega-6/ômega-3 nos tecidos do suíno (Barowicz and Kędzior 2000; Nuernberg et al. 2005; Haak et al. 2008). A utilização de azeite (Nuernberg et al. 2005) ou óleo de soja (Benz et al. 2011) apresentaram resultados menos positivos (Lisiak et al. 2013).

Moran et al. (2018) mostraram recentemente que a suplementação com linhaça rica em ALA não aumentou a concentração de DHA e EPA na carne suína.

Kouba et al. (2003) mostraram que carne com aproximadamente 3% de ALA, de suínos alimentados com linhaça extrudida, alterava o sabor característico da carne de suíno, mas as diferenças foram demasiado pequenas para atingirem significância estatística. De igual modo, Oeckel et al. (1997) não encontraram diferenças nos atributos sensoriais. É de salientar que a análise sensorial não depende apenas da composição da carne, mas também do modo de confeção e da sensibilidade do painel de provadores (Lu et al. 2008).

2.4.1.2. Outros óleos

Entre os óleos ricos em AG ômega-3 encontra-se a camelina (*Camelina sativa L.*) (Shukla et al. 2002), *perilla* (*Perilla frutescens L.*) (Longvah et al. 2000) e *Matthiola tricuspidata* (Heuer et al. 2002) que, além de ALA, são também ricos em MUFA. O óleo de chia (*Salvia hispânica L.*) é rico em ALA e LA (Heuer et al. 2002; Ayerza 1995), gerando um rácio ômega-6/ômega-3 de 0,3 indicando um bom equilíbrio entre os dois AG essenciais (Dubois et al. 2007). Os respetivos valores podem ser encontrados na tabela 2.

Tabela 2. Composição em AG de alguns óleos vegetais (g/100 g AG, adaptado de Dubois et al. 2007).

| | Camelina <i>Camelina sativa L.</i> | Linho <i>Linum Usitatissimum L.</i> | <i>Perilla</i> <i>Perilla Frutescens L.</i> | <i>Matthiola</i> <i>Matthiola Tricuspidata L.</i> | Chia <i>Salvia hispânica L.</i> |
|---------------|---------------------------------------|--|--|--|------------------------------------|
| n-3 total | 38,1 | 55 | 55 | 43,9 | 61,3 |
| n-6 total | 16 | 16,8 | 14,9 | 12,4 | 19,8 |
| Rácio n-6/n-3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| PUFA total | 54,1 | 71,8 | 69,9 | 56,3 | 81,1 |
| MUFA total | 32,8 | 18,5 | 18,4 | 26,6 | 7,3 |
| SFA total | 9,7 | 10 | 11,9 | 15,5 | 10 |

Gjerlaug-Enger et al. (2015) compararam índices zootécnicos de suínos alimentados com concentrado tradicional ou concentrado de colza com baixo teor de glicosinolato, com um rácio ômega-6/ômega-3 de 3,6:1 e 8,9:1 respetivamente, ambos suplementados com 0,4 mg Se/kg. Não observaram diferenças na taxa de conversão alimentar, percentagem de carne magra e valor da carcaça. A segunda dieta gerou o dobro de ácido α -linolénico na gordura subcutânea dorsal, as concentrações de EPA, DPA e DHA foram 42% superiores, e o rácio ômega-6/ômega-3 foi 4,0 em comparação com 8,0 da dieta de concentrado. Na carne (músculo *longissimus dorsi*) obteve-se mais 41% de ácido α -linolénico, as concentrações de EPA, DPA e DHA foram 20% superiores, e o rácio ômega-6/ômega-3 foi 4,7 em comparação com 6,6 da dieta de concentrado.

Ayerza e Coates (2009) forneceram três dietas durante a fase de acabamento de suínos (63 dias), cada uma com 10% e 20% de sementes de chia e uma dieta controlo. A dieta de 20% de chia aumentou significativamente (333%) o conteúdo de ácido α -linolénico (ALA) no tecido adiposo, em relação à dieta controlo. Os resultados indicam que a diferença de 10% para 20% não se mostra suficiente para traduzir diferenças significativas na composição lipídica da carne e tecido adiposo, mas em relação à dieta controlo obtiveram

valores inferiores de ácido palmítico e no total de SFA. Houve um aumento da concentração de ALA na carne, sem afetar negativamente a produção animal ou o sabor da carne.

2.4.2. Óleo de peixe

O peixe é considerado uma fonte bastante rica em EPA e DHA, no entanto, apresenta problemáticas ambientais como a sobrepesca, além de ser essencial em aquacultura. Apresenta-se assim como uma fonte limitada que não satisfaz os requisitos nutricionais pretendidos. Este, ao ser utilizado na dieta de suínos, irá modificar o perfil de AG da carcaça, aumentando, de forma eficaz, os ácidos gordos polinsaturados de cadeia muito longa da carne de suíno (Wojtasik et al. 2012). A composição em AG do óleo de peixe irá variar consoante a espécie utilizada, estando apresentadas na tabela 3 algumas das principais espécies utilizadas.

Tabela 3. Composição em ácidos gordos ómega-3 dos principais óleos de peixe (g/100 g AG, adaptado de Lee et al. 2008).

| | Salmão | Atum | Arenque | Sardinha | Anchova | Cavala |
|-------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| | <i>"Atlantic, farmed"</i> | <i>"Bluefin, fresh, cooked"</i> | <i>"Atlantic, cooked"</i> | <i>"Pacific, canned in tomb"</i> | <i>"European, canned in oil"</i> | <i>"Atlantic, cooked"</i> |
| EPA (C20:5) | 5,56 | 5,76 | 7,84 | 5,07 | 7,87 | 2,83 |
| DHA (C22:6) | 11,75 | 18,11 | 9,53 | 8,24 | 13,32 | 3,93 |

A suplementação em óleo de peixe aparenta ser a forma mais eficaz de aumentar a deposição de DHA nos tecidos, enquanto que a inclusão de óleo de linhaça, por exemplo, contendo o seu precursor, ALA, resulta numa menor deposição de DHA, devido à conversão limitada de DPA (ácido docosapentaenoico; C22:5 n-3) em DHA (Riley et al. 2000; Raes et al. 2004; Sardi et al. 2006).

Segundo Komprda et al. (2017), com uma dose diária de 2,5% de óleo de peixe no alimento composto, verificou-se a deposição de AG ómega-3 no músculo, fígado e tecido adiposo.

Os subprodutos do peixe devem ser doseados corretamente, uma vez que contêm compostos de enxofre e azoto que podem piorar as características sensoriais da carne, especialmente o sabor (Bryhni et al. 2002; Kołacz et al. 2004).

Lauridsen et al. (1999) sugerem evitar suplementar com óleo de peixe perto da altura do abate dos animais pois existe o risco de alterar o sabor da carne. Os produtores de suínos dinamarqueses estão apenas autorizados a incluir óleo de peixe na alimentação de suínos com peso não superior a 30 kg (PV).

Alimentos compostos que contenham valores de óleo de peixe acima do estipulado poderão proporcionar uma gordura mais macia e um sabor e odor a peixe tanto na carne como na gordura. Uma solução seria eliminar a inclusão deste suplemento na fase de acabamento (Overland et al. 1996), como sugerido anteriormente por Lauridsen et al. (1999).

2.4.3. Óleo de microalga

Comumente utilizadas como biocombustível, as microalgas começam a ganhar relevância como fonte de biomoléculas e biomassa para alimentação humana e animal, sendo bastante eficazes na produção de compostos com valor nutricional ou de energia. São organismos autotróficos e, nutricionalmente, contêm proteínas, hidratos de carbono, lípidos e nutrientes como vitaminas e antioxidantes (Rosa, 2018). O seu tamanho pode variar entre poucos micrómetros a algumas centenas (Guimarães 2009). As algas marinhas, como fonte natural de DHA na cadeia alimentar marinha (Abril et al. 2003), podem ser produzidas em larga escala e de forma sustentável (Moran et al. 2018). Com isto, começaram a ser produzidas e desidratadas para serem incluídas na alimentação animal e conseqüentemente melhorar o nível de AG ómega-3 dos alimentos de origem animal (Sardi et al. 2006). Além de lhe acrescentarem valor nutricional, as microalgas desempenham um papel importante em aquacultura e podem ainda ser utilizadas em produtos de cosmética (Rosa, 2018).

Existem alguns alimentos compostos para aves com algas na sua composição, como substituto parcial de proteína, no entanto o limite para não apresentar resultados negativos é de uma incorporação de 5-10% (Spolaore et al. 2005).

Diferentes espécies terão diferentes composições em ácidos gordos. Algumas foram estudadas e cultivadas com sucesso para a produção de AG ómega-3 e as suas composições estão indicadas na tabela 4.

Tabela 4. Composição em ácidos gordos ómega-3 dos principais óleos de microalga (g/100 g AG, adaptado de Widianingsih et al. 2013).

| | <i>Chlorella</i> sp. | <i>Tetraselmis</i> sp. | <i>Isochrysis</i> sp. | <i>Nannochloropsis</i> sp. | <i>Spirulina</i> platensis | <i>Skeletonema</i> costatum | <i>Thalassiosira</i> sp. |
|-------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| ALA (C18:3) | 0,05 | 2,22 | 11,57 | 0,04 | 2,62 | 25,31 | 7,93 |
| EPA (C20:5) | 0,17 | 0,19 | 1,96 | 0,32 | 0,22 | 1,14 | 1,24 |
| DHA (C22:6) | 0,01 | 0,04 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 |
| n-3 total | 0,23 | 2,45 | 13,53 | 0,38 | 2,84 | 26,45 | 9,17 |

A utilização de águas residuais (domésticas, agrícolas ou industriais) para o cultivo de microalgas é benéfica por diminuir o uso de água doce, ter menor necessidade de adição de

nutrientes e facilmente remover o azoto e fósforo da água (muito úteis à microalga). Destas, as águas residuais agrícolas mostraram maior potencial (Chiu et al. 2015). Rodolfi et al. (2009) consideram certas *Nannochloropsis* como as melhores produtoras de lípidos. O seu elevado teor em EPA torna-a uma fonte alternativa para a produção comercial de EPA. Ao analisar o perfil de AG da *Chlorella vulgaris*, Otles e Pire (2001) verificaram que contém uma grande concentração de ALA e ácido oleico (C18:1) e que cerca de 40% dos componentes são PUFAs. Não contém ácido γ -linoleico (GLA, n-6) e contém muito pouco DHA e ácido eicosanóico (n-6) (Petkov et al. 2006).

A *Spirulina sp.* é um exemplo de microalga fornecedora de proteína bruta, sendo esta 63% superior em termos de matéria seca ao farelo de soja comumente utilizado em alimentos compostos para animais (Tokusoglu and Unal 2003; Barroso et al. 2014). No entanto, encontra-se na sua composição uma forte presença de ácidos gordos saturados e insaturados ómega-6 (Otles and Pire, 2001), que não são desejáveis a níveis nutricionais para a carne suína.

Existem atualmente alguns obstáculos no que toca à produção comercial de microalgas, pelos custos de produção e energia necessária, enquanto se procura compreender o seu metabolismo, de modo a maximizar a produtividade lipídica sem comprometer a produção de biomassa (Wijffels and Barbosa 2010 citado por Kim et al. 2016).

Com isto, verifica-se a existência de diferentes fontes de AG ómega-3 que podem ser ajustadas de acordo com as preferências, disponibilidades ou capacidades financeiras de cada produtor.

2.5. Meta-análise em nutrição animal

2.5.1. O que é uma meta-análise?

Uma meta-análise pode ser definida como uma revisão sistemática da literatura existente sobre um determinado tema, suportada por métodos estatísticos, com a finalidade de agregar e relacionar os resultados obtidos em diferentes estudos (Glass 1976 citado por Viechtbauer 2010). Foi a partir da década de 80 do século XX que as meta-análises começaram a ser utilizadas com maior frequência, principalmente na área da medicina para avaliação de diferentes métodos analíticos (medicamentos, tratamentos, procedimentos, etc) (Rodrigues et al. 2010). Com o aumento de publicações na área da nutrição animal, é importante ir realizando meta-análises para modelar a base de dados (Sauvant et al. 2008). A implementação de uma meta-análise passa por diferentes etapas, de igual importância:

- ⇒ Primeira etapa: Definição dos objetivos do estudo e identificação dos critérios a utilizar na seleção das publicações a utilizar na construção da base de dados (Sauvant et al. 2008);
- ⇒ Segunda etapa: Análise pormenorizada para identificar os estudos que seguem, de facto, os critérios suficientes para serem incluídos na meta-análise (Crombie and Davies 2009);
- ⇒ Terceira etapa: É recomendada uma análise gráfica inicial para obter uma visão global (dos valores) das variáveis utilizadas e identificar relações específicas a serem analisadas (Sauvant et al. 2008);
- ⇒ Quarta etapa: Identificar as variáveis dependentes e independentes como qualitativas (fatores) ou quantitativas (discretas ou contínuas); identificar as várias fontes de variabilidade dos dados (inter-estudo e intra-estudo) e definir os efeitos a estudar como fixos ou aleatórios (Sauvant et al. 2008);
- ⇒ Quinta etapa: Análise dos modelos a utilizar e interpretação dos resultados.

Existem, geralmente, grandes diferenças entre os vários estudos, como por exemplo, diferentes métodos de medição e técnicas de laboratório, diferentes condições de alojamento, no caso de estudos com animais, etc. Diferenças essas que, do ponto de vista estatístico, fazem com que os efeitos associados aos vários estudos devam ser considerados aleatórios, já que a inferência que se procura é para estudos futuros. As meta-análises, nas ciências animais, geralmente ignoravam o efeito do estudo, o que tinha como consequência uma estimativa menos correta dos parâmetros dos modelos de regressão e dos efeitos dos fatores em análise. Também os valores da variabilidade residual e dos erros padrões dos parâmetros podem ser sobrestimados, resultando em grandes erros inferenciais e conclusões incorretas, ao testar o efeito das variáveis independentes na variável resposta. É, portanto, importante a

incorporação do efeito do estudo e os seus efeitos de interação como componentes aleatórios de um modelo linear (modelo misto), de modo a melhorar a descrição da realidade pelo modelo e os seus erros de previsão (St-Pierre 2001).

O modelo de efeitos fixos geralmente considera o efeito de interesse como sendo o mesmo em todos os estudos. Neste caso, as diferenças entre eles são apenas devido à variabilidade dentro dos estudos (erros amostrais). O modelo de efeitos aleatórios considera que os estudos formam uma amostra aleatória de uma população hipotética, com diferentes efeitos de interesse embora interligados através de uma distribuição de probabilidade normal (Rodrigues 2010).

A validade de uma meta-análise dependerá da qualidade da revisão sistemática em que se baseia. Uma boa meta-análise irá cobrir todos os estudos relevantes efetuados até ao momento, procurar a presença de heterogeneidade e explorar a robustez das principais descobertas usando uma análise sensível e indicada (Crombie and Davies 2009). Por vezes, as experiências individuais pecam em não mostrarem diferenças significativas entre tratamentos. No entanto, quando reunidos os resultados dos estudos individuais, através de técnicas apropriadas (meta-análise), é possível demonstrar os efeitos significativos de tal tratamento. Como combinam os resultados de muitos ensaios, têm uma maior capacidade em detetar pequenos efeitos, mas significativos. Além disso, a agregação sistemática de dados permite fornecer estimativas mais precisas de quaisquer efeitos descobertos (Crombie and Davies 2009).

A metodologia e objetivos de meta-análises em ciências animais são geralmente bastante diferentes daquelas que são efetuadas na área da medicina (St-Pierre 2001; Sauvant et al. 2008, 2020). Na área animal, o interesse está direcionado para as relações entre variáveis quantitativas, de modo a prever a resposta média de uma variável “dependente” (Y), a uma ou mais variáveis “independentes” (x). A heterogeneidade ou efeito do estudo corresponde à variação de Y entre os estudos não explicados pelas covariáveis x (Sauvant et al. 2020).

2.5.2. Modelo Linear

O modelo linear é um método estatístico que engloba a regressão linear (simples ou múltipla), a análise de variância (ANOVA) e a análise de covariância (ANCOVA), que foram utilizadas neste estudo. A regressão linear (RL) é uma metodologia estatística que modela uma variável resposta numérica (quantitativa) através de uma ou mais variáveis preditoras (quantitativas). Caso se trabalhe com uma única variável preditora (x, “independente”) designa-se regressão linear simples (RLS) e traduz-se na equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

em que Y é a variável resposta (“dependente”), β_0 refere-se à ordenada na origem (valor de Y associado a $x=0$), β_1 refere-se à variação de Y associada a um aumento de uma unidade em x (declive) e ε é o erro. Um valor importante para esta análise é o do coeficiente de determinação (R^2). Este coeficiente, que varia entre 0 e 1, mede a proporção da variabilidade total da variável resposta Y que é explicada pela regressão. Quanto mais alto for este valor melhor será considerada a regressão linear. Para poder utilizar o modelo linear no contexto inferencial, ou seja, para poder tirar conclusões para a população com base numa amostra, é necessário admitir que os erros são variáveis aleatórias normais, de média zero e variância constante σ^2 , e independentes (Cadima, 2018).

A análise de variância (ANOVA), à semelhança da regressão linear, visa modelar uma variável resposta numérica (quantitativa) à custa de uma ou mais variáveis preditoras qualitativas (categóricas), isto é, fatores, com vários níveis (categorias). No caso de existir um único fator, a equação que representa este modelo é:

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij},$$

onde μ_i representa o valor esperado das observações Y_{ij} efetuadas no nível i do fator:

$$\mu_i = E[Y_{ij}] = \mu + \alpha_i$$

com μ a média comum a todas as observações, enquanto os parâmetros α_i são específicos para cada nível (i) do fator e são designados como o efeito do nível i . Tal como na RLS, para poder fazer inferência com este modelo é necessário acrescentar os pressupostos anteriormente descritos (Cadima, 2018).

Ao contrário da regressão linear (RL) e da análise de variância (ANOVA), em que as variáveis preditoras são de um único tipo (numéricas na RL e fatores na ANOVA), numa análise de covariância (ANCOVA), utilizam-se em simultâneo, variáveis preditoras numéricas e fatores. Um caso particular de ANCOVA consiste no estudo duma relação linear entre Y e x , influenciada por uma variável qualitativa: um fator com k níveis (Cadima, 2009). Um modelo que prevê a possibilidade de existirem k retas de regressão linear simples diferentes em cada um de k contextos, tem a seguinte equação de base:

$$Y = (\beta_0 + \alpha_{0i}) + (\beta_1 + \alpha_{1i}) x + \varepsilon,$$

onde β_0 e β_1 se referem aos valores de ordenada na origem e declive do primeiro nível do fator, respetivamente; α_{0i} e α_{1i} são os acréscimos aos valores de ordenada na origem e declive anteriores, respetivamente, devidos ao nível i do fator; x é a variável preditora numérica; e ε é o erro aleatório.

Mais uma vez, para poder fazer inferência é necessário admitir pressupostos idênticos aos dos modelos anteriores. As k retas ajustadas são as mesmas k retas que se obteriam caso fossem feitas k regressões lineares separadas, utilizando apenas as n_j observações referentes a cada um dos níveis do fator. O coeficiente de determinação (R^2) do modelo conjunto mede a relação linear da nuvem de pontos obtida com a totalidade dos n

pontos ($n=n_1+\dots+n_k$) e não reflete os valores individuais de R^2 obtido para cada uma das regressões lineares nos diferentes níveis do fator (Cadima, 2009).

2.5.3. Modelos mistos

A metodologia dos modelos mistos tem em conta a variabilidade entre estudos e entre grupos experimentais do mesmo estudo. Assume observações independentes entre estudos e dependentes entre grupos experimentais (pertencentes a uma mesma sub-população). Os modelos estatísticos anteriores, ao considerarem os erros aleatórios ϵ independentes e igualmente distribuídos, com uma distribuição normal de média zero e variância constante, assumem a independência e a homogeneidade da variabilidade entre observações Y . Nos modelos mistos, a homogeneidade e a independência entre as variáveis Y não ocorre (Demidenko 2013).

Um dos exemplos apresentados por Demidenko (2013) (figura 4) mostra a diferença entre a utilização de um modelo de regressão linear simples e um modelo misto, e a possibilidade de se obterem conclusões opostas. Utilizando a abordagem clássica do modelo linear, considerando que as observações são independentes e identicamente distribuídas, e analisando o conjunto como um todo, gera-se uma relação linear de declive negativo. Pelo contrário, considerando as observações dentro de cada estudo como provenientes de um mesmo grupo, gera uma relação linear de declive positivo, que descreve melhor e de forma mais adequada o problema apresentado (Demidenko 2013).

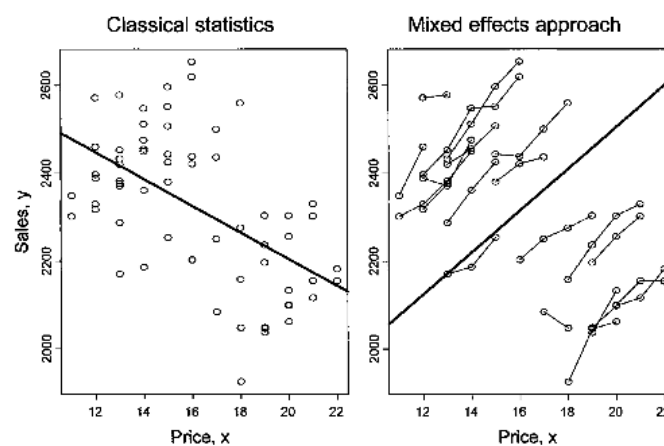


Figura 4. Comparação gráfica dos resultados de uma análise efetuada através de uma regressão linear simples e de modelos mistos (retirado de Demidenko 2013).

3. Material e métodos

Este estudo consistiu numa fase de recolha de dados e numa fase de análise, tanto das variáveis individualmente como das relações entre variáveis. A relação entre variáveis foi dividida em três etapas, utilizando métodos estatísticos clássicos, baseados no modelo linear, e modelos mistos para a sua análise.

3.1 Critérios de pesquisa para seleção dos estudos

Para este estudo foram escolhidas três fontes a incluir no alimento composto de suínos, sendo elas: óleo de linhaça, óleo de peixe e óleo de microalga. Iniciou-se com uma pesquisa na base de dados da *Elsevier Scopus* (www.scopus.com) através das palavras-chave indicadas na figura 5. Esta pesquisa identificou centenas de artigos, pelo que foi necessário determinar alguns fatores-chave que se iriam querer analisar, para escolher aqueles que realmente se enquadravam no objetivo do estudo. O fator principal foi a deposição de AG ómega-3 no músculo, pelo que o perfil de AG do músculo (*longissimus dorsi*) tinha de estar presente no artigo. Como maior parte dos artigos fazia também referência ao perfil de AG no tecido adiposo, estes dados foram também recolhidos, assim como os valores da adiposidade da carcaça. Para avaliar a deposição de AG ómega-3, seria necessário ter a composição em AG da dieta fornecida aos suínos (ou a ingestão de AG ómega-3), não sendo suficiente indicar a quantidade de suplemento. Esta variável foi também determinante na seleção de artigos. Para a meta-análise apenas interessavam artigos que relatassem experiências, em suínos, sendo os restantes eliminados (como *reviews*). Outro critério foi a fonte do artigo: apenas foram selecionados aqueles que tinham sido publicados em revistas científicas ou outras fontes validadas cientificamente. Com isto, definiram-se as seguintes variáveis:

Tabela 5. Variáveis preditoras (x) e resposta (Y) utilizadas na meta-análise.

| Variáveis preditoras (x) | Variáveis resposta (Y) |
|--|--|
| Quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g Matéria Seca) ("x.g.100gMS" no <i>software</i> R) | Concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g músculo) ("y.g.100gM" no <i>software</i> R) |
| | Concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g AG) ("y.g.100gAG" no <i>software</i> R) |
| Quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g AG) ("x.g.100gAG" no <i>software</i> R) | Concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido) ("y.adiposo.g.100gTA" no <i>software</i> R) |
| | Concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g AG) ("y.adiposo.g.100gAG" no <i>software</i> R) |
| Ingestão de AG ómega-3 (g/dia) ("x.g.dia" no <i>software</i> R) | Adiposidade (mm) ("Adiposidade" no <i>software</i> R) |

A pesquisa, por exemplo, sob a forma “linseed+pig+meat+fatty acid” (figura 5), originou resultados que continham pelo menos uma das palavras-chave indicadas, não sendo o ideal para uma pesquisa onde se pretendia todas as palavras-chave. Assim, apareceram mais de 1000 artigos científicos, no qual apenas 43 de óleo de linhaça, 26 de óleo de peixe e 5 de óleo de microalga continham todas as palavras-chave. A primeira seleção baseou-se, então, na presença das palavras-chave. De seguida, eliminaram-se aqueles que não apresentavam quadros da composição lipídica do músculo ou do tecido adiposo (TA). Por fim, observou-se que alguns não apresentavam nem a quantidade de AG ómega-3 na dieta nem a ingestão de AG ómega-3, sendo também eliminados. Após os processos de seleção, foram reduzidos a 28 ensaios com óleo de linhaça, 14 ensaios com óleo de peixe e 4 ensaios com óleo de microalga.

O seguinte diagrama PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (figura 5) descreve os passos de pesquisa e remoção de artigos científicos para a meta-análise:

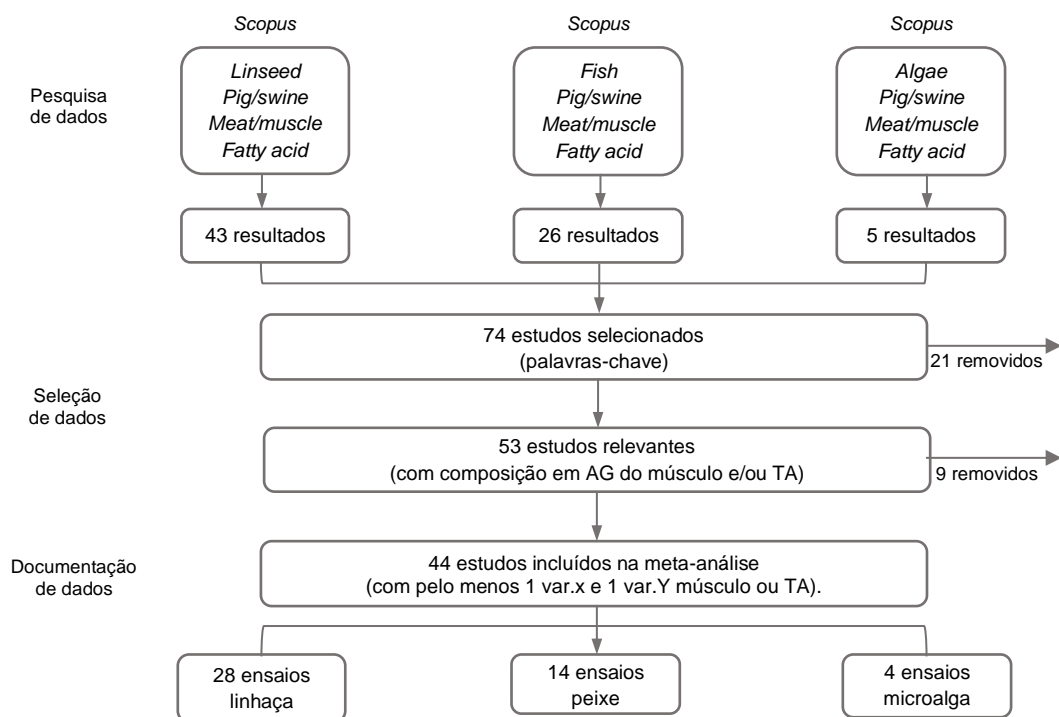


Figura 5. Diagrama PRISMA com o processo de seleção dos artigos científicos para a base de dados.

Os artigos científicos selecionados podem ser encontrados no anexo I.

3.2. Recolha e conversão de dados

As unidades de medida por vezes variam consoante o estudo. Esta situação não é ideal, pelo que a passagem das unidades para uma unidade padrão foi um passo importante nesta meta-análise. Existiram por vezes valores que, por falta de informação, não puderam ser convertidos. Nestes casos, os artigos foram guardados para comparações fora da meta-análise. Algumas conversões foram diretas, como passar de “mg/g” para “g/100g”, outras envolveram mais cálculos, como converter de “g/100 g AG totais” para “g/100 g X” (leia-se “X” como o respetivo indicador a calcular).

Quando o artigo apenas fazia referência à quantidade de AG ómega-3 na dieta em g/100g AG totais, e não à quantidade de AG ómega-3 na dieta em g/100g MS, ao apresentarem o valor de “*Ether extract*” ou “*Crude fat*” na dieta, deduziu-se a quantidade de AG ómega-3 na MS através do fator de conversão de 0,91 (Weihrauch et al. 1977). Este valor traduz a proporção de AG totais na gordura, representado então 91% da gordura da dieta. No exemplo do artigo de Jaturasitha et al. (2009), a quantidade de AG ómega-3 na dieta foi convertida de 2,483 g AG ómega-3/100 g AG totais, para 0,13 g AG ómega-3/100 g MS, através dos cálculos apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Exemplo de cálculo para a conversão de g/100 g AG totais em g/100 g MS na dieta.

| Artigo | Fonte | n-3 na dieta g/100 g AG totais | Ether extract % | Fator conversão (0,91) | n-3 na dieta g/100 g MS |
|------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Jaturasitha et al. (2009) | Controlo | 2,483 | 5,78 | $5,78 \times 0,91 = 5,26$ | $(2,483 \times 5,26)/100 = 0,13$ |
| | Óleo de peixe | 8,805 | 4,78 | $4,78 \times 0,91 = 4,35$ | $(8,805 \times 4,35)/100 = 0,38$ |

O mesmo acontece com a quantidade de AG ómega-3 no músculo, quando apenas é apresentada em g/100 g AG totais. Neste caso, será necessário apresentarem o valor de “*Intramuscular fat %*” ou semelhante, para converter em g de AG ómega-3 por 100g de músculo, através dos cálculos apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Exemplo de cálculo para a conversão de g/100 g AG totais no músculo em g/100 g de músculo.

| Artigo | Fonte | g n-3/100 g AG totais músculo | Intramuscular fat % | Fator conversão (0,91) | g n-3/100 g músculo |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Nevrkla e Vaclavkova (2019) | Controlo | 1,290 | 2,72 | $2,72 \times 0,91 = 2,4752$ | $(1,290 \times 2,4752)/100 = 0,0319$ |
| | Óleo de linhaça | 3,047 | 2,48 | $2,48 \times 0,91 = 2,2568$ | $(3,047 \times 2,2568)/100 = 0,0688$ |

Existiram dois artigos científicos com valores aparentemente incorretos e que acabaram por ter um impacto negativo nos resultados finais, tendo sido alterados. Com isto, no ensaio de Rey et al. (2001), a quantidade fornecida de AG ómega/100 g AG foi alterada de 1,16 para 11,6 e de 1,19 para 11,9. No ensaio de Trombetta et al. (2019), a adiposidade, em mm, foi alterada de 1,57 para 15,7 e de 1,96 para 19,6.

3.3. Análise gráfica exploratória das variáveis

Terminada a recolha e conversão de dados, iniciou-se uma análise gráfica exploratória das variáveis. Na base de dados, incluíram-se diversas variáveis, além das que foram selecionadas para a meta-análise. Estas variáveis extra serviriam para a posterior discussão dos resultados obtidos com a meta-análise, fornecendo uma possível explicação para valores atípicos (*outliers*). Exemplo destas variáveis pode ser o peso de abate dos suínos ou até a raça utilizada. Através de diagramas de extremos e quartis (*boxplots*) foi possível avaliar a localização e a variabilidade de cada variável (anexo II). Foram também realizados gráficos e diagramas de dispersão entre cada par de variáveis, os quais permitiram visualizar as relações existentes entre as variáveis.

3.4. Análise estatística

A análise estatística desenvolveu-se ao longo de quatro etapas de modo a melhor compreender a necessidade do rigor estatístico exigido numa meta-análise. Iniciou-se o estudo com uma análise estatística clássica utilizando regressões lineares simples (RLS) e análises de covariância (ANCOVA) ou análises de variância (ANOVA). Posteriormente, efetuou-se uma análise estatística recorrendo a modelos lineares mistos. De modo a melhorar a qualidade de ajustamento dos modelos ajustados nesta etapa, foram, numa terceira etapa, incluídos os erros aleatórios associados a cada variável, assumindo assim uma variabilidade dos erros aleatórios conhecida e igual à variabilidade de cada estudo. Por fim, procedeu-se à comparação dos resultados obtidos pelas três metodologias.

3.4.1. Primeira Etapa – Análise estatística clássica

Considerando os dados recolhidos como observações independentes, começou-se por realizar uma análise clássica de regressão linear simples (RLS) entre os pares de variáveis selecionados, sem fazer distinção entre as fontes de AG ómega-3, de modo a avaliar a significância da relação linear entre as variáveis. De seguida, para analisar o efeito da fonte de AG ómega-3 nas regressões lineares anteriores, ajustou-se uma RLS para cada nível do

fator “fonte”. Para o caso de alguma destas RLS ser significativa, avaliou-se através de uma ANCOVA a existência de diferenças significativas nos efeitos do fator “fonte” no declive, na ordenada na origem ou em ambos estes parâmetros.

Para os casos onde não existiu significância em nenhuma das regressões lineares, fez-se uma análise de variância (ANOVA) para estudar a existência de possíveis efeitos do fator no valor médio da variável resposta. No caso de haver efeitos significativos do fator, procedeu-se à comparação múltipla das médias da variável resposta dos diferentes níveis do fator “fonte”. Dado, em geral, o grande desequilíbrio no número de observações de cada nível do fator, foi utilizada a função *pairs* do *package emmeans* do R (Lenth et al. 2020) para calcular uma estimativa das médias marginais e efetuar a sua comparação. Esta análise final, não sendo significativa, mostraria a não existência de uma relação linear entre as variáveis x e Y , nem efeitos do fator “fonte”. Estes passos estão sistematizados na figura 6.

Esta metodologia (análise estatística clássica) é a ensinada no mestrado de Engenharia Zootécnica da ULisboa e é a habitualmente indicada para um vasto conjunto de situações experimentais. No entanto, e como já foi referido, não é, em geral, a metodologia adequada a uma meta-análise. Segundo St-Pierre (2001) e Sauvant et al. (2008), quando as observações são referentes a diferentes condições experimentais (como a utilização de diferentes períodos e condições ambientais) e não existe independência entre as observações provenientes de uma mesma publicação científica, a metodologia adequada a utilizar é a dos modelos mistos.

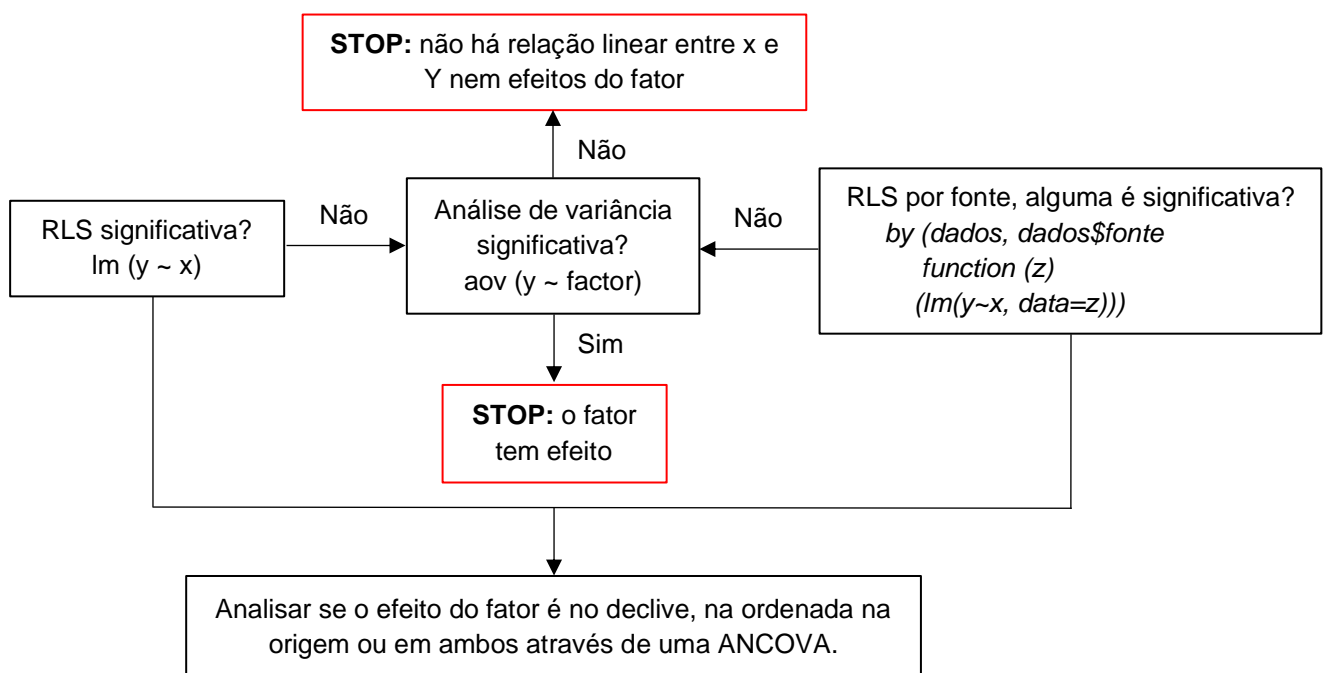


Figura 6. Procedimento relativo à primeira etapa da análise estatística clássica para cada par de variáveis (x, Y) , com algumas das funções de R utilizadas.

3.4.2. Segunda Etapa – Análise com Modelos Mistos

Os efeitos (globais) da variável x e do fator “fonte”, foram tidos como efeitos fixos do modelo, e os efeitos associados a cada estudo (*paper*) no declive e na ordenada na origem foram considerados efeitos aleatórios. A regressão aleatória entre o fator “fonte” e cada estudo não foi considerada para evitar problemas numéricos no ajustamento do modelo. Foi, no entanto, prevista, sempre que possível, a existência de correlação entre os efeitos aleatórios associados ao declive e à ordenada na origem. O modelo linear misto utilizado nesta meta-análise corresponde à RLS do valor da variável resposta Y_{ijk} obtido com a k -ésima fonte de AG ómega-3, na j -ésima dieta, da i -ésima publicação científica, sobre a quantidade da variável preditora x_{ijk} e pode ser descrito por:

$$Y_{ijk} = (\beta_0 + \alpha_{0k} + U_{0i}) + (\beta_1 + \alpha_{1k} + U_{1i}) x_{ijk} + \varepsilon_{ijk},$$

$$i = 1, \dots, p, \quad j = 1, \dots, n_{ij}, \quad k = 1, 2, 3$$

$$U_i = \begin{bmatrix} U_{0i} \\ U_{1i} \end{bmatrix} \cap N_2(0, \psi); \quad \varepsilon_{ijk} \cap N(0, \sigma^2), \quad \forall i, j, k,$$

$$\psi = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 \end{bmatrix}$$

onde β_0 e β_1 são os efeitos fixos da ordenada na origem e do declive, respetivamente; α_{0k} e α_{1k} são os acréscimos (fixos) a β_0 e β_1 devidos ao nível k do fator “fonte de AG ómega-3” (com as restrições $\alpha_{0k} = \alpha_{1k} = 0$); U_i são os vetores de efeitos aleatórios da publicação i (que se assumem independentes para as diferentes publicações) com U_{0i} e U_{1i} os efeitos aleatórios na ordenada na origem e no declive, respetivamente; e ε_{ijk} são os erros aleatórios associados às observações da mesma publicação que são consideradas variáveis aleatórias independentes, identicamente distribuídas (com variância σ^2 constante) e que se assumem independentes dos efeitos aleatórios. Ψ é a matriz de (co)-variâncias dos pares aleatórios (U_{0i}, U_{1i}) , com $\sigma_1^2 = \text{var}[U_{0i}]$, $\sigma_2^2 = \text{var}[U_{1i}]$ e $\sigma_{12} = \text{cov}[U_{0i}, U_{1i}]$.

Para cada par de variáveis, foi ajustado o modelo misto mais completo com a função *lmer* do *package lme4* do *software R* (Bates et al. 2015). De seguida, foi utilizado um algoritmo de exclusão sequencial nos efeitos aleatórios e nos efeitos fixos para obter um modelo mais simples utilizando a função *step* do *package lmerTest* do *software R* (Kuznetsova et al. 2017). Para o modelo selecionado, foram analisados os resultados: variabilidade dos efeitos aleatórios, valor do declive e efeitos da fonte, suportados por intervalos de confiança calculados com recurso à função *confint* do *package lmerTest* (Kuznetsova et al. 2017). Esta etapa terminou com uma análise gráfica para examinar a validade dos pressupostos do modelo e com um diagrama de pontos entre os valores observados e ajustados da variável resposta para aferir a qualidade global do modelo. Para isso, foram utilizados os seguintes gráficos: valores ajustados vs resíduos (“*fitted vs residual*”) para avaliar o pressuposto da

homogeneidade das variâncias dos erros aleatórios; um “*quantile-quantile plot*” dos resíduos para avaliar a normalidade dos erros aleatórios e “*quantile-quantile plot*” dos efeitos aleatórios para avaliar a normalidade dos efeitos aleatórios. Para avaliar a qualidade global do modelo, foi feito um diagrama de pontos entre os valores observados (y) e os valores ajustados (\hat{y}) e comparada a distribuição dos pontos com a bissetriz dos quadrantes ímpares (a reta 1:1).

3.4.3. Terceira Etapa – Análise com Modelos Mistos com heteroscedasticidade dos erros aleatórios

Os diferentes estudos não foram realizados com a mesma precisão traduzindo-se em diferentes erros padrão da média da variável resposta (SEM). Não ter essa diferente variabilidade em consideração resulta na violação da hipótese dos erros aleatórios terem todos a mesma distribuição (St.Pierre 2001). Uma das maneiras de ultrapassar esta limitação é atribuir diferentes pesos às observações utilizando o inverso do quadrado dos SEM (St. Pierre 2001; Sauvant et al. 2008). Com a inclusão dos erros padrão da média (SEM) associados a cada variável resposta no modelo, foi assumido que os erros aleatórios têm uma variabilidade proporcional a σ^2 de acordo com a variabilidade de cada estudo. Além disso, para tentar diminuir a variabilidade não explicada pelo modelo (a variabilidade dos erros aleatórios), foi incluída uma nova variável, o “período” (variável P), que traduz, em dias, a duração de cada ensaio. O modelo mais completo ajustado nesta fase foi:

$$Y_{ijk} = (\beta_0 + \alpha_{0k} + U_{0i}) + (\beta_1 + \alpha_{1k} + U_{1i}) x_{ijk} + \beta_2 P_{ijk} + \varepsilon_{ijk},$$

$$i = 1, \dots, p, \quad j = 1, \dots, n_{ij}, \quad k = 1, 2, 3$$

$$U_i = \begin{bmatrix} U_{0i} \\ U_{1i} \end{bmatrix} \cap N_2(0, \psi); \quad \varepsilon_{ijk} \cap N(0, \sigma^2 W_{ijk}), \quad \forall i, j, k,$$

$$\psi = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 \end{bmatrix}$$

em que β_2 é o efeito fixo associado à variável período (P), W é a variabilidade associada a cada observação (SEM) e os restantes símbolos têm o significado indicado anteriormente. Tal como na segunda etapa, após o ajustamento deste modelo (completo) foi aplicado o algoritmo de exclusão sequencial de modo a obter um modelo mais simples e de idêntica qualidade.

3.4.4. Quarta Etapa – Análise das etapas anteriores

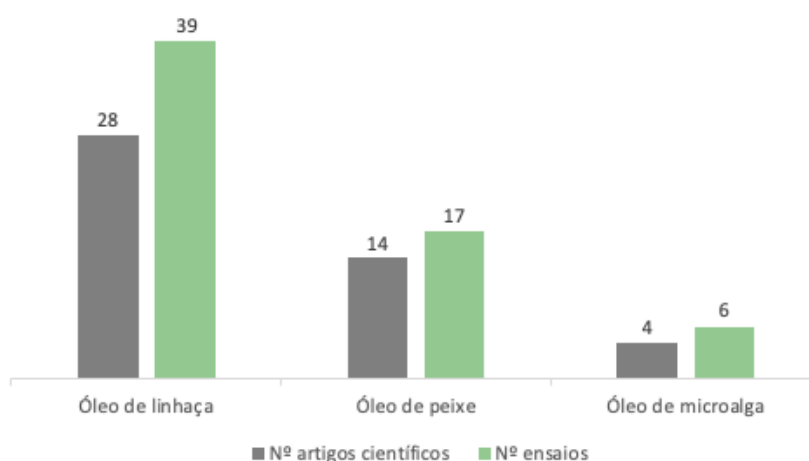
Para finalizar a meta-análise, foram comparados os resultados obtidos através das três metodologias utilizadas anteriormente, em termos de declives e efeitos do fator. Esta

comparação permitiu avaliar quantitativamente a diferença entre os diferentes procedimentos, assim como fazer uma tabela-resumo das metodologias utilizadas.

4. Resultados e discussão

A presente meta-análise incluiu dados de 62 ensaios descritos em 44 artigos científicos que se distribuíram pelo tipo de fonte de ácidos gordos ómega-3 usadas como apresentado no diagrama de barras do gráfico 4. O total de artigos científicos não coincide com a soma de artigos científicos de cada fonte pois alguns fazem referência a mais de uma fonte de AG ómega-3. A maioria dos ensaios utilizou linhaça (seja em semente ou em óleo), confirmando-se que esta fonte é já utilizada com alguma frequência como suplemento na alimentação de suínos. As fontes de ácidos gordos ómega-3 de origem marinha foram menos frequentes, em particular as microalgas, que apenas recentemente começaram a estudadas para alimentação de suínos.

Gráfico 4. Distribuição das diferentes fontes de AG ómega-3 pelos ensaios que constituem a presente meta-análise.



4.1. Variabilidade das variáveis em estudo

Na tabela 8 apresentam-se os valores médios, máximos e mínimos das variáveis utilizadas na meta-análise, permitindo ter uma visão global da grandeza e variação destes parâmetros nas diferentes variáveis. Os valores médios das dietas controlo referem-se aos estudos das respetivas fontes, não se tratando, portanto, de um valor global das dietas controlo. Isto é, compararam-se as dietas controlo dos estudos com óleo de linhaça, com as respetivas dietas que tiveram inclusão de óleo de linhaça. A inclusão de óleo de linhaça nas dietas variou entre 5 g/kg (Rey et al. 2001) e 134 g/kg (Beckova and Vaclavkova 2010) de alimento composto. Nestes ensaios, a ingestão de ALA variou entre 8,3 g/dia (Enser et al.

2000) e 61,9 g/dia (Dannenberger et al. 2012). A concentração de AG ómega-3 no músculo foi, em média, 0,13 g/100 g músculo e nos animais suplementados com linhaça mais do que triplicou em relação ao observado nos animais alimentados com as respetivas dietas controlo. A concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo aumentou em mais de 6 vezes (em 100g de tecido) nos animais suplementados com linhaça do que nos animais controlo, e a adiposidade da carcaça (espessura do toucinho) sofreu muito poucas alterações.

A inclusão de óleo de peixe variou entre 2,5 g/kg (Kjos et al. 1999) e 150 g/kg (Ding et al. 2003) de alimento composto, valores semelhantes aos utilizados nos ensaios com inclusão de óleo de linhaça. A ingestão de AG ómega-3 variou entre 2,89 g/dia (Ding et al. 2003) e 39,8 g/dia (Kjos et al. 1999). A concentração de AG ómega-3 no músculo variou de forma bastante semelhante à da inclusão de óleo de linhaça, assim como a concentração no tecido adiposo, apesar de apresentar um valor médio ligeiramente inferior. A adiposidade média da carcaça apresenta um valor ligeiramente inferior ao das dietas controlo, próximo do valor do óleo de linhaça.

As variáveis referentes às dietas suplementadas com microalga, não se assemelham tanto às anteriores, mas a quantidade reduzida de ensaios pode estar na base desta diferença acentuada, assim como o abate tardio em dois dos estudos. A inclusão de óleo de microalga variou entre 2,5 g/kg (Sardi et al. 2006) e 50 g/kg (Kalbe et al. 2019) de alimento composto, e a ingestão de AG ómega-3 entre 5,49 g/dia (Moran et al. 2018) e 25,66 g/dia (Tonnac and Mourot 2018). O valor médio da concentração de AG ómega-3 no músculo aparenta ser o dobro daquele nas fontes anteriores, no entanto, é apenas ligeiramente superior ao das suas dietas controlo. De facto, os valores que se realçam e fazem aumentar esta média são os do estudo de Sardi et al. (2006). Removendo estes valores, a concentração média de AG ómega-3 no músculo passa para 0,10 g/100 g músculo, valor semelhante, mas ligeiramente inferior, ao das restantes fontes. O valor médio da concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo é de cerca de metade dos anteriores e o dobro em relação às suas dietas controlo. Não se encontram diferenças na adiposidade em relação às dietas controlo, mas apresenta, em média, quase o dobro da espessura quando se compara às restantes fontes.

Observa-se, portanto, uma proximidade entre os dados da inclusão de óleo de linhaça e óleo de peixe, com algumas discrepâncias na inclusão de microalga. Estes dados estão suplementados com *boxplots* para cada variável e podem ser observados no anexo II.

Tabela 8. Indicadores de localização e dispersão de cada uma das variáveis analisadas nas dietas com a inclusão de linhaça, peixe e microalga.

| Variável | Fonte: Óleo de linhaça | | | | Dietas controle | | | |
|--|------------------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| | Valor médio | Valor mínimo | Valor máximo | Desvio padrão | Valor médio | Desvio padrão | Coefficiente de variação | Coefficiente de variação |
| Inclusão no alimento composto (g/kg) | 45,62 | 5 | 134 | 30,34 | - | - | 66,50% | - |
| Quantidade de AG ômega-3 (g/100 g MS) | 1,15 | 0,06 | 4,82 | 1,10 | 0,12 | 0,05 | 95,37% | 45,15% |
| Quantidade de AG ômega-3 (g/100 g AG totais) | 21,32 | 2,39 | 50,54 | 11,78 | 3,69 | 2,18 | 55,25% | 58,88% |
| Ingestão de AG ômega-3 (g/dia) | 27,81 | 8,32 | 61,91 | 17,74 | 3,62 | 1,67 | 63,78% | 46,26% |
| Concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g músculo) | 0,13 | 0,03 | 0,51 | 0,12 | 0,03 | 0,02 | 93,07% | 66,22% |
| Concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g AG totais) | 5,31 | 1,23 | 13,20 | 2,71 | 2,07 | 1,62 | 51,06% | 77,98% |
| Concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido) | 6,82 | 1,97 | 18,10 | 4,42 | 1,02 | 0,35 | 64,79% | 34,58% |
| Concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g AG totais) | 6,80 | 1,97 | 19,70 | 4,23 | 1,81 | 0,94 | 62,27% | 51,81% |
| Adiposidade da carcaça (mm) | 15,16 | 8,00 | 24,77 | 4,64 | 15,37 | 4,89 | 30,58% | 31,84% |
| Fonte: Óleo de peixe | | | | | | | | |
| Variável | Valor médio | Valor mínimo | Valor máximo | Desvio padrão | Valor médio | Desvio padrão | Coefficiente de variação | Coefficiente de variação |
| Inclusão no alimento composto (g/kg) | 26,80 | 2,5 | 150 | 26,79 | - | - | 99,94% | - |
| Quantidade de AG ômega-3 (g/100 g MS) | 1,68 | 0,38 | 4,82 | 1,22 | 0,33 | 0,56 | 72,63% | 167,83% |
| Quantidade de AG ômega-3 (g/100 g AG totais) | 20,47 | 3,30 | 49,90 | 13,92 | 3,55 | 1,45 | 68,04% | 40,89% |
| Ingestão de AG ômega-3 (g/dia) | 23,57 | 2,89 | 39,78 | 14,36 | 0,86 | 1,00 | 60,93% | 115,82% |
| Concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g músculo) | 0,14 | 0,03 | 0,51 | 0,18 | 0,03 | 0,02 | 133,78% | 56,90% |
| Concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g AG totais) | 5,09 | 0,54 | 10,60 | 2,90 | 1,81 | 1,12 | 57,02% | 61,70% |
| Concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido) | 4,02 | 1,37 | 10,60 | 3,40 | 0,77 | 0,42 | 84,56% | 55,17% |
| Concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g AG totais) | 3,63 | 0,90 | 9,73 | 2,30 | 1,36 | 0,65 | 63,23% | 48,03% |
| Adiposidade da carcaça (mm) | 14,64 | 10,60 | 24,50 | 3,95 | 15,03 | 6,84 | 27,02% | 45,52% |
| Fonte: Óleo de microalga | | | | | | | | |
| Variável | Valor médio | Valor mínimo | Valor máximo | Desvio padrão | Valor médio | Desvio padrão | Coefficiente de variação | Coefficiente de variação |
| Inclusão no alimento composto (g/kg) | 16,88 | 2,5 | 50 | 17,61 | - | - | 104,35% | - |
| Quantidade de AG ômega-3 (g/100 g MS) | 0,38 | 0,16 | 0,80 | 0,26 | 0,10 | 0,06 | 68,12% | 57,58% |
| Quantidade de AG ômega-3 (g/100 g AG totais) | 38,66 | 37,14 | 40,18 | 2,15 | 7,47 | 2,21 | 5,56% | 29,65% |
| Ingestão de AG ômega-3 (g/dia) | 12,37 | 5,49 | 25,66 | 8,20 | 3,38 | 1,94 | 66,28% | 57,58% |
| Concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g músculo) | 0,35 | 0,06 | 0,84 | 0,35 | 0,32 | 0,36 | 99,68% | 112,07% |
| Concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g AG totais) | 4,92 | 4,64 | 5,16 | 0,26 | 1,33 | 0,00 | 5,32% | 0,00% |
| Concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido) | 2,24 | 0,83 | 3,79 | 1,22 | 1,03 | 0,40 | 54,59% | 38,85% |
| Concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g AG totais) | 6,15 | 5,81 | 6,79 | 0,55 | 1,03 | 0,40 | 8,95% | 38,85% |
| Adiposidade da carcaça (mm) | 26,27 | 18,00 | 30,33 | 4,91 | 26,28 | 5,72 | 18,69% | 21,75% |

4.2. Análise gráfica exploratória das principais relações entre variáveis

Como seria de esperar pela revisão bibliográfica e pelos dados anteriormente apresentados, a ingestão de AG ómega-3 leva a um aumento da concentração de AG ómega-3 no músculo e tecido adiposo dos suínos. Contudo a magnitude desse aumento depende de diversas variáveis. Para tentar perceber qual o tipo de relação existente entre as variáveis em estudo, foram feitos diagramas de dispersão, de modo a proporcionar uma rápida visualização geral do comportamento dos dados. Desta forma, procurou-se evidenciar nos dados diferentes grupos e tendências (conjuntos de declives semelhantes). Nos gráficos que se seguem, cada cor corresponde a uma fonte de AG ómega-3 (óleo de linhaça a preto, óleo de peixe a verde e óleo de microalga a vermelho) e cada linha é referente às observações de cada ensaio, podendo o mesmo artigo apresentar mais do que uma linha.

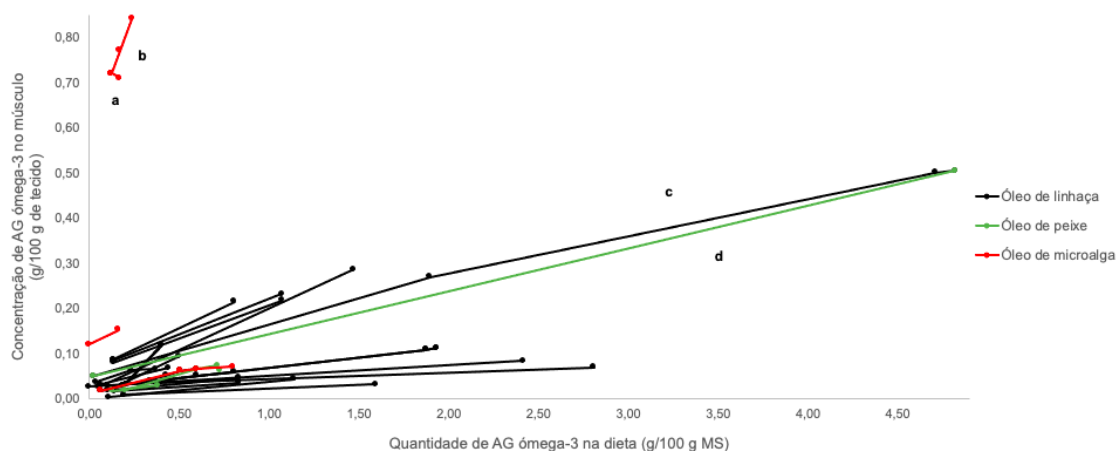
Nos gráficos 5 a 7 estão representadas as relações entre algumas variáveis preditoras e a concentração de AG ómega-3 no músculo. Nos gráficos 5 e 6 observa-se uma diferença de aproximadamente uma casa decimal entre os valores obtidos. Isto acontece, como Weihrauch et al (1975) indicam, porque os AG representam 91% dos lípidos presentes nos tecidos do suíno, portanto os valores do gráfico 6 seriam sensivelmente 91% dos valores do gráfico 5. O mesmo acontece com os gráficos 8 e 9, referentes ao tecido adiposo.

No gráfico 5 é de notar dois ensaios, ambos do artigo de Sardi et al. (2006), com inclusão de microalga na dieta, que se destacam dos restantes. Estes autores realizaram um ensaio onde se forneceu 2,5 g/kg MS de microalga durante as oito semanas (56 dias) anteriores ao abate (gráfico 5 “a”) a 15 suínos, e um outro ensaio onde, durante as quatro semanas (28 dias) anteriores ao abate (gráfico 5 “b”), se forneceu 2,5 g/kg MS a um grupo e 5 g/kg MS a outro, grupos estes semelhantes ao primeiro ensaio. Com pesos iniciais e finais (de abate) semelhantes entre ensaios, o segundo ensaio (de 28 dias) obteve valores de ganho médio diário (GMD) superiores, assim como uma maior ingestão média diária de AG ómega-3, traduzindo-se numa concentração superior de AG ómega-3 no músculo. A dieta controlo tinha um valor razoável de ácido α -linolénico, daí a elevada ordenada na origem se apresentar bastante diferente dos restantes ensaios. Outro ensaio que se destaca é o de Duran-Montgé et al. (2009) onde utilizaram óleo de peixe e óleo de linhaça. Foi feita uma dieta com cada fonte, isoladamente, e uma dieta em que utilizaram ambos num rácio de 40% óleo de peixe e 60% óleo de linhaça. Esta última dieta é a que se destaca no gráfico (último ponto da reta “c” e “d”), por apresentar uma maior quantidade de AG ómega-3 na dieta. Os seus dados encontram-se replicados para as duas fontes, a verde e preto, daí coincidirem. A dieta conjunta apresentou resultados ligeiramente superiores à que continha apenas linhaça, mas não foi uma diferença considerável.

Em proporção dos ácidos gordos (gráfico 6), existe uma quantidade razoável de ensaios com observações de tratamentos com óleo de linhaça e óleo de peixe e nenhuma com óleo de microalga. Neste caso, as duas fontes parecem ter um efeito equivalente, apresentando uma relação semelhante entre as variáveis. Neste gráfico realça-se o estudo de Trombetta et al (2019) por apresentar um aumento acentuado da concentração de AG ómega-3 no músculo, que contrasta com o ensaio de Beckova and Vaclavkova (2010) por apresentar dos declives mais baixos e conseqüentemente um menor rendimento da deposição dos AG ómega-3 no músculo.

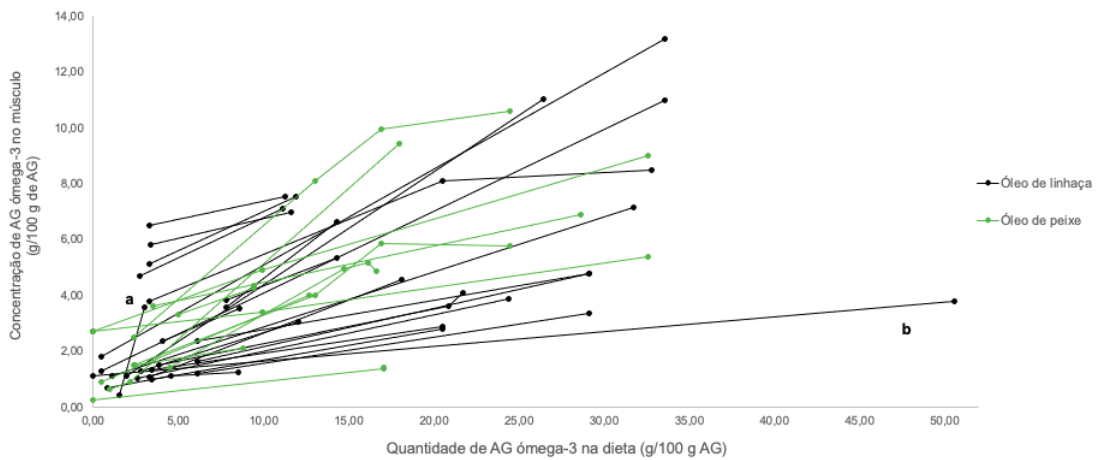
A relação entre a ingestão de AG ómega-3 e a concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g músculo) parece apresentar dois conjuntos de declives (gráfico 7) semelhantes nas três fontes. Mesmo o artigo que se encontra com uma ordenada na origem bastante diferente dos restantes, de Sardi et al. (2006) (gráfico 7 “a”), apresenta um declive semelhante a outros estudos.

Gráfico 5. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g tecido).



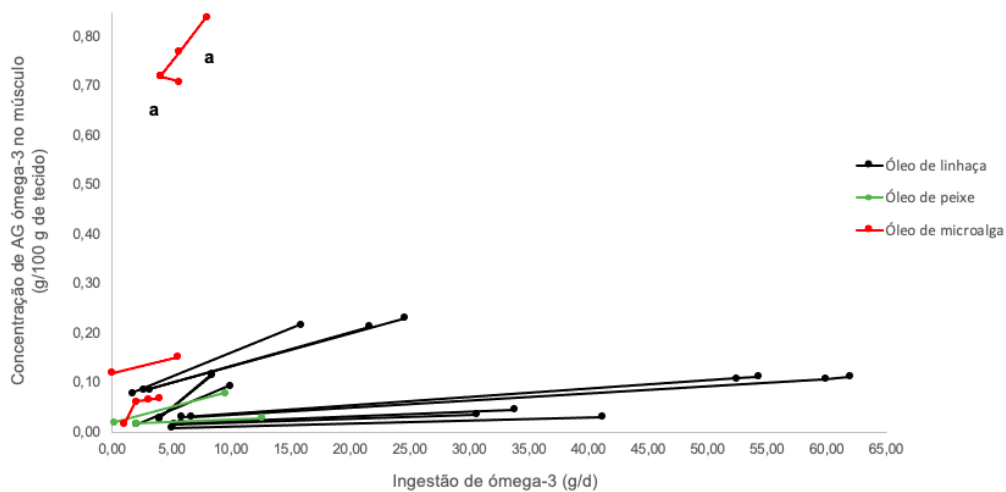
As retas “a” e “b” referem-se a dois grupos experimentais do ensaio de Sardi et al. (2006), e as identificadas pelas letras “c” e “d” referem-se a dois grupos experimentais do ensaio de Duran-Montgé et al. (2009).

Gráfico 6. Relação entre a quantidade de AG ômega-3 na dieta (g/100 g AG) e a concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g AG).



As retas “a” e “b” referem-se aos ensaios de Trombetta et al (2019) e Beckova and Vaclavkova (2010), respetivamente.

Gráfico 7. Relação entre a ingestão de AG ômega-3 e a concentração de AG ômega-3 no músculo (g/100 g tecido).



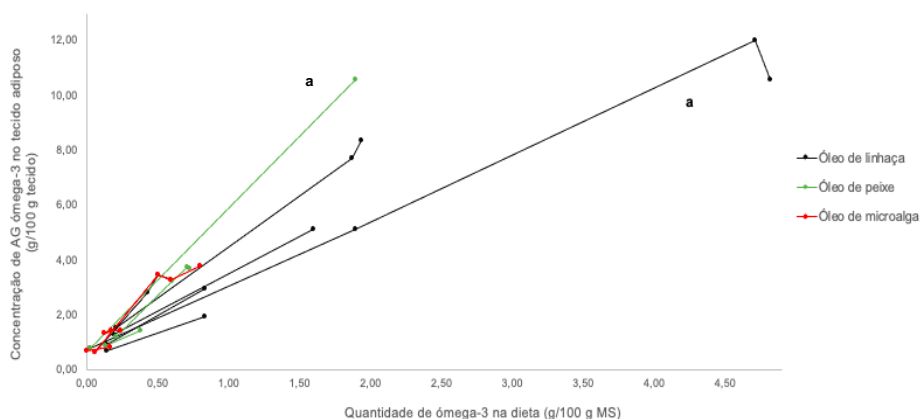
As retas “a” referem-se a dois grupos experimentais do ensaio de Sardi et al. (2006).

O óleo de peixe parece apresentar a melhor resposta em termos de concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo em g/100 g de tecido (gráfico 8), mas em g/100 g AG já não é tão evidente (gráfico 9). Os dois ensaios que se destacam são do mesmo artigo, de Duran-Montgé et al. (2009), onde a última observação de ambos se refere à dieta experimental onde é utilizado óleo de peixe e óleo de linhaça numa proporção de 40-60. Neste caso, a inclusão elevada de óleo de linhaça aparenta ser mais eficaz que a inclusão de ambos.

Em proporção dos AG, nota-se a presença de vários estudos de linhaça e peixe com declives muito semelhantes (gráfico 9). O estudo de Kjos et al. (1999) foi repartido em dois ensaios, um com quatro tratamentos (gráfico 9 “a”) e outro com três tratamentos (gráfico 9 “b”), e resultou numa deposição bastante reduzida de AG ómega-3 no tecido adiposo. A dieta experimental baseava-se em silagem de peixe e óleo de peixe, em diferentes quantidades. No primeiro, esta foi fornecida até ao abate, durante 88 dias, e obteve um resultado ligeiramente superior. No segundo, foi fornecida até um PV de 60kg, seguindo-se uma dieta controlo até aos 99kg, peso de abate. O estudo de Nuernberg et al. (2005) faz diferenciação entre machos e fêmeas, daí a existência de duas retas praticamente coincidentes. A reta que traduz os resultados do tratamento com fêmeas apresenta uma ordenada na origem e um resultado ligeiramente superiores.

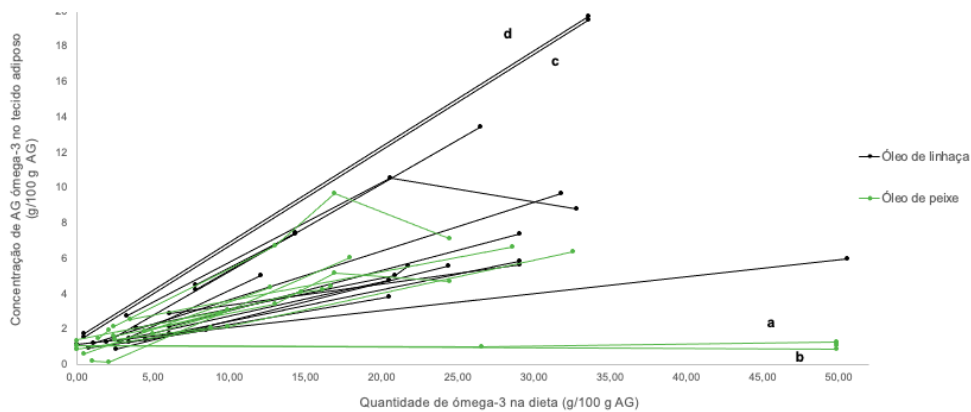
A ingestão de AG ómega-3 através do óleo de linhaça aparenta ser a mais eficaz, no entanto existem muito poucos estudos com as variáveis em questão (gráfico 10). Tonnac and Mourot (2018) realizaram um ensaio que envolveu a utilização de óleo de microalga e linhaça. A linhaça apresenta um valor elevado de ALA, mas a microalga apresenta um valor ainda mais elevado em DHA e EPA, o que se traduz em valores superiores de AG ómega-3 nos tratamentos onde está presente. Concluíram então que, em termos de concentração de AG ómega-3, é preferível fornecer apenas microalga, no entanto, a inclusão de ambos melhora a qualidade dos AG ómega-3, havendo tanto ALA como EPA e DHA. No entanto, a presença de microalga aumentou a suscetibilidade a processos oxidativos na carne e apresentou diferenças no sabor da carne.

Gráfico 8. Relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido).



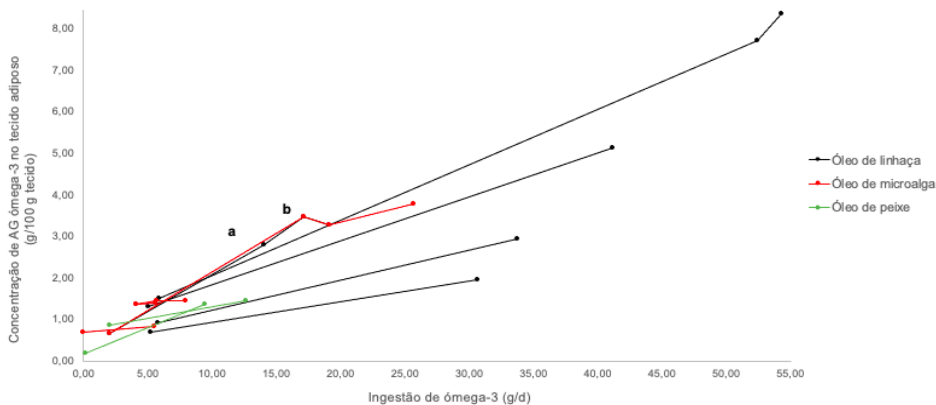
A reta “a” refere-se ao grupo experimental do ensaio de Duran-Montgé et al. (2009).

Gráfico 9. Relação entre a quantidade de AG ômega-3 na dieta (g/100 g AG) e a concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g AG).



As retas “a” e “b” referem-se a dois grupos experimentais com óleo de peixe do ensaio de Kjos et al. (1999). As retas “c” e “d” referem-se a dois grupos experimentais com óleo de linhaça utilizando machos ou fêmeas, respetivamente, do ensaio de Nuernberg et al. (2005).

Gráfico 10. Relação entre a ingestão de AG ômega-3 (g/dia) e a concentração de AG ômega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido).



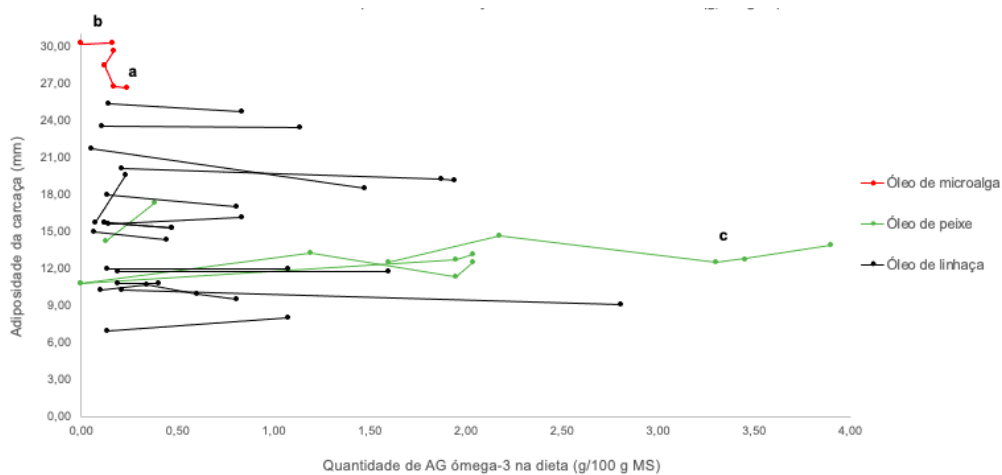
A reta “a” refere-se ao óleo de linhaça e a letra “b” ao óleo de microalga, ambas do ensaio de Tonnac and Mourot (2018).

Quanto à relação entre a quantidade de AG ômega-3 e a adiposidade da carcaça observa-se que existe uma grande variação nos valores da ordenada na origem, e que a maioria dos declives são muito baixos. Observa-se também uma elevada adiposidade nos estudos de microalga, mesmo nas dietas controlo. No estudo de Sardi et al. (2006) (gráfico 11), a adiposidade parece aumentar quando a microalga é fornecida a 2,5g/kg MS durante oito semanas antes do abate. O elevado peso vivo ao abate (160kg) dos animais neste ensaio pode justificar o elevado valor da adiposidade da carcaça. O estudo de Moran et al. (2018) forneceu 10g de microalga por kg de MS, a um grupo de 72 suínos, onde o PV ao abate foi também elevado, rondando os 140kg de PV. Assim, e como no caso anterior, os elevados valores de adiposidade poderão estar associados ao elevado PV ao abate. Hallenstvedt et al. (2012) realizaram dois ensaios, mas para esta meta-análise foi selecionado apenas o

segundo, onde utilizaram dietas com diferentes rácios de inclusão entre óleo de palma e óleo de peixe. A dieta controlo era composta por cevada e bagaço de soja, sem gordura adicionada. A primeira dieta experimental era de igual composição, com adição de 4,8 g/kg de óleo de peixe. Outras três tinham na sua composição óleo de semente de palma e óleo de peixe em rácios 39:2,5, 36:5,2 e 34:7,2. A menor inclusão de óleo de peixe gerou uma maior espessura de adiposidade. Este artigo foi também identificado no gráfico 12 por apresentar um comportamento peculiar.

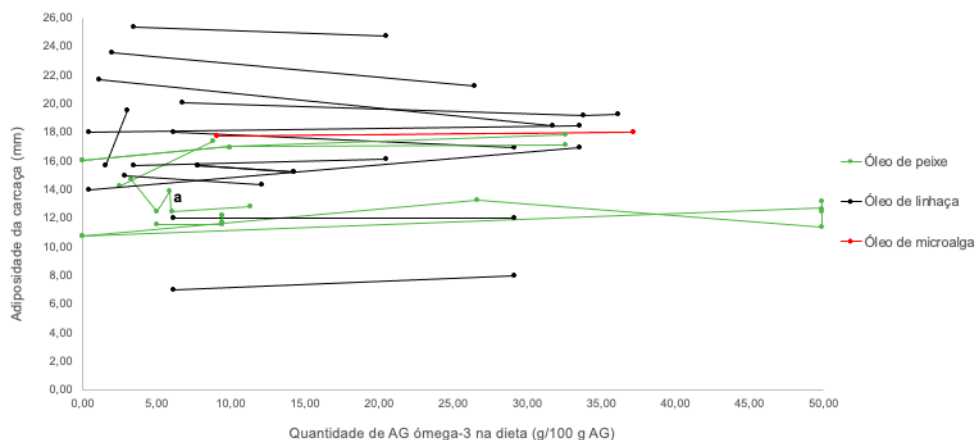
Para finalizar, observa-se numa proporção semelhante, ligeiras altera es entre as três fontes, na rela o entre a ingestão de AG  mega-3 (g/dia) e a adiposidade da carcaça (mm) (gráfico 13).

Gráfico 11. Rela o entre a quantidade de AG  mega-3 na dieta (g/100 g MS) e a adiposidade da carcaça (mm).



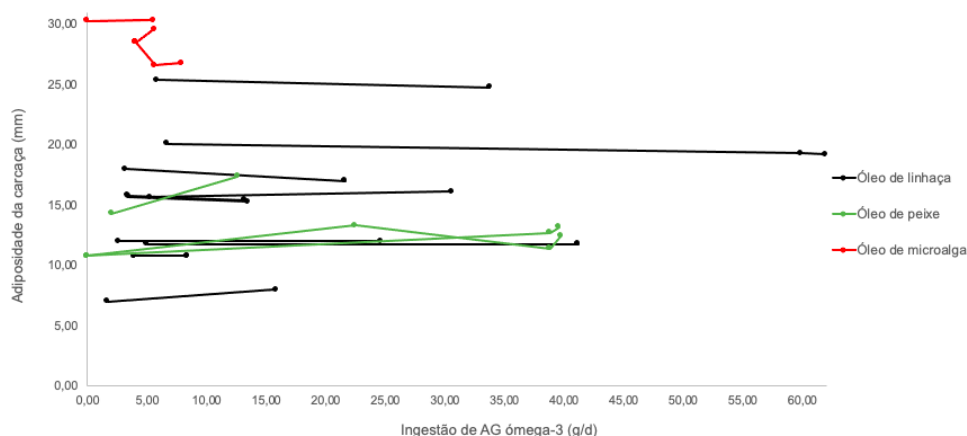
A reta "a" refere-se ao óleo de microalga do ensaio de Sardi et al. (2006). A reta "b" refere-se ao óleo de microalga do ensaio de Moran et al. (2018). A reta "c" refere-se ao óleo de peixe do ensaio de Hallenstvedt et al. (2012).

Gráfico 12. Rela o entre a quantidade de AG  mega-3 na dieta (g/100 g AG) e a adiposidade da carcaça (mm).



A reta "a" refere-se ao óleo de peixe do ensaio de Hallenstvedt et al. (2012).

Gráfico 13. Relação entre a ingestão de AG ómega-3 (g/dia) e a adiposidade da carcaça (mm).



4.3. Análise estatística

4.3.1. Primeira Etapa – Análise estatística clássica

Como referido anteriormente, nesta etapa os dados foram considerados como sendo provenientes de observações independentes logo ignorando os diferentes estudos que lhe deram origem. Através dos diagramas de dispersão entre cada par de variáveis observa-se uma grande dispersão dos dados, não se visualizando, na maior parte dos casos, uma relação linear significativa entre os diferentes pares de variáveis, apesar de existirem algumas variáveis altamente correlacionadas. A adiposidade é a variável que apresenta menor coeficiente de correlação com as diferentes variáveis predictoras. De forma geral confirma-se que o coeficiente de correlação amostral é positivo, isto é, que, em média, o aumento da variável “preditora” leva ao aumento da variável “resposta”. Observa-se também a existência de diferenças entre fontes, destacando o óleo de microalga por apresentar valores significativamente diferentes das restantes fontes.

A tabela 9 mostra os resultados da análise de RLS para todos os pares de variáveis, sem considerar o efeito do fator “fonte”. A cinzento encontram-se realçadas as regressões significativas, ou seja, aquelas que apresentam um valor de *p-value* (ao teste F de ajustamento global) inferior a 0,01. Na avaliação da qualidade dos ajustamentos (através do teste F de ajustamento global) foi previamente definido o nível de significância de 0,01 e não 0,05, como é habitual. O facto de haver várias situações experimentais com poucas observações (e.g., dietas com a utilização de microalgas) ou valores do coeficiente de determinação (R^2) muito baixos, levou à necessidade de ser mais exigente no nível de significância utilizado. É possível observar que os modelos de regressão ajustados com este método apresentaram coeficientes de determinação muito baixos e *p-value* muito elevados.

Conclui-se assim pela não existência de uma relação linear significativa entre as variáveis x e y, excetuando as relações sublinhadas na tabela 9.

A relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido) é bastante interessante por ser a única a apresentar um valor de R^2 elevado, onde 91% da variabilidade da variável resposta é explicada pela regressão linear.

Tabela 9. Resultados da regressão linear simples (sem o fator “fonte”).

| Regressão Linear Simples - lm (y~x) | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|------------|----|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| i | Y | x | n | b ₀ | b ₁ | R ² | p-value (teste F) |
| 1 | y.g.100gM | x.g.100gMS | 67 | 0,100 | 0,055 | 0,09 | 0,016 |
| 2 | y.g.100gM | x.g.100gAG | 43 | 0,023 | 0,003 | 0,51 | < 0.001 |
| 3 | y.g.100gM | x.g.dia | 43 | 0,179 | -0,002 | 0,02 | 0,383 |
| 4 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | 69 | 2,457 | 2,508 | 0,27 | < 0,001 |
| 5 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | 82 | 2,142 | 0,165 | 0,39 | < 0.001 |
| 6 | y.g.100gAG | x.g.dia | 35 | 2,281 | 0,066 | 0,12 | 0,042 |
| 7 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | 36 | 1,255 | 2,222 | 0,91 | < 0.001 |
| 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gAG | 19 | 3,004 | 0,104 | 0,06 | 0,309 |
| 9 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | 28 | 1,313 | 0,056 | 0,36 | < 0.001 |
| 10 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | 72 | 3,128 | 0,515 | 0,04 | 0,113 |
| 11 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | 77 | 2,148 | 0,124 | 0,21 | < 0.001 |
| 12 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | 37 | 3,022 | 0,028 | 0,02 | 0,358 |
| 13 | Adiposidade | x.g.100gMS | 58 | 17,584 | -1,728 | 0,07 | 0,042 |
| 14 | Adiposidade | x.g.100gAG | 54 | 15,881 | -0,010 | 0,00 | 0,780 |
| 15 | Adiposidade | x.g.dia | 39 | 17,730 | -0,051 | 0,02 | 0,440 |

i: numeração do modelo; Y: variável resposta; x: variável preditora; n: número de observações; b₀: estimativa da ordenada na origem; b₁: estimativa do declive da reta; R²: coeficiente de determinação; p-value: valor de prova do teste F de ajustamento global. Linhas a cinzento representam relações significativas entre variáveis.

Para averiguar a existência de relações lineares significativas para cada nível do fator, foram ajustadas RLS por nível do fator “fonte” (tabelas 10 a 12). Posteriormente, para os casos onde existia mais do que um nível com uma regressão linear significativa, foi efetuada uma análise de covariância (ANCOVA) para descobrir se o efeito do fator se encontrava no declive, na ordenada na origem, ou em ambos.

O número de relações não significativas permanece elevado, com valores de p-value ao teste de ajustamento global relativamente elevados. Esta análise originou alguns valores de R² elevados, onde se observam 12 relações em que mais de 90% da variabilidade é

explicada pela regressão linear. É de notar também que a relação anteriormente referida, entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido), permanece significativa nas três fontes de AG ómega-3. Neste caso, não se justifica a utilização de modelos diferenciados pois, pela análise ANCOVA, o modelo único não é significativamente diferente ($p\text{-value}=0,2875$) do modelo que prevê efeitos do fator fonte, considerando as observações independentes. Fora esta relação, não se observa mais nenhuma que seja significativa nas três fontes. O óleo de linhaça, com um maior número de observações, apresenta mais regressões significativas do que não-significativas, com valores razoáveis de R^2 , apesar de pouco elevados. O óleo de peixe apresenta algumas regressões lineares significativas, algumas também presentes noutras fontes, com valores de $p\text{-value}$ bastante inferiores a 0,01 e R^2 elevados. O óleo de microalga apresenta valores elevados de R^2 , na maior parte das relações, em parte por se tratar de um universo de observações muito pequeno (este coeficiente é de 1 em duas relações porque apenas têm duas observações).

Tabela 10. Resultados da regressão linear simples considerando o fator “fonte”: Linhaça.

| Regressão Linear Simples por nível de fonte - $\ln(y-x)$ | | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------|----|--------|--------|--------|----------------------------|
| Variáveis | | Óleo de linhaça | | | | | |
| i | Y | x | n | b_0 | b_1 | R^2 | $p\text{-value}$ (teste F) |
| 1 | y.g.100gM | x.g.100gMS | 48 | 0,025 | 0,079 | 0,64 | < 0,001 |
| 2 | y.g.100gM | x.g.100gAG | 35 | 0,028 | 0,003 | 0,47 | < 0,001 |
| 3 | y.g.100gM | x.g.dia | 28 | 0,059 | 0,001 | 0,10 | 0,106 |
| 4 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | 46 | 2,910 | 1,206 | 0,08 | 0,061 |
| 5 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | 50 | 2,261 | 0,147 | 0,35 | < 0,001 |
| 6 | y.g.100gAG | x.g.dia | 24 | 2,325 | 0,061 | 0,18 | 0,041 |
| 7 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | 17 | 1,301 | 2,274 | 0,90 | < 0,001 |
| 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gAG | 13 | 4,014 | 0,086 | 0,04 | 0,503 |
| 9 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | 13 | 0,381 | 0,125 | 0,84 | < 0,001 |
| 10 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | 40 | 2,491 | 2,547 | 0,40 | < 0,001 |
| 11 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | 36 | 1,347 | 0,261 | 0,53 | < 0,001 |
| 12 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | 22 | 2,504 | 0,133 | 0,38 | < 0,001 |
| 13 | Adiposidade | x.g.100gMS | 37 | 15,109 | -0,176 | 0,001 | 0,893 |
| 14 | Adiposidade | x.g.100gAG | 29 | 17,138 | -0,007 | 0,0005 | 0,913 |
| 15 | Adiposidade | x.g.dia | 23 | 13,498 | 0,088 | 0,11 | 0,128 |

i: numeração do modelo; Y: variável resposta; x: variável preditora; n: número de observações; b_0 : estimativa da ordenada na origem; b_1 : estimativa do declive da reta; R^2 : coeficiente de determinação; $p\text{-value}$: valor de prova do teste F de ajustamento global. Linhas a cinzento representam relações significativas entre variáveis.

Tabela 11. Resultados da regressão linear simples considerando o fator “fonte”: Peixe.

| Regressão Linear Simples por nível de fonte - $\ln(y-x)$ | | | | | | | |
|--|--------------------|------------|----|---------------|--------|--------|----------------------|
| Variáveis | | | | Óleo de peixe | | | |
| i | Y | x | n | b_0 | b_1 | R^2 | p -value (teste F) |
| 1 | y.g.100gM | x.g.100gMS | 8 | 0,005 | 0,103 | 0,99 | < 0,001 |
| 2 | y.g.100gM | x.g.100gAG | 6 | 0,003 | 0,004 | 0,94 | < 0,001 |
| 3 | y.g.100gM | x.g.dia | 4 | 0,019 | 0,001 | 0,99 | < 0,001 |
| 4 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | 19 | 1,245 | 4,655 | 0,66 | < 0,001 |
| 5 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | 32 | 1,762 | 0,210 | 0,50 | < 0,001 |
| 6 | y.g.100gAG | x.g.dia | 7 | 2,845 | -0,059 | 0,02 | 0,770 |
| 7 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | 8 | 1,315 | 1,987 | 0,95 | < 0,001 |
| 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gAG | 6 | 0,143 | 0,211 | 0,95 | < 0,001 |
| 9 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | 4 | 0,774 | 0,007 | 0,31 | 0,443 |
| 10 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | 28 | 2,843 | 0,074 | 0,00 | 0,860 |
| 11 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | 41 | 2,466 | 0,030 | 0,04 | 0,208 |
| 12 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | 11 | 1,969 | -0,021 | 0,06 | 0,471 |
| 13 | Adiposidade | x.g.100gMS | 14 | 13,010 | 0,028 | 0,0004 | 0,944 |
| 14 | Adiposidade | x.g.100gAG | 23 | 14,006 | -0,007 | 0,00 | 0,808 |
| 15 | Adiposidade | x.g.dia | 9 | 12,998 | -0,003 | 0,00 | 0,946 |

i: numeração do modelo; Y: variável resposta; x: variável preditora; n: número de observações; b_0 : estimativa da ordenada na origem; b_1 : estimativa do declive da reta; R^2 : coeficiente de determinação; p -value: valor de prova do teste F de ajustamento global. Linhas a cinzento representam relações significativas entre variáveis.

Tabela 12. Resultados da regressão linear simples considerando o fator “fonte”: Microalga.

| Regressão Linear Simples por nível de fonte - $\ln(y-x)$ | | | | | | | |
|--|--------------------|------------|----|-------------------|---------|-------|----------------------|
| Variáveis | | | | Óleo de microalga | | | |
| i | Y | x | n | b_0 | b_1 | R^2 | p -value (teste F) |
| 1 | y.g.100gM | x.g.100gMS | 11 | 0,537 | -0,563 | 0,16 | 0,220 |
| 2 | y.g.100gM | x.g.100gAG | 2 | 0,007 | 0,004 | 1,00 | - |
| 3 | y.g.100gM | x.g.dia | 11 | 0,540 | -0,017 | 0,16 | 0,220 |
| 4 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | 4 | 1,308 | 5,526 | 0,91 | 0,045 |
| 5 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | - | - | - | - | - |
| 6 | y.g.100gAG | x.g.dia | 4 | 1,237 | 0,174 | 0,93 | 0,036 |
| 7 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | 11 | 0,625 | 4,382 | 0,92 | < 0,001 |
| 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gAG | - | - | - | - | - |
| 9 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | 11 | 0,598 | 0,137 | 0,93 | < 0,001 |
| 10 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | 4 | 0,986 | 7,946 | 0,94 | 0,031 |
| 11 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | - | - | - | - | - |
| 12 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | 4 | 0,879 | 0,251 | 0,96 | 0,021 |
| 13 | Adiposidade | x.g.100gMS | 7 | 30,501 | -13,062 | 0,38 | 0,138 |
| 14 | Adiposidade | x.g.100gAG | 2 | 17,736 | 0,007 | 1,00 | - |
| 15 | Adiposidade | x.g.dia | 7 | 30,473 | -0,387 | 0,38 | 0,143 |

i: numeração do modelo; Y: variável resposta; x: variável preditora; n: número de observações; b_0 : estimativa da ordenada na origem; b_1 : estimativa do declive da reta; R^2 : coeficiente de determinação; p -value: valor de prova do teste F de ajustamento global. Linhas a cinzento representam relações significativas entre variáveis.

A análise ANCOVA permitiu verificar que a relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g MS) e a concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g M) é significativa nas RLS do óleo de linhaça e óleo de peixe. Para esta relação não foram verificadas diferenças significativas entre os parâmetros ($p\text{-value}=0,412$), pelo que apenas uma única reta seria capaz de traduzir a relação para estas duas fontes (excluindo as 11 observações referentes ao óleo de microalga): $y = 0,021 + 0,085 x$ com $R^2 = 0,71$.

A relação entre a quantidade de AG ómega-3 na dieta (g/100 g AG) e a concentração de AG ómega-3 no músculo (g/100 g M) é significativa nas RLS do óleo de linhaça e óleo de peixe. Para este caso, a análise ANCOVA permitiu concluir que a fonte não tem influência nos parâmetros desta RLS ($p\text{-value}=0,934$).

A relação entre a ingestão de AG ómega-3 por dia e a concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo (g/100 g tecido) apresenta-se significativa nas RLS do óleo de linhaça e óleo de microalga, e os seus parâmetros não são significativamente diferentes ($p\text{-value}=0,621$) quando retiradas as quatro observações referentes ao óleo de peixe. A nova reta obtida, $Y = 0,574 + 0,122 x$, apresenta uma grande melhoria no coeficiente de determinação. Utilizando apenas os dados de óleo de linhaça e microalga o R^2 é de 0,87 enquanto que, utilizando todos os pares de pontos, o valor era de 0,35 (tabela 8) mostrando o efeito negativo das quatro observações de óleo de peixe nesta relação.

A adiposidade não apresentou significância em nenhuma das regressões lineares, pelo que foi feita a análise de variância para este caso. O pequeno valor de $p\text{-value}$ do teste F aos efeitos do fator, indica que a média da adiposidade é significativamente diferente em alguns dos níveis do fator. No entanto, a comparação múltipla de pares de médias permitiu verificar que a adiposidade média nas dietas que utilizam óleo de linhaça e óleo de peixe não são significativamente diferentes ($p\text{-value}=0,999$). Só as dietas com óleo de microalga apresentaram valores de adiposidade média significativamente diferentes ($p\text{-value}<0,001$) das restantes fontes. Conclui-se então pela existência de efeitos do fator na adiposidade.

A tabela 13 resume as relações significativas obtidas nesta etapa, considerando o efeito da fonte. Observa-se que em algumas relações o efeito da fonte não foi significativo, como por exemplo nas relações com a adiposidade. A adiposidade, por não apresentar declives significativos, também a relação com a variável x não é significativa.

Como, mais uma vez, esta não é a análise adequada a este conjunto de dados, não foi tida em atenção a verificação das hipóteses do modelo.

Tabela 13. Análise-resumo das relações significativas da análise clássica.

| Variáveis | | | Análise clássica | | | | |
|-----------|--------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| i | Y | x | Fonte | b ₀ | IC | b ₁ | IC |
| 1.1 | y.g.100gM | x.g.100gMS | Linhaça | 0,021 | [-0,001;0,042] | 0,085 | [0,070;0,010] |
| 1.2 | | | Peixe | | | | |
| 2 | y.g.100gM | x.g.100gAG | Sem fonte | 0,023 | [0,001;0,045] | 0,003 | [0,002;0,005] |
| 3 | y.g.100gM | x.g.dia | Peixe | 0,019 | [0,013;0,025] | 0,0006 | [0,0005;0,0008] |
| 4 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | Peixe | 1,245 | [-0,243;2,732] | 4,655 | [2,928;6,382] |
| 5 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | Sem fonte | 2,142 | [1,383;2,901] | 0,165 | [0,119;0,211] |
| 6 | y.g.100gAG | x.g.dia | Sem fonte | 3,070 | [2,384;3,756] | - | - |
| 7 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | Sem fonte | 1,255 | [0,870;1,640] | 2,222 | [1,975;2,469] |
| 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gAG | Peixe | 0,143 | [-0,630;0,915] | 0,211 | [0,147;0,276] |
| 9.1 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | Linhaça | 0,574 | [0,099;1,049] | 0,122 | [0,101;0,144] |
| 9.2 | | | Microalga | | | | |
| 10 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | Linhaça | 2,491 | [1,676;3,307] | 2,547 | [1,523;3,571] |
| 11 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | Linhaça | 1,347 | [-0,338;3,033] | 0,261 | [0,175;0,347] |
| 12 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | Linhaça | 2,504 | [1,314;3,694] | 0,133 | [0,054;0,213] |
| 13 | | | Linhaça | 15,270 | [13,90;16,60] | - | - |
| 14 | Adiposidade | - | Microalga | 26,270 | [23,10;29,40] | - | - |
| 15 | | | Peixe | 15,240 | [13,40;17,10] | - | - |

i: numeração do modelo; Y: variável resposta; x: variável preditora; b₀: estimativa da ordenada na origem; b₁: estimativa do declive da reta; IC: intervalo de confiança a 95% para os parâmetros estimados.

4.3.2. Segunda Etapa – Análise com Modelos Mistos

Após o ajustamento e aplicação do algoritmo de exclusão sequencial ao modelo linear misto mais completo que se pode aplicar, o resumo dos modelos mais simples obtidos são apresentados na tabela 14. A tabela completa é apresentada em anexo (anexo III).

Os valores de sigma referem-se à estimativa do desvio padrão dos erros aleatórios (σ). O ideal seria que a variabilidade associada aos *papers* (σ_1^2 e σ_2^2) fosse menor do que a variabilidade não explicada pelo modelo (σ^2), também intitulada como variabilidade interna dos *papers*. O mesmo não acontece na maior parte dos modelos ajustados.

Um valor elevado e positivo de correlação entre os efeitos aleatórios da ordenada na origem e do declive, sugere que quando a ordenada na origem aumenta, aumenta também o declive. Em todos os modelos os efeitos aleatórios foram significativos, isto é, as relações lineares obtidas entre os diferentes pares de variáveis (x, y) diferem significativamente entre *papers*. Indicando que as ordenadas na origem (as dietas controlo) são relevantes para os modelos, assim como os declives (aumento da deposição de AG ómega-3 devido à suplementação). Em seis dos modelos o efeito aleatório na ordenada na origem foi

meramente aditivo, indicando que o efeito aleatório da variável preditora (x) não está dependente do estudo (*paper*). Pelo contrário, em apenas um modelo este efeito aleatório se faz sentir apenas no declive, e nos restantes oito casos, é significativo no declive e na ordenada na origem, indicando que o declive da relação linear de Y sobre x é dependente do estudo, ou seja, de outras variáveis não identificadas (Sauvant et al. 2008). No que diz respeito aos efeitos fixos, verificou-se o efeito do fator “fonte” nos modelos 13 e 15, significando que a resposta da inclusão de AG ómega-3, consoante a fonte, não foi significativamente diferente nas restantes 13 relações entre variáveis. Nos dois modelos referidos, a inclusão de óleo de microalga mostrou-se significativamente diferente das outras duas fontes. A relação linear com as variáveis preditoras (x) não se mostrou significativa nos modelos que envolveram a adiposidade da carcaça (modelo 13 a 15), mostrando a não existência de uma relação entre o fornecimento de AG ómega-3 aos suínos e a alteração na espessura do toucinho do suíno. O mesmo se verifica nos modelos 6, 8 e 12. Nestes casos, o modelo corresponde a uma análise de variância, pelo que o valor de b_0 é a média do primeiro nível do fator. Os declives fazem-se sentir nos modelos 1 a 5, 7, e 9 a 11. Apresentam-se positivos, como esperado, variando entre praticamente nulo (modelo 2) e cerca de 4 (modelo 4).

De acordo com os pressupostos dos modelos, deveria existir homogeneidade das variâncias dos erros aleatórios e o ideal seria os valores ajustados de y serem semelhantes aos valores observados de y (ou seja, distribuírem-se próximo da reta 1:1). Além disso, os erros aleatórios, assim como os efeitos aleatórios, deveriam seguir uma distribuição normal. O pressuposto da homogeneidade da variância dos erros aleatórios parece estar a ser violado em alguns modelos, no entanto, é possível assumir uma homogeneidade geral. Os erros aleatórios, assim como os efeitos aleatórios, seguem, em geral, uma distribuição normal. A maior parte dos modelos apresentam uma boa relação entre os valores de Y ajustados e os observados. No anexo IV podem ser observados os gráficos referentes ao modelo 5 que atuam como um exemplo dos gráficos para os restantes modelos.

Tabela 14. Resultados da primeira análise utilizando modelos mistos.

| i | n | p | Y | x | Fonte | Efeitos fixos | | | |
|------|----|----|--------------------|------------|-----------|----------------|-------|----------------|--------|
| | | | | | | b ₀ | SE | b ₁ | SE |
| 1 | 67 | 19 | y.g.100gM | x.g.100gMS | - | 0,058 | 0,030 | 0,136 | 0,052 |
| 2 | 43 | 15 | y.g.100gM | x.g.100gAG | - | 0,019 | 0,004 | 0,004 | 0,0006 |
| 3 | 43 | 12 | y.g.100gM | x.g.dia | - | 0,073 | 0,051 | 0,006 | 0,002 |
| 4 | 69 | 19 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | - | 1,285 | 0,345 | 4,637 | 0,916 |
| 5 | 82 | 25 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | - | 1,526 | 0,280 | 0,197 | 0,026 |
| 6 | 35 | 9 | y.g.100gAG | x.g.dia | - | 1,242 | 0,214 | - | - |
| 7 | 36 | 9 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | - | 0,689 | 0,111 | 3,173 | 0,421 |
| 8 | 19 | 6 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gAG | - | 0,488 | 0,347 | - | - |
| 9 | 28 | 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | - | 0,601 | 0,098 | 0,091 | 0,020 |
| 10 | 72 | 18 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | - | 1,158 | 0,206 | 5,008 | 0,828 |
| 11 | 77 | 22 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | - | 1,045 | 0,194 | 0,233 | 0,032 |
| 12 | 37 | 8 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | - | 1,285 | 0,359 | - | - |
| 13.1 | | | | | Linhaça | 15,946a | 1,224 | - | - |
| 13.2 | 58 | 16 | Adiposidade | x.g.100gMS | Microalga | 29,106b | 3,162 | - | - |
| 13.3 | | | | | Peixe | 12,819a | 2,657 | - | - |
| 14 | 54 | 15 | Adiposidade | x.g.100gAG | - | 16,221 | 0,913 | - | - |
| 15.1 | | | | | Linhaça | 15,095a | 1,510 | - | - |
| 15.2 | 39 | 10 | Adiposidade | x.g.dia | Microalga | 29,068b | 3,051 | - | - |
| 15.3 | | | | | Peixe | 13,801a | 3,032 | - | - |

i: numeração do modelo; n: número de observações; p: número de *papers*; Y: variável resposta; x: variável preditora; b₀: estimativa da ordenada na origem; b₁: estimativa do declive da reta; SE: erro padrão (*standard error*); Letras diferentes indicam estimativas significativamente diferentes (ao nível 0,05).

4.3.3. Terceira etapa – Análise com Modelos Mistos com heteroscedasticidade dos erros aleatórios

O resumo dos modelos mais simples obtidos é apresentado na tabela 15, sendo a tabela completa apresentada em anexo (anexo V). Ao analisar os resultados obtidos, é de notar a redução de ensaios envolvidos nos novos modelos ajustados, assim como a redução do número de modelos. Por apresentarem uma quantidade bastante reduzida de observações, não foi possível ajustar os modelos nº2,3,8 e 9. A nova variável, período, foi relevante em três modelos (1, 14 e 15), mostrando existir uma relação entre a duração do fornecimento de AG ómega-3 ao suíno e a deposição nos seus tecidos. Relação esta negativa no primeiro modelo, isto é, por cada dia adicional de suplementação a concentração no músculo diminui em média 28 mg/100 g de tecido. No entanto, este modelo apresenta um

valor muito pequeno de observações, referindo-se apenas a três artigos científicos, não sendo, portanto, muito significativo. Esta relação não se traduz na prática por não existir uma relação com a variável x. De referir também que no modelo 7 (g/100 g AG de tecido adiposo vs g/100 g MS) verifica-se que os efeitos aleatórios não foram significativos, resultando a relação entre as variáveis numa regressão linear simples.

A análise gráfica para validação dos pressupostos dos modelos permitiu constatar que as principais hipóteses, em particular a normalidade dos erros e efeitos aleatórios, não deverão estar a ser violadas. Os modelos, em geral, apresentam uma boa relação entre os valores de Y ajustados e os observados, indicando que os modelos nesta etapa estão melhor ajustados, apesar de contarem com menos observações. No anexo VI podem ser observados os gráficos referentes ao modelo 5 que atuam como um exemplo dos gráficos para os restantes modelos.

Tabela 15. Resultados da segunda análise utilizando modelos mistos.

| i | n | p | Y | x | Fonte | Efeitos fixos | | | | | |
|------|----|----|--------------------|------------|-----------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | | | | b ₀ | SE | b ₁ | SE | b ₂ | SE |
| 1 | 10 | 3 | y.g.100gM | x.g.100gMS | Linhaça | 0,034 | 0,008 | - | - | | |
| | | | | | Microalga | 0,093 | 0,008 | - | - | -0,028 | 0,007 |
| | | | | | Peixe | 0,022 | 0,016 | - | - | | |
| 4 | 34 | 11 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | - | 1,732 | 0,424 | 3,590 | 0,714 | - | - |
| 5 | 36 | 13 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | - | 1,293 | 0,367 | 0,200 | 0,032 | - | - |
| 6 | 16 | 5 | y.g.100gAG | x.g.dia | - | 1,567 | 0,236 | - | - | - | - |
| 7 | - | - | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | - | 0,591 | 0,056 | 2,189 | 0,123 | - | - |
| 10 | 25 | 8 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | - | 1,295 | 0,361 | 4,900 | 1,139 | - | - |
| 11 | 34 | 12 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | - | 0,902 | 0,168 | 0,247 | 0,044 | - | - |
| 12 | 17 | 4 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | - | 1,625 | 0,585 | - | - | - | - |
| 13.1 | | | | | Linhaça | 15,000 | 1,360 | - | - | | |
| 13.2 | 42 | 11 | Adiposidade | x.g.100gMS | Microalga | 29,100 | 2,370 | - | - | - | - |
| 13.3 | | | | | Peixe | 12,900 | 2,750 | - | - | | |
| 14 | 42 | 12 | Adiposidade | x.g.100gAG | - | 11,531 | 2,018 | - | - | 0,060 | 0,022 |
| 15.1 | | | | | Linhaça | 16,73 | 2,880 | - | - | | |
| 15.2 | 30 | 7 | Adiposidade | x.g.dia | Microalga | 30,690 | 3,350 | - | - | 0,106 | 0,019 |
| 15.3 | | | | | Peixe | 8,090 | 3,610 | - | - | | |

i: numeração do modelo; n: número de observações; p: número de *papers*; Y: variável resposta; x: variável preditora; b₀: estimativa da ordenada na origem; b₁: estimativa do declive da reta; b₂: estimativa do coeficiente associado à variável "período" (dias); SE: erro padrão (*standard error*).

4.3.4. Quarta etapa – Análise das etapas anteriores

Na tabela 16 encontram-se os valores significativos das relações apresentadas anteriormente, relativos aos declives das retas obtidas através das diferentes metodologias utilizadas. Em geral, os valores obtidos através das três metodologias são semelhantes, destacando-se o modelo 10 por apresentar um valor na análise clássica consideravelmente diferente dos restantes. Apenas os valores deste modelo, na análise clássica, se encontram fora do intervalo de confiança dos valores obtidos através dos modelos mistos, no entanto, os intervalos de confiança intersejam-se. A semelhança entre metodologias indica que a análise clássica não se encontra tão afastada da realidade como se poderia esperar e que a terceira etapa não causou tantas alterações como previsto, mas suficientes para melhorar a qualidade dos modelos. Por não existirem valores significativos de adiposidade esta não foi incluída na análise da tabela 16. A segunda análise com modelos mistos destaca-se pelo reduzido número de modelos em que há efeitos fixos associados à variável x (declive), comparativamente à primeira análise com modelos mistos, assim como o reduzido número de observações (devido à falta de informação nos *papers* do erro padrão das médias, SEM). A validade dos pressupostos dos modelos, na segunda análise com modelos mistos, apresentou uma qualidade de ajustamento superior aos modelos da primeira análise de modelos mistos, sugerindo que o segundo fornece melhores dados para as relações entre variáveis.

Tabela 16. Comparação dos declives obtidos através das diferentes metodologias.

| i | Y | x | Análise Clássica | | | Análise 1 Modelos mistos | | Análise 2 Modelos mistos | |
|-----|--------------------|------------|------------------|----------------|----------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| | | | Fonte | b ₁ | IC | b ₁ | IC | b ₁ | IC |
| 1.1 | y.g.100gM | x.g.100gMS | Linhaça | 0,085 | [0,070;0,100] | 0,136 | [0,031;0,247] | - | - |
| 1.2 | | | Peixe | | | | | | |
| 2 | y.g.100gM | x.g.100gAG | - | 0,003 | [0,002;0,005] | 0,004 | [0,003;0,005] | - | - |
| 3 | y.g.100gM | x.g.dia | Peixe | 0,001 | [0,0005;0,001] | 0,006 | [0,001;0,012] | - | - |
| 4 | y.g.100gAG | x.g.100gMS | Peixe | 4,655 | [2,928;6,382] | 4,637 | [2,828;6,645] | 3,59 | [2,191;4,989] |
| 5 | y.g.100gAG | x.g.100gAG | - | 0,165 | [0,119;0,211] | 0,197 | [0,145;0,250] | 0,200 | [0,137;0,263] |
| 6 | y.g.100gAG | x.g.dia | - | - | - | - | - | - | - |
| 7 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gMS | - | 2,222 | [1,975;2,469] | 3,173 | [2,313;4,019] | 2,189 | [1,905;2,473] |
| 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gAG | Peixe | 0,211 | [0,147;0,276] | - | - | - | - |
| 9.1 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | Linhaça | 0,122 | [0,101;0,144] | 0,091 | [0,050;0,132] | - | - |
| 9.2 | | | Microalga | | | | | | |
| 10 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gMS | Linhaça | 2,547 | [1,523;3,571] | 5,008 | [3,355;6,687] | 4,900 | [2,668;7,131] |
| 11 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gAG | Linhaça | 0,261 | [0,175;0,347] | 0,233 | [0,170;0,296] | 0,247 | [0,161;0,334] |
| 12 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | Linhaça | 0,133 | [0,054;0,213] | - | - | - | - |

i: número do modelo; Y: variável resposta; x: variável preditora; b₁: estimativa do declive da reta; IC: intervalo de confiança a 95% para os parâmetros estimados.

Como consta na segunda análise de modelos mistos, por cada g adicional de AG ω -3 em g/100g MS de alimento composto, a concentração de AG ω -3 é esperada aumentar 3,59 g/100 g AG no músculo, 4,90 g/100 g AG no tecido adiposo e 2,189 g/100 g de tecido adiposo. No total de AG do alimento composto, é esperado aumentar 200 mg/100 g AG de músculo e 247 mg/100 g AG de tecido adiposo. Com esta metodologia não houve declives dependentes da fonte de AG ω -3, portanto os cinco resultados apresentados, idealmente, podem ser obtidos através de qualquer uma das fontes apresentadas.

Concluiu-se que a adiposidade da carcaça não tem uma relação linear com o fornecimento de AG ω -3 e a sua alteração é mínima, por vezes positiva, outras vezes negativa, estando mais dependente de fatores externos.

Para os valores dos conjuntos de variáveis que não foram apresentados na segunda análise com modelos mistos, podem ser considerados os valores da primeira análise com modelos mistos.

A ingestão (humana) mínima diária de AG ω -3 é de 0,50% da energia ingerida (FAO 2010). Considerando uma ingestão média diária, em adultos, de 2000 kcal, e que em cada grama de gordura existem cerca de 9 kcal, os tais 0,50% poderão ser traduzidos em 1,11 g AG. Logo, para tentar obter 1,11 g AG ω -3 através de uma refeição com carne de suíno (assumindo uma ingestão de 100g de carne), esta deveria conter pelo menos 1,11 g AG ω -3 /100 g de músculo. Tal seria possível se o suíno ingerisse cerca de 185 g AG ω -3/dia. Este valor não foi alcançado através de nenhum ensaio presente na base de dados, no entanto, Dannenberger et al. (2012) obtiveram uma ingestão de 61,91 g/dia ao fornecer 41,40 g/kg de óleo de linhaça (/kg alimento composto), resultando em cerca de 33,50% da ingestão mínima diária de AG ω -3. Isto mostra que a carne de suíno, embora seja possível aumentar a sua concentração de AG ω -3, não é suficiente para preencher os requisitos recomendados, tendo ainda assim uma contribuição positiva neste sentido.

Para a recomendação diária de ingestão de EPA e DHA de aproximadamente 300 mg/d (FAO 2010), a carne de suíno deveria conter pelo menos 0,300 g AG ω -3 /100 g de músculo. Tal seria possível se o suíno ingerisse cerca de 50 g AG ω -3/dia. Como no caso anterior, este valor não foi atingido em nenhum ensaio desta base de dados, no entanto, Kjos et al. (1999) conseguiram uma ingestão de cerca de 40 g/dia através da inclusão de pelo menos 5,5 g/kg de óleo de peixe. É de realçar a sugestão de evitar esta suplementação perto do abate dos animais para não existir o risco de alteração do sabor da carne (Lauridsen et al. 1999). Esta recomendação é para fontes diretas de EPA e DHA, excluindo assim o óleo de linhaça, sendo fornecedor do precursor ALA (Enser et al. 2000; Kouba et al. 2003).

Quanto mais AG ω -3 for incluído na dieta, é importante ter atenção à quantidade de antioxidantes utilizada (como α -tocoferol e β -caroteno), de modo a não existir oxidação lipídica dentro do prazo de validade estipulado do produto (Mitsumoto et al. 1991).

Segundo Whittimore e Kyriazakis (2006), a concentração de PUFA's é superior no músculo do que no tecido adiposo, contudo, verifica-se que o tecido adiposo revela uma melhor resposta à suplementação ao apresentar uma maior deposição de AG ómega-3.

5. Conclusões e perspectivas

A elaboração desta dissertação visou quantificar a resposta do suíno na deposição de AG ómega-3, quando incluídas no alimento compostas fontes de AG ómega-3 como o óleo de linhaça, óleo de peixe e óleo de microalga, tomando em consideração a informação recolhida confirmando o efeito positivo desta deposição. A análise clássica, utilizando modelos lineares, mostrou que, em grande parte das relações, os resultados da regressão linear não foram afetados pela fonte de AG ómega-3. Com a primeira metodologia dos modelos mistos, o efeito da fonte mostrou ser significativo apenas em quatro relações. Em geral, observou-se uma semelhança entre os resultados do óleo de linhaça e do óleo de peixe. Os declives da concentração de AG ómega-3 no tecido adiposo são superiores aos da concentração no músculo, e o declive da adiposidade é praticamente nulo. Com a segunda metodologia utilizando modelos mistos verificou-se uma redução elevada da quantidade de modelos, assim como do número de observações. Os resultados aparentam ser semelhantes à primeira metodologia com modelos mistos apresentando, no entanto, uma qualidade de ajustamento bastante superior. Esta última metodologia sugere que, por cada g adicional de AG ómega-3 em 100g AG de alimento composto, a concentração de AG ómega-3 aumenta, em média, 200 mg/100 g AG de músculo e 247 mg/100 g AG de tecido adiposo.

Outro aspeto a analisar futuramente é a deposição individual de AG ómega-3 nos tecidos do suíno, visto que fontes como a linhaça terão mais AG de cadeia longa na sua composição, e fontes como o peixe terão mais AG de cadeia mais longa. Neste caso, seria favorável uma deposição de AG de cadeia mais longa visto que são aqueles mais benéficos à saúde humana (FAO 2010).

6. Referências bibliográficas

Abril R, Garrett J, Zeller SG, Sander WJ, Mast RW. 2003. Safety assessment of DHA-rich microalgae from *Schizochytrium* sp. Part V: Target animal safety/toxicity study in growing swine. *Regul Toxicol Pharmacol.* 37(1):73–82. doi:10.1016/S0273-2300(02)00030-2.

Adzitey F, Nurul H. 2011. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: Causes and measures to reduce these incidences - a mini review. *Int Food Res J.* 18(1):11–20.

Ayerza R, Coates W. 2009. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and α -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Ind Crops Prod.* 30(2):321–324. doi:10.1016/j.indcrop.2009.03.009.

Ayerza R. 1995. Oil content and fatty acid composition of Chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. *J Am Oil Chem Soc.* 72(9):1079–1081. doi:10.1007/bf02660727. <https://doi.org/10.1007/BF02660727>.

Barowicz T, Brzóška F, Pietras M. 2000. Hypocholesterolemic effect of fat feed in the diets of growing pigs. *Med Weter.* 56(11):746–749.

Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture.* 422–423:193–201. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.12.024.

Bates D, Mächler M, Bolker BM, Walker SC. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J Stat Softw.* 67(1). doi:10.18637/jss.v067.i01.

Bečková R, Václavková E. 2010. The effect of linseed diet on carcass value traits and fatty acid composition in muscle and fat tissue of fattening pigs. *Czech J Anim Sci.* 55(8):313–320. doi:10.17221/197/2009-cjas.

Benz J. M., Tokach M. D., Dritz S. S., Nelssen J. L., DeRouchey J. M., Sulabo R. C. GRD. 2011. Effects of choice white grease and soybean oil on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of growing-finishing pigs. *J Anim Sci.* 89(2):404–413. doi:10.2527/jas.2009-2737.

Bessa, Rui. 2019. Valor nutritivo do leite. UC Tecnologia de Produção Animal-Leite. FMV-ULisboa.

Boler DD, Gabriel SR, Yang H, Balsbaugh R, Mahan DC, Brewer MS, McKeith FK, Killefer J. 2009. Effect of different dietary levels of natural-source vitamin E in grow-finish pigs on pork quality and shelf life. *Meat Sci.* 83(4):723–730. doi:10.1016/j.meatsci.2009.08.012.

Brody Tom. 1999. Vitamins. Em: BRODY TOMBT-NB (Second E, editor. San Diego: Academic Press: 491–692. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780121348366500123>.

Bryhni EA, Kjos NP, Ofstad R, Hunt MC. 2002. Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: Effects on fatty acid composition and meat, fat, and sausage quality. *Meat Sci.* 62:1–8. doi:10.1016/S0309-1740(01)00211-X.

Cadima, Jorge. 2009. Análise de Covariância. Apontamentos de Estatística e Delineamento. Secção de matemática (DCEB). ISA-ULisboa.

Cadima, Jorge. 2018a. O Modelo Linear. Apontamentos de Estatística e Delineamento. Secção de matemática (DCEB). ISA-ULisboa.

Cadima, Jorge. 2018b. Análise de variância (ANOVA). Apontamentos de Estatística e Delineamento. Secção de matemática (DCEB). ISA-ULisboa.

Calder PC. 2006. Polyunsaturated fatty acids and inflammation. *Prostaglandins Leukot Essent Fat Acids*. 75(3):197–202. doi:10.1016/j.plefa.2006.05.012.

Calder PC. 2015. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochim Biophys Acta - Mol Cell Biol Lipids*. 1851(4):469–484. doi:10.1016/j.bbalip.2014.08.010.

Červek M, Geister M, Prevolnik M, Škrlep M, Ocepek M, Brus M, Gungl M, Abraham-Panič Z, Čandek-Potokar M, Škorjanc D. 2011. Effect of linseed supplementation on carcass, meat quality and fatty acid composition in pigs. *Agric Conspec Sci*. 76(3):183–186.

Chiu S, Williams PT, Dawson T, Bergman RN, Stefanovski D, Watkins SM, Krauss RM. 2014. Diets high in protein or saturated fat do not affect insulin sensitivity or plasma concentrations of lipids and lipoproteins in overweight and obese adults. *J Nutr*. 144(11):1753–1759. doi:10.3945/jn.114.197624.

Corino C, Musella M, Mourot J. 2008. Influence of extruded linseed on growth, carcass composition, and meat quality of slaughtered pigs at one hundred ten and one hundred sixty kilograms of liveweight. *J Anim Sci*. 86(8):1850–1860. doi:10.2527/jas.2007-0155.

Crombie IK, Davies HT. 2009. What is meta-analysis? *Evid Based Nurs*. Dannenberger D, Nuernberg K, Nuernberg G, Priepke A. 2012. Different dietary protein and PUFA interventions alter the fatty acid concentrations, but not the meat quality, of porcine muscle. *Nutrients*. 4(9):1237–1246. doi:10.3390/nu4091237.

Dannenberger D, Nuernberg K, Nuernberg G, Priepke A. 2014. Impact of dietary protein level and source of polyunsaturated fatty acids on lipid metabolism-related protein expression and fatty acid concentrations in porcine tissues. *J Agric Food Chem*. 62(51):12453–12461. doi:10.1021/jf504699a.

Dariush M, Rimm EB. 2006. Fish Intake, Contaminants, and Human Health. *Am Med Assoc*. 296(15):1885–1900. doi:10.1001/jama.296.15.1885.

Delgado C, Rosegrant M, Wada N. 2003. Meating and milking global demand: stakes for small-scale farmers in developing countries. 13–23.

Demidenko E. 2013. *Mixed Models: Theory and Applications with R*. John Wiley & Sons, Incorporated (Wiley series in probability and statistics). https://books.google.pt/books?id=8F_IrQEACAAJ.

Ding ST, Lapillonne A, Heird WC, Mersmann HJ. 2003. Dietary fat has minimal effects on fatty acid metabolism transcript concentrations in pigs. *J Anim Sci*. 81(2):423–431. doi:10.2527/2003.812423x.

Dordević V, Dordević J, Baltić Z. M, Laudanović M, Teodorović V, Bošković M, Peuraca M, Marković R. 2016. Effect of sunflower, linseed and soybean meal in pig diet on chemical composition, fatty acid profile of meat and backfat, and its oxidative stability. *Acta Vet Brno*. 66(3):359–372. doi:10.1515/acve-2016-0031.

Dubois V, Breton S, Linder M, Fanni J, Parmentier M. 2007. Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. *Eur J Lipid Sci Technol*. 109(7):710–732. doi:10.1002/ejlt.200700040.

Duran-Montgé P, Theil PK, Lauridsen C, Esteve-Garcia E. 2009. Fat metabolism is regulated by altered gene expression of lipogenic enzymes and regulatory factors in liver and adipose tissue but not in semimembranosus muscle of pigs during the fattening period. *Animal*. 3(11):1580–1590. doi:10.1017/S1751731109990450.

Enser M, Richardson RI, Wood JD, Gill BP, Sheard PR. 2000. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork: Fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages. *Meat Sci*. 55(2):201–212. doi:10.1016/S0309-1740(99)00144-8.

FAO. 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. FAO Food and nutrition paper 91. ISSN 0254-4725.

FAOSTAT. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics [internet]. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> [accessed 2020 01 Sep].

Ferguson LR. 2010. Meat and cancer. *Meat Sci*. 84(2):308–313. doi:10.1016/j.meatsci.2009.06.032.

Flachowsky G, Schulz E, Kratz R, Glodek P. 2008. Effects of different dietary fat sources on the fatty acid profile of backfat and intramuscular fat of pigs of various sire breeds. *J Anim Feed Sci*. 17(3):363–371. doi:10.22358/jafs/66619/2008.

Fontanillas R, Barroeta A, Baucells MD, Guardiola F. 1998. Backfat Fatty Acid Evolution in Swine Fed Diets High in Either cis-Monounsaturated, trans, or (n-3) Fats. *J Anim Sci*. 76(4):1045–1055. doi:10.2527/1998.7641045x.

Gessner DK, Gröne B, Couturier A, Rosenbaum S, Hillen S, Becker S, Erhardt G, Reiner G, Ringseis R, Eder K. 2015. Dietary fish oil inhibits pro-inflammatory and ER stress signalling pathways in the liver of sows during lactation. *PLoS One*. 10(9):1–20. doi:10.1371/journal.pone.0137684.

Gjerlaug-Enger E, Haug A, Gaarder M, Ljøkjel K, Stenseth RS, Sigfridson K, Egelanddal B, Saarem K, Berg P. 2015. Pig feeds rich in rapeseed products and organic selenium increased omega-3 fatty acids and selenium in pork meat and backfat. *Food Sci Nutr*. 3(2):120–128. doi:10.1002/fsn3.182.

Gray JT, Fedorka-Cray PJ, Stabel TJ, Kramer TT. 1996. Natural transmission of *Salmonella choleraesuis* in swine. *Appl Environ Microbiol*. 62(1):141–146. doi:10.1128/aem.62.1.141-146.1996.

Grela ER, Matras J, Pisarski RK, Sobolewska S. 2012. The effect of supplementing organic diets with fish meal and premix on the performance of pigs and some meat and blood characteristics. *Pol J Vet Sci*. 15(2):379–386. doi:10.2478/v10181-012-0057-8.

Guillevic M, Kouba M, Mourot J. 2009. Effect of a linseed diet on lipid composition, lipid peroxidation and consumer evaluation of French fresh and cooked pork meats. *Meat Sci*. 81(4):612–618. doi:10.1016/j.meatsci.2008.10.019.

Guimarães J, Amaral R, Santos MF, Santos LMA. 2009. Colheita, identificação e conservação de microalgas. ACOI, Algoteca do Departamento de Botânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Haak L, De Smet S, Fremaut D, Van Walleghem K, Raes K. 2008. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *J Anim Sci.* 86(6):1418–1425. doi:10.2527/jas.2007-0032.

Hackney C, Furness D. 2015. Introducing the cell: the unit of life. Em: Orchard G, Nation B, editores. *Cell Structure & Function.* p. 1–45.

Hallenstvedt E, Kjos NP, Øverland M, Thomassen M. 2012. Changes in texture, colour and fatty acid composition of male and female pig shoulder fat due to different dietary fat sources. *Meat Sci.* 90(3):519–527. doi:10.1016/j.meatsci.2011.08.009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.08.009>.

Hallenstvedt E, Kjos NP, Rehnberg AC, Øverland M, Thomassen M. 2010. Fish oil in feeds for entire male and female pigs: Changes in muscle fatty acid composition and stability of sensory quality. *Meat Sci.* 85(1):182–190. doi:10.1016/j.meatsci.2009.12.023.

Heird WC, Lapillonne A. 2005. The role of essential fatty acids in development. *Annu Rev Nutr.* 25(1):549–571. doi:10.1146/annurev.nutr.24.012003.132254. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.24.012003.132254>.

Heuer B, Yaniv Z, Ravina I. 2002. Effect of late salinization of chia (*Salvia hispanica*), stock (*Matthiola tricuspidata*) and evening primrose (*Oenothera biennis*) on their oil content and quality. *Ind Crop Prod.* 15(2):162–167. doi:10.1016/S0926-6690(01)00107-8. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00107-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00107-8).

Huang FR, Zhan ZP, Luo J, Liu ZX, Peng J. 2008. Duration of dietary linseed feeding affects the intramuscular fat, muscle mass and fatty acid composition in pig muscle. *Livest Sci.* 118(1–2):132–139. doi:10.1016/j.livsci.2008.01.002.

Hughes L. 2000. Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? *Trends Ecol Evol.* 15(2):56–61. doi:10.1016/S0169-5347(99)01764-4.

Hugo A, Roodt E. 2007. Significance of porcine fat quality in meat technology: A review. *Food Rev Int.* 23(2):175–198. doi:10.1080/87559120701225037.

INE. Edição 2019. Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas agrícolas 2018. ISSN 0079-4139. ISBN 978-989-25-0495-7.

INE. 2020. Instituto Nacional de Estatística. Boletim Mensal da Agricultura e Pescas. Setembro 2020. Agricultura, floresta e pescas. ISSN 1647-1040.

Innes JK, Calder PC. 2018. The differential effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on cardiometabolic risk factors: A systematic review. *Int J Mol Sci.* 19(2). doi:10.3390/ijms19020532. www.mdpi.com/journal/ijms.

Innis SM. 1991. Essential fatty acids in growth and development. *Prog Lipid Res.* 30(1):39–103. doi:10.1016/0163-7827(91)90006-Q.

Jaturasitha S, Khiaosa-ard R, Pongpiachan P, Kreuzer M. 2009. Early deposition of n-3 fatty acids from tuna oil in lean and adipose tissue of fattening pigs is mainly permanent. *J Anim Sci.* 87(2):693–703. doi:10.2527/jas.2008-0863.

Juárez M, Dugan MER, Aldai N, Aalhus JL, Patience JF, Zijlstra RT, Beaulieu AD. 2011. Increasing omega-3 levels through dietary co-extruded flaxseed supplementation

negatively affects pork palatability. *Food Chem.* 126(4):1716–1723. doi:10.1016/j.foodchem.2010.12.065.

Julibert A, Bibiloni MDM, Mateos D, Angullo E, Tur JA. 2019. Dietary fat intake and metabolic syndrome in older adults. *Nutrients.* 11(8):1–16. doi:10.3390/nu11081901.

Kalbe C, Priepke A, Nürnberg G, Dannenberger D. 2019. Effects of long-term microalgae supplementation on muscle microstructure, meat quality and fatty acid composition in growing pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 103(2):574–582. doi:10.1111/jpn.13037.

Karolyi D, Rimac D, Salajpal K, Kljak K, Štoković I. 2012. The influence of dietary linseed on alpha-linolenic acid and its longer-chain n-3 metabolites content in pork and back fat. *Vet Arh.* 82(4):327–339.

Kjos NP, Skrede A, ØVerland M. 1999. Effects of dietary fish silage and fish fat on growth performance and sensory quality of growing-finishing pigs. *Can J Anim Sci.* 79(2):139–147. doi:10.4141/A98-091.

Kloareg M, Noblet J, van Milgen J. 2007. Deposition of dietary fatty acids, de novo synthesis and anatomical partitioning of fatty acids in finishing pigs. *Br J Nutr.* 97(1):35–44. doi:10.1017/S0007114507205793.

Kołaczk R, Korniewicz A, Dobrzański Z, Bykowski P, Kołaczk D, Korniewicz D. 2004. Effect of dietary fish and rapeseed oils on sensory and physicochemical characteristics of pig *M. longissimus dorsi* and fatty acid composition. *J Anim Feed Sci.* 13(1):143–152. doi:10.22358/jafs/67397/2004.

Komprda T, Ondráčková P, Vícenová M, Rozíková V, Procházková N, Levá L, Faldyna M. 2018. Effect of dietary fish oil on selected inflammatory markers in pigs. *Animal.* 12(10):2098–2107. doi:10.1017/S1751731117003767.

Komprda T, Rozíková V, Vícenová M, Procházková N, Ondráčková P, Pešková P, Faldyna M. 2017. Tissue fatty acid deposition, plasma lipid and cytokine profile in pigs fed a diet with fish oil or palm oil. *Czech J Anim Sci.* 62(11):482–490. doi:10.17221/110/2016-CJAS.

Kouba M, Enser M, Whittington FM, Nute GR, Wood JD. 2003. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *J Anim Sci.* 81(8):1967–1979. doi:10.2527/2003.8181967x.

Kouba M, Mouro J. 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie.* 93(1):13–17. doi:10.1016/j.biochi.2010.02.027.

Kurlak LO, Stephenson TJ. 1999. Plausible explanations for effects of long chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) on neonates. *Arch Dis Child - Fetal Neonatal Ed.* 80(2):F148 LP-F154. doi:10.1136/fn.80.2.F148. <http://fn.bmj.com/content/80/2/F148.abstract>.

Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB. 2017. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *J Stat Softw.* 82(13). doi:10.18637/jss.v082.i13.

Kyriazakis I, Whittemore C. 2006 Jan 1. Whittemore's science and practice of pig production, 3rd edn.:105–147.

Lauridsen C, Andersen G, Andersson M, Danielsen V, Engberg R, Jakobsen K. 1999.

Effect of dietary fish oil supplied to pigs from weaning to 60 kg liveweight on performance, tissue fatty acid composition and palatability of pork when slaughtered at 100 kg liveweight. *J Anim Feed Sci.* 8(3):441–456. doi:10.22358/jafs/69110/1999.

Lavialle M, Layé S. 2010. Acides gras poly-insaturés (omega 3, omega 6) et fonctionnement du système nerveux central. *Innov Agron.* 10:25–42. <https://www6.inra.fr/ciag/content/download/3633/35603/file/Vol10-3-Lavialle.pdf>.

Lee JH, O’Keefe JH, Lavie CJ, Marchioli R, Harris WS. 2008. Omega-3 fatty acids for cardioprotection. *Mayo Clin Proc.* 83(3):324–332. doi:10.4065/83.3.324.

Leikus R, Juskiene V, Juska R, Juodka R, Stankeviciene D, Nainiene R, Siukscius A. 2018. Effect of linseed oil sediment in the diet of pigs on the growth performance and fatty acid profile of meat. *Rev Bras Zootec.* 47. doi:10.1590/rbz4720170104.

Lenth R V., Buerkner P, Herve M, Love J, Riebl H, Singmann H. 2020. Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. <https://github.com/rvlenth/emmeans>.

Leskanich CO, Matthews KR, Warkup CC, Noble RC, Hazzledine M. 1997. The Effect of Dietary Oil Containing (n-3) Fatty Acids on the Fatty Acid, Physicochemical, and Organoleptic Characteristics of Pig Meat and Fat. *J Anim Sci.* 75(3):673–683. doi:10.2527/1997.753673x.

Lisiak D, Grześkowiak E, Borzuta K, Raj S, Janiszewski P, Skiba G. 2013. Effects of supplementary vegetable and animal fats on the slaughter values of fatteners, meat quality, and fatty acid profile in pigs. *Czech J Anim Sci.* 58(11):497–511. doi:10.17221/7045-cjas.

Longvah T, Deosthale YG, Kumar PU. 2000. Nutritional and short term toxicological evaluation of Perilla seed oil. *Food Chem.* 70(1):13–16. doi:10.1016/S0308-8146(99)00263-0.

Lopez-Bote CJ, Sanz M, Isabel B, Perez De Ayala P, Flores A. 1997. Effect of dietary lard on performance, fatty acid composition and susceptibility to lipid peroxidation in growing-finishing female and entire male pigs. *Can J Anim Sci.* 77(2):301–306. doi:10.4141/A96-114.

Loy A, Hofmann H, Cook D. 2017. Model Choice and Diagnostics for Linear Mixed-Effects Models Using Statistics on Street Corners. *J Comput Graph Stat.* 26(3):478–492. doi:10.1080/10618600.2017.1330207. <https://doi.org/10.1080/10618600.2017.1330207>.

Lu P, Zhang LY, Yin JD, Everts AKR, Li DF. 2008. Effects of soybean oil and linseed oil on fatty acid compositions of muscle lipids and cooked pork flavour. *Meat Sci.* 80(3):910–918. doi:10.1016/j.meatsci.2008.04.010.

MADRP. 2007. Plano estratégico nacional de desenvolvimento rural 2007-2013.

Marchioli R, Levantesi G. 2013. N - 3 PUFAs in cardiovascular disease. *Int J Cardiol.* 170(2 SUPPL.1):S33–S38. doi:10.1016/j.ijcard.2013.06.042.

Martin RE, Mahan DC, Hill GM, Link JE, Jolliff JS. 2011. Effect of dietary organic microminerals on starter pig performance, tissue mineral concentrations, and liver and plasma enzyme activities. *J Anim Sci.* 89(4):1042–1055. doi:10.2527/jas.2009-2384. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2384>.

Matthews KR, Homer DB, Thies F, Calder PC. 2000. Effect of whole linseed (*Linum usitatissimum*) in the diet of finishing pigs on growth performance and on the quality and fatty

acid composition of various tissues. *Br J Nutr.* 83(6):637–643. doi:10.1017/s0007114500000817.

Mitsumoto M., Faustman C., Cassens R.G, Arnold R.N., Schaefer D.M. SKK. 1991. Vitamins E and C Improve Pigment and Lipid Stability in Ground Beef. *J Food Sci.* 56(1):194–197. doi:10.1111/j.1365-2621.1991.tb08010.x. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb08010.x>.

Monahan FJ, Buckley DJ, Morrissey PA, Lynch PB, Gray JI. 1992. Influence of dietary fat and α -tocopherol supplementation on lipid oxidation in pork. *Meat Sci.* 31(2):229–241. doi:10.1016/0309-1740(92)90042-3.

Moran CA, Morlacchini M, Keegan JD, Fusconi G. 2018. Dietary supplementation of finishing pigs with the docosahexaenoic acid-rich microalgae, *Aurantiochytrium limacinum*: effects on performance, carcass characteristics and tissue fatty acid profile. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 31(5):712–720. doi:10.5713/ajas.17.0662.

Morel PCH, McIntosh JC, Janz JAM. 2006. Alteration of the fatty acid profile of pork by dietary manipulation. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 19(3):431–437. doi:10.5713/ajas.2006.431.

Nagy K, Tiuca I-D. 2017. Importance of Fatty Acids in Physiopathology of Human Body. Em: Catala A, editor. *Fatty Acids*.

Nakagawa H, Umino T, Tasaka Y. 1997. Usefulness of *Ascophyllum* meal as a feed additive for red sea bream, *Pagrus major*. Em: *Aquaculture* 151:275–281.

Nevrkla P, Vaclavkova E. 2019. The effect of diet supplementation with linseed scrap on the meat quality and fatty acid profile of the meat and backfat in fattening gilts. *Vet Med (Praha).* 64(11):467–475. doi:10.17221/42/2019-VETMED.

Nilzén V, Babol J, Dutta PC, Lundeheim N, Enfält A-C, Lundström K. 2001. Free range rearing of pigs with access to pasture grazing — effect on fatty acid composition and lipid oxidation products. *Meat Sci.* 58(3):267–275. doi:10.1016/S0309-1740(00)00164-9. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00164-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00164-9).

Nuernberg K, Fischer K, Nuernberg G, Kuechenmeister U, Klosowska D, Eliminowska-Wenda G, Fiedler I, Ender K. 2005. Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Sci.* 70(1):63–74. doi:10.1016/j.meatsci.2004.12.001.

Oeckel V, Monique J, Casteels M, Warnants N, Boucqué C V. 1997. Omega-3 fatty acids in pig nutrition: Implications for zootechnical performances, carcass and fat quality. *Arch Anim Nutr.* 50(1):31–42. doi:10.1080/17450399709386117.

Okrouhlá M, Stupka R, Čítek J, Šprysl M, Brzobohatý L. 2013. Effect of dietary linseed supplementation on the performance, meat quality, and fatty acid profile of pigs. *Czech J Anim Sci.* 58(6):279–288. doi:10.17221/6826-cjas.

Ötleş S, Pire R. 2001. Fatty acid composition of *Chlorella* and *Spirulina* microalgae species. *J AOAC Int.* 84(6):1708–1714. doi:10.1093/jaoac/84.6.1708.

Otten W, Wirth C, Iaizzo PA, Eichinger HM. 1993. A high omega 3 fatty acid diet alters fatty acid composition of heart, liver, kidney, adipose tissue and skeletal muscle in swine. *Ann Nutr Metab.* 37(3):134–141. doi:10.1159/000177761. <https://doi.org/10.1159/000177761>.

Øverland M, Taugbøl O, Haug A, Sundstøl E. 1996. Effect of Fish Oil on Growth Performance, Carcass Characteristics, Sensory Parameters, and Fatty Acid Composition in Pigs. *Acta Agric Scand Sect A — Anim Sci.* 46(1):11–17. doi:10.1080/09064709609410919. <https://doi.org/10.1080/09064709609410919>

Panisson JC, Maiorka A, Oliveira SG, Saraiva A, Duarte MS, Silva KF, Santos E V., Tolentino RLS, Lopes IMG, Guedes LLM, et al. 2020. Effect of ractopamine and conjugated linoleic acid on performance of late finishing pigs. *Animal.* 14(2):277–284. doi:10.1017/S1751731119001708.

Petkov GS, Kostadinova GS, Denev SA, Mihaylova GS, Pavlov DC. 2006. Microbial pollution of soil around slurry storage lagoons at a pig-farm. *Appl Soil Ecol.* 34(1):10–18. doi:10.1016/j.apsoil.2006.01.002.

Portolesi R, Powell BC, Gibson RA. 2007. Competition between 24:5n-3 and ALA for $\Delta 6$ desaturase may limit the accumulation of DHA in HepG2 cell membranes. *J Lipid Res.* 48(7):1592–1598. doi:10.1194/jlr.M700081-JLR200.

Raes K, De Smet S, Demeyer D. 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: A review. *Anim Feed Sci Technol.* 113(1–4):199–221. doi:10.1016/j.anifeedsci.2003.09.001.

Raj S, Skiba G, Weremko D, Fandrejewski H, Migdał W, Borowiec F, Poławska E. 2010. The relationship between the chemical composition of the carcass and the fatty acid composition of intramuscular fat and backfat of several pig breeds slaughtered at different weights. *Meat Sci.* 86(2):324–330. doi:10.1016/j.meatsci.2010.04.037.

Regulamento (CEE) do Conselho nº 1360/78 de 19 de Junho de 1978 relativo aos agrupamentos de produtores e suas uniões. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* 3(14):125.

Regulamento (CE) nº1234/2007 do Conselho de 22 de Outubro de 2007 que estabelece uma organização comum dos mercados agrícolas e disposições específicas para certos produtos agrícolas (Regulamento «OCM única»). *JO L* 299 de 16.11.2007. Ponto B.II do anexo V.

Rey AI, Kerry JP, Lynch PB, López-Bote CJ, Buckley DJ, Morrissey PA. 2001. Effect of dietary oils and α -tocopheryl acetate supplementation on lipid (TBARS) and cholesterol oxidation in cooked pork. *J Anim Sci.* 79(5):1201–1208. doi:10.2527/2001.7951201x.

Rey AI, Lopez-Bote CJ, Castaño A, Thos J, Arias RS. 1997. Dietary fat rich in mono or di-unsaturated fatty acids reduces lipid oxidation in hepatic tissue of rabbits. *Nutr Res.* 17(10):1589–1596. doi:10.1016/S0271-5317(97)00153-X.

Rey AI, Lopez-Bote CJ, Kerry JP, Lynch PB, Buckley DJ, Morrissey PA. 2004. Modification of lipid composition and oxidation in porcine muscle and muscle microsomes as affected by dietary supplementation of n-3 with either n-9 or n-6 fatty acids and α -tocopheryl acetate. *Anim Feed Sci Technol.* 113(1–4):223–238. doi:10.1016/j.anifeedsci.2003.08.007.

Riley PA, Enser M, Nute GR, Wood JD. 2000. Effects of dietary linseed on nutritional value and other quality aspects of pig muscle and adipose tissue. *Anim Sci.* 71(3):483–500. doi:10.1017/S1357729800055454.

Rodolfi L, Chini Zittelli G, Bassi N, Padovani G, Biondi N, Bonini G, Tredici MR. 2009. Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnol Bioeng.* 102(1):100–112. doi:<https://doi.org/10.1002/bit.22033>. <https://doi.org/10.1002/bit.22033>.

Rodrigues CL, Ziegelmann PK. 2010. Meta-Analysis: a Practical Guide. *Clin Biomed Res.* 30(4):436–47.

Romans JR, Johnson RC, Wulf DM, Libal GW, Costello WJ. 1995. Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: I. Dietary level of flaxseed. *J Anim Sci.* 73(7):1982–1986. doi:[10.2527/1995.7371982x](https://doi.org/10.2527/1995.7371982x). <https://doi.org/10.2527/1995.7371982x>.

Rosa, Fernanda, 2018. Nutrição e saúde. UC Nutrição animal avançada. Mestrado em Engenharia Zootécnica-Produção Animal. ISA-ULisboa.

Ruxton CHS, Calder PC, Reed SC, Simpson MJA. 2005. The impact of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids on human health. *Nutr Res Rev.* 18(1):113–129. doi:[10.1079/nrr200497](https://doi.org/10.1079/nrr200497).

Salimon J, Abdullah BM, Yusop RM, Salih N, Yousif E. 2013. Synthesis and optimization ring opening of Monoepoxide linoleic acid using p-toluenesulfonic acid. *Springerplus.* 2(1):1–14. doi:[10.1186/2193-1801-2-429](https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-429).

Sardi L, Martelli G, Lambertini L, Parisini P, Mordenti A. 2006. Effects of a dietary supplement of DHA-rich marine algae on Italian heavy pig production parameters. *Livest Sci.* 103(1–2):95–103. doi:[10.1016/j.livsci.2006.01.009](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.01.009).

Sauvant D, Letourneau-Montminy MP, Schmidely P, Boval M, Loncke C, Daniel JB. 2020. Review: Use and misuse of meta-analysis in Animal Science. *Animal.*:207–222. doi:[10.1017/S1751731120001688](https://doi.org/10.1017/S1751731120001688).

Sauvant D, Schmidely P, Daudin JJ, St-Pierre NR. 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal.* 2(8):1203–1214. doi:[10.1017/S1751731108002280](https://doi.org/10.1017/S1751731108002280).

Shukla VKS, Dutta PC, Artz WE. 2002. Camelina oil and its unusual cholesterol content. *JAOCS, J Am Oil Chem Soc.* 79(10):965–969. doi:[10.1007/s11746-002-0588-1](https://doi.org/10.1007/s11746-002-0588-1).

Simopoulos AP. 2001. The Mediterranean diets: What is so special about the diet of Greece? The scientific evidence. *J Nutr.* 131(11):3065–3073. doi:[10.1093/jn/131.11.3065s](https://doi.org/10.1093/jn/131.11.3065s).

Skiba G, Raj S, Wojtasik M, Weremko D. 2012. Relationships between intake of PUFA n-3 fatty acids and their quantitative content in the carcass tissues of pigs. *J Anim Feed Sci.* 21(4):648–660. doi:[10.22358/jafs/66138/2012](https://doi.org/10.22358/jafs/66138/2012).

Smink W, Verstegen MWA, Gerrits WJJ. 2013. Effect of intake of linoleic acid and α -linolenic acid levels on conversion into long-chain polyunsaturated fatty acids in backfat and in intramuscular fat of growing pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 97(3):558–565. doi:[10.1111/j.1439-0396.2012.01296.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01296.x).

Sobol M, Raj S, Skiba G. 2016. Effect of fat content in primal cuts of pigs fed diet enriched in n-3 polyunsaturated fatty acids on health-promoting properties of pork. *J Anim Feed Sci.* 25(1):20–28. doi:[10.22358/jafs/65583/2016](https://doi.org/10.22358/jafs/65583/2016).

St. John LC, Young CR, Knabe DA, Thompson LD, Schelling GT, Grundy SM, Smith SB. 1987. Fatty Acid Profiles and Sensory and Carcass Traits of Tissues from Steers and Swine Fed an Elevated Monounsaturated Fat Diet. *J Anim Sci.* 64(5):1441–1447. doi:10.2527/jas1987.6451441x. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6451441x>.

St-Pierre NR. 2001. Invited review. Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *J Dairy Sci.* 84(4):741–755. doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)74530-4. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74530-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74530-4).

Tanghe S, Missotten J, Raes K, Vangeyte J, De Smet S. 2014. Diverse effects of linseed oil and fish oil in diets for sows on reproductive performance and pre-weaning growth of piglets. *Livest Sci.* 164(1):109–118. doi:10.1016/j.livsci.2014.03.009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.009>.

Tarricone S, Colonna MA, Giannico F, Ragni M, Lestingi A, Facciolongo AM. 2019. Effect of an extruded linseed diet on meat quality traits in Nero Lucano pigs. *South African J Anim Sci.* 49(6):1093–1103. doi:10.4314/sajas.v49i6.13.

Tiuca I, Nagy K, Oprean R. 2015. Progrese recente în determinarea acizilor grași din probe biologice -un review. *Rev Rom Med Lab.* 23(4):371–384. doi:10.1515/rrlm-2015-0035. Tokusoglu Ozlem MKU. 2003. Fat Replacers in Meat Products. *Pakistan J Nutr.* 2(3):196–203. doi:10.3923/pjn.2003.196.203.

De Tonnac A, Karim-Luiset S, Mouro J. 2017. Effect of different dietary linseed sources on fatty acid composition in pig tissues. *Livest Sci.* 203(March):124–131. doi:10.1016/j.livsci.2017.03.022.

De Tonnac A, Mouro J. 2018. Effect of dietary sources of n-3 fatty acids on pig performance and technological, nutritional and sensory qualities of pork. *Animal.* 12(7):1527–1535. doi:10.1017/S1751731117002877.

Trombetta F, Fruet FAPB, Stefanello FS, Fonseca PAF, De Souza ANM, Tonetto CJ, Rosado AG, Nörnberg JL. 2019. Effects of the dietary inclusion of linseed oil and grape pomace on weight gain, carcass characteristics, and meat quality of swine. *Int Food Res J.* 26(2):1741–1749.

Turner JT. 2006. Harmful Algae Interactions with Marine Planktonic Grazers. *Ecology of Harmful Algae.* Springer, Berlin, Heidelberg. p. 259–270. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32210-8_20.

Václavková E, Bečková R. 2007. Effect of ground linseed in pig diet on organoleptic qualities and oxidativestability of pork. *Research in Pig Breeding.* 1(1):81–82.

Viechtbauer W. 2010. Conducting meta-analyses in R with the metafor. *J Stat Softw.* 36(3):1–48. doi:10.18637/jss.v036.i03.

Voss A, Reinhart M, Sankarappa S, Sprecher H. 1991. The metabolism of 7,10,13,16,19-docosapentaenoic acid to 4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid in rat liver is independent of a 4-desaturase. *J Biol Chem.* 266(30):19995–20000. doi:10.1016/S0021-9258(18)54882-1.

Vossen E, Claeys E, Raes K, van Mullem D, De Smet S. 2016. Supra-nutritional levels of α -tocopherol maintain the oxidative stability of n-3 long-chain fatty acid enriched subcutaneous fat and frozen loin, but not of dry fermented sausage. *J Sci Food Agric.* 96(13):4523–4530. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.7668>. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7668>.

Warnants N, Oeckel MJ Van, Boucqué C V. 1999. Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids into pork fatty tissues. *J Anim Sci.* 7(9):2478–2490. doi:10.2527/1999.7792478x. <https://doi.org/10.2527/1999.7792478x>.

Widianingsih W, Diponegoro U, Hartati R, Diponegoro U, Mamujaja J. 2013. Fatty acid composition of marine microalgae in Indonesia. *J Trop Biol Conserv.* 10(1):75–82.

Wiecek J, Rekiel A, Skomial J. 2010. Effect of feeding level and linseed oil on some metabolic and hormonal parameters and on fatty acid profile of meat and fat in growing pigs. *Arch Anim Breed.* 53(1):37–49. doi:10.5194/aab-53-37-2010.

Wiseman J, Redshaw MS, Jagger S, Nute GR, Wood JD. 2000. Influence of type and dietary rate of inclusion of oil on meat quality of finishing pigs. *Anim Sci.* 70(2):307–315. doi:DOI: 10.1017/S135772980005476X.

Wojtasik M, Raj S, Skiba G, Weremko D, Czuderna M. 2012. The effects of diets enriched in omega-3 fatty acids on carcass characteristics and the fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat in pigs. *J Anim Feed Sci.* 21(4):635–647. doi:10.22358/jafs/66137/2012.

Wood JD. 1984. Fat deposition and the quality of fat tissue in meat animals. Em: Wiseman J, editor. *Fats in Animal Nutrition.* Butterworths, London. p. 407–435.

Wood JD, Enser M. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *Br J Nutr.* 78(1):S49–S60. doi:10.1079/bjn19970134.

Wood JD, Enser M, Fisher A V., Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78(4):343–358. doi:10.1016/j.meatsci.2007.07.019.

Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher A V., Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Sci.* 66(1):21–32. doi:10.1016/S0309-1740(03)00022-6.

Yaakob Z, Ali E, Zainal A, Mohamad M, Takriff MS. 2014. An overview: Biomolecules from microalgae for animal feed and aquaculture. *J Biol Res.* 21(1):1–10. doi:10.1186/2241-5793-21-6.

Yokoyama M, Origasa H, Matsuzaki M, Matsuzawa Y, Saito Y, Ishikawa Y, Oikawa S, Sasaki J, Hishida H, Itakura H, et al. 2007. Effects of eicosapentaenoic acid on major coronary events in hypercholesterolaemic patients (JELIS): a randomised open-label, blinded endpoint analysis. *Lancet.* 369(9567):1090–1098. doi:10.1016/S0140-6736(07)60527-3.

You L, Lee A V, Oh S-Y, Fisher-Heffernan RE, Edwards M, de Lange K, Karrow NA. 2019. Effect of lipopolysaccharide-induced immune stimulation and maternal fish oil and microalgae supplementation during late pregnancy on nursery pig hypothalamic–pituitary–adrenal function1. *J Anim Sci.* 97(7):2940–2951. doi:10.1093/jas/skz166. <https://doi.org/10.1093/jas/skz166>.

Zubay G.L., Parson W.W. VDE. 1995. *Principles of Biochemistry.* William C Brown.

Anexos

Anexo I.

Autores

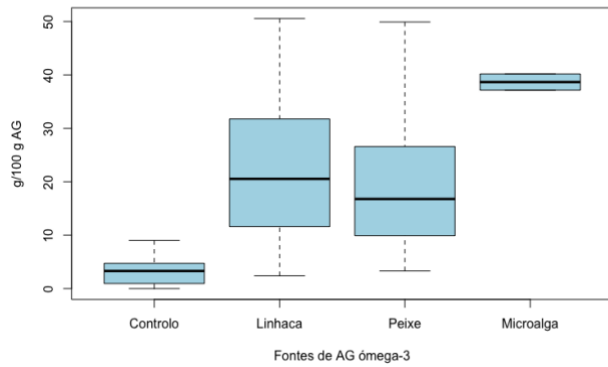
Fonte de AG ómega-3

DOI

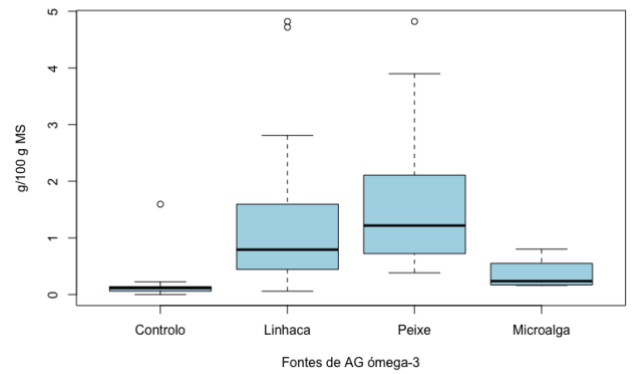
| | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Beckova and Vaclavkova 2010 | Linhaça | 10.17221/197/2009-CJAS |
| Červek et al. 2011 | Linhaça | - |
| Corino et al. 2008 | Linhaça | 10.2527/jas.2007-0155 |
| Dannenberger et al. 2012 | Linhaça | 10.3390/nu4091237 |
| Dannenberger et al. 2014 | Linhaça | 10.1021/jf504699a |
| Ding et al. 2003 | Peixe | 10.2527/2003.812423x |
| Dordevic et al. 2016 | Linhaça | 10.1515/acve-2016-0031 |
| Duran-Montge et al. 2009 | Peixe + Linhaça | 10.1017/S1751731109990450 |
| Enser et al. 2000 | Linhaça | 10.1016/S0309-1740(99)00144-8 |
| Flachowsky et al. 2008 | Linhaça | 10.22358/jafs/66619/2008 |
| Fontanillas et al. 1998 | Linhaça | 10.1021/jf9700182 |
| Gjerlaug-Enger et al. 2014 | Linhaça | 10.1002/fsn3.182 |
| Grela et al. 2012 | Peixe | 10.2478/v10181-012-0057-8 |
| Guillevic et al. 2009 | Linhaça | 10.1016/j.livsci.2009.02.009 |
| Hallenstvedt et al. 2012 | Peixe | 10.1016/j.meatsci.2011.08.009 |
| Huang et al. 2008 | Linhaça | 10.1016/j.livsci.2008.01.002 |
| Jaturasitha et al. 2009 | Peixe | 10.2527/jas.2008-0863 |
| Kalbe et al. 2019 | Microalga | 10.1111/jpn.13037 |
| Karolyi et al. 2012 | Linhaça | - |
| Kjos et al. 1999 | Peixe | 10.4141/A98-091 |
| Kołacz et al. 2004 | Peixe | 10.22358/jafs/67397/2004 |
| Komprda et al. 2017 | Peixe | 10.17221/110/2016-CJAS |
| Komprda et al. 2018 | Peixe | 10.1017/S1751731117003767 |
| Kouba et al. 2003 | Linhaça | 10.2527/2003.8181967x |
| Lauridsen et al. 1999 | Peixe | 10.22358/jafs/69110/1999 |
| Leikus et al. 2018 | Linhaça | 10.1590/rbz4720170104 |
| Leskanich et al. 1997 | Peixe | 10.2527/1997.753673x |
| Matthews et al. 2000 | Linhaça | 10.1017/S0007114500000817 |
| Moran et al. 2018 | Microalga | 10.5713/ajas.17.0662 |
| Morel et al. 2006 | Linhaça | 10.5713/ajas.2006.431 |
| Nevrkla and Vaclavkova 2019 | Linhaça | 10.17221/42/2019-VETMED |
| Nuernberg et al. 2005 | Linhaça | 10.1016/j.meatsci.2004.12.001 |
| Otten et al. 1993 | Peixe | 10.1159/000177761 |
| Overland et al. 1996 | Peixe | 10.1080/09064709609410919 |
| Rey et al. 2001 | Linhaça | 10.2527/2001.7951201x |
| Riley et al. 2000 | Linhaça | 10.1017/S1357729800055454 |
| Sardi et al. 2006 | Microalga | 10.1016/j.livsci.2006.01.009 |
| Tarricone et al. 2019 | Linhaça | 10.4314/sajas.v49i6.13 |
| De Tonnac et al. 2017 | Linhaça | 10.1016/j.livsci.2017.03.022 |
| De Tonnac and Mourot 2018 | Microalga + Linhaça | 10.1017/S1751731117002877 |
| Trombetta et al. 2019 | Linhaça | - |
| Vossen et al. 2016 | Peixe | 10.1002/jsfa.7668 |
| Wiecek et al. 2010 | Linhaça | 10.5194/aab-53-37-2010 |
| Wiseman et al. 2000 | Linhaça | 10.1017/S135772980005476X |

Anexo II.

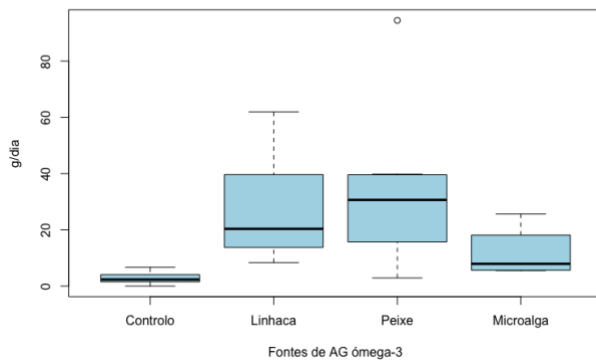
Varição da quantidade de AG n-3 no alimento composto (g/100 g AG)



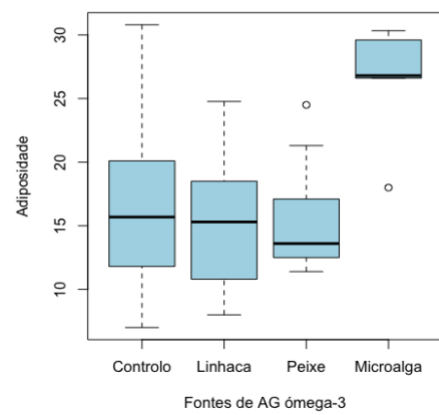
Varição da quantidade de AG n-3 no alimento composto (g/100 g MS)



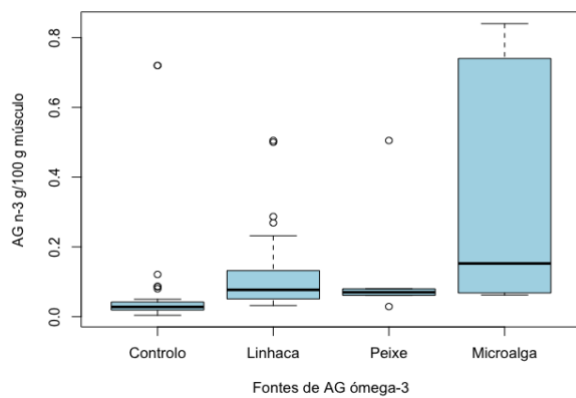
Varição da ingestão de AG n-3 no tecido adiposo (g/dia)



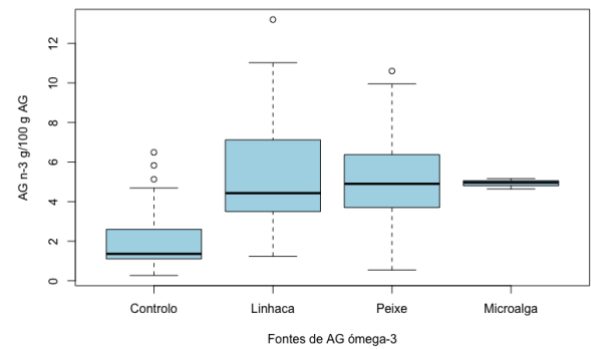
Varição da adiposidade



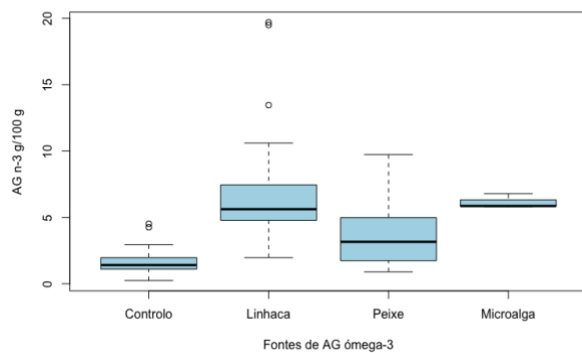
Varição da quantidade de AG n-3 no músculo (g/100g)



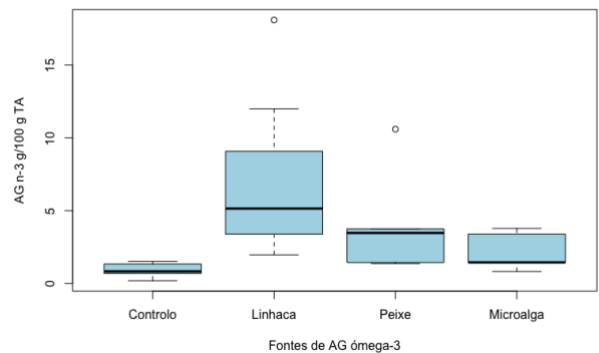
Varição da quantidade de AG n-3 no músculo (g/100 g AG)



Varição da quantidade de AG n-3 no tecido adiposo (g/100 g AG)



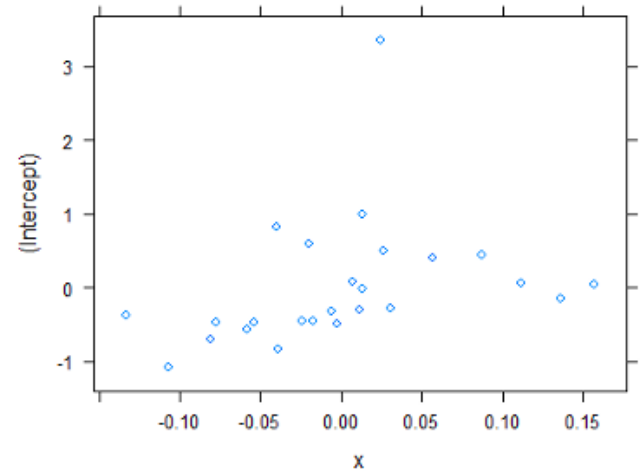
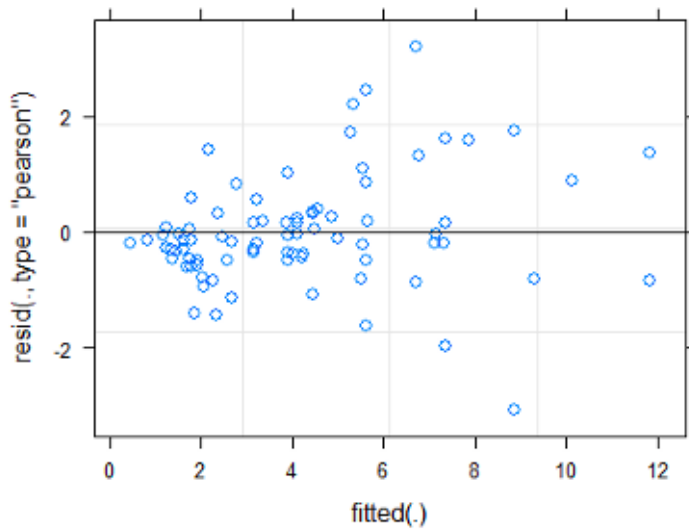
Varição da quantidade de AG n-3 no tecido adiposo (g/100g)



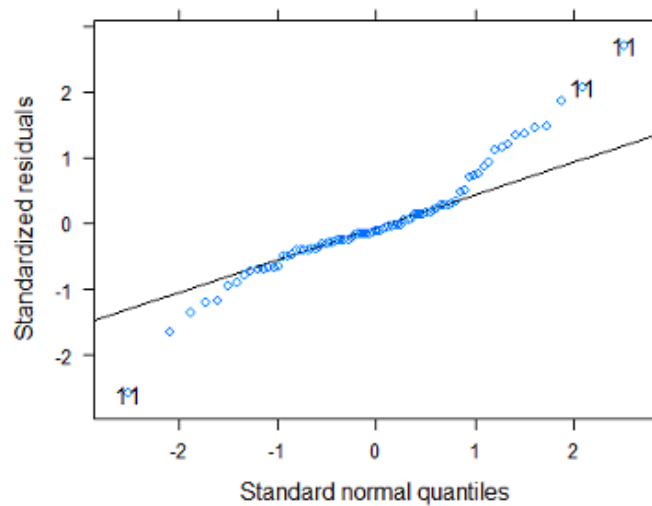
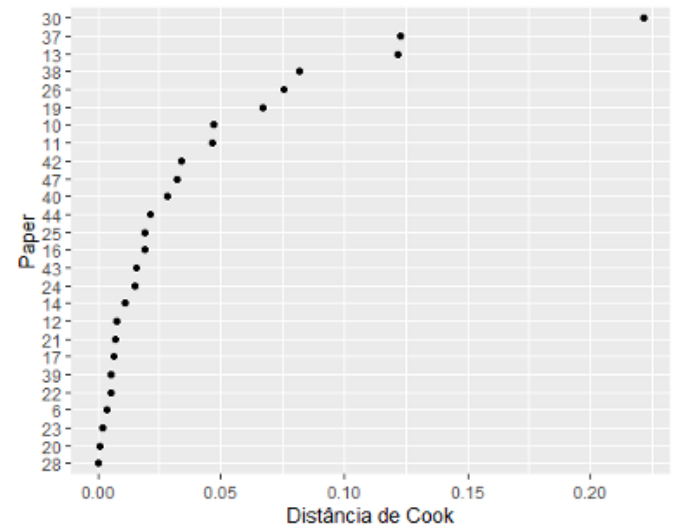
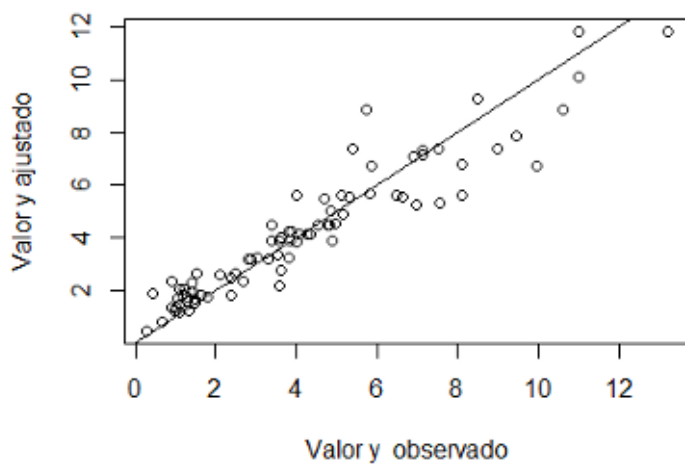
Anexo III.

| i | n | p | Y | x | Modelo | Equação | Fonte | Efeitos fixos | | | | Efeitos aleatórios | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------------------|----------------|--|--|---------|----------------|-----------------|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------|-----------------|-------|----------------|---|---|---|-------|---------------|
| | | | | | | | | b ₀ | IC | b ₁ | IC | sigma ₁ | IC | sigma ₂ | IC | cor | IC | sigma | IC | | | | | |
| 1 | 6 7 | 1 9 | y.g.100gM | x.g.100g MS | $y \sim x + (x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 0,068 | [-0,002;0,119] | 0,136 | [0,031;0,247] | 0,131 | [0,094;0,182] | 0,222 | [0,136;0,338] | 0,970 | [0,849;0,998] | 0,016 | [0,012;0,021] | | | | | |
| 2 | 4 3 | 1 5 | y.g.100gM | x.g.100gA G | $y \sim x + (1 \text{Paper}) + (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 0,019 | [0,011;-0,026] | 0,004 | [0,003;0,005] | 0,010 | [0,000;0,018] | 0,002 | [0,001;0,003] | - | - | 0,010 | [0,007;0,014] | | | | | |
| 3 | 4 3 | 1 2 | y.g.100gM | x.g.dia | $y \sim x + (1 \text{Paper}) + (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 0,073 | [-0,030;0,178] | 0,006 | [0,001;0,012] | 0,174 | [0,116;0,269] | 0,008 | [0,004;0,013] | - | - | 0,012 | [0,012;0,024] | | | | | |
| 4 | 6 9 | 1 9 | y.g.100gAG | x.g.100g MS | $y \sim x + (x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 1,285 | [0,583;1,994] | 4,637 | [2,828;6,645] | 1,298 | [0,852;1,887] | 3,517 | [1,394;5,565] | -0,100 | [-0,602;0,990] | 0,768 | [0,606;1,068] | | | | | |
| 5 | 8 2 | 2 5 | y.g.100gAG | x.g.100gA G | $y \sim x + (x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 1,526 | [0,950;2,084] | 0,197 | [0,145;0,250] | 0,827 | [0,233;1,410] | 0,093 | [0,054;0,143] | 0,340 | [-0,476;-1,000] | 1,163 | [0,950;2,084] | | | | | |
| 6 | 3 5 | 9 | y.g.100gAG | x.g.dia | $y \sim (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = \beta_0 + (u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 1,242 | [0,817;-1,686] | - | - | - | - | 0,881 | [0,553;1,569] | - | - | 0,733 | [0,557;0,981] | | | | | |
| 7 | 3 9 | 9 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100g MS | $y \sim x + (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = \beta_0 + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 0,689 | [0,473;0,914] | 3,173 | [2,313;4,019] | - | - | 0,996 | [0,541;1,746] | - | - | 0,379 | [0,293;0,496] | | | | | |
| 8 | 1 9 | 6 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.100gA G | $y \sim (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = \beta_0 + (u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 0,488 | [-0,207;-1,215] | - | - | - | - | 0,972 | [0,597;1,957] | - | - | 0,749 | [0,511;-1,121] | | | | | |
| 9 | 2 8 | 8 | y.adiposo.g.100gTA | x.g.dia | $y \sim x + (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = \beta_0 + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 0,601 | [0,410;0,800] | 0,091 | [0,050;0,132] | - | - | 0,051 | [0,030;0,088] | - | - | 0,283 | [0,210;0,388] | | | | | |
| 10 | 7 2 | 1 8 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100g MS | $y \sim x + (1 \text{Paper}) + (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 1,158 | [0,733;1,570] | 5,008 | [3,355;6,687] | 0,691 | [0,342;1,085] | 3,310 | [2,281;4,755] | - | - | 0,535 | [0,432;0,682] | | | | | |
| 11 | 7 7 | 2 2 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.100gA G | $y \sim x + (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = \beta_0 + (\beta_1 + u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 1,045 | [0,652;1,428] | 0,233 | [0,170;0,296] | - | - | 0,130 | [0,094;0,179] | - | - | 0,961 | [0,801;1,156] | | | | | |
| 12 | 3 7 | 8 | y.adiposo.g.100gAG | x.g.dia | $y \sim (1 \text{Paper}) + (0 + x \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + (u_1)x_{ijk} + e_{ijk}$ | - | 1,295 | [0,529;2,030] | - | - | 0,921 | [0,278;1,667] | 0,724 | [0,403;1,341] | - | - | 0,442 | [0,330;0,678] | | | | | |
| 13. | 1 | 5 | Adiposidade | x.g.100g MS | y - Font.Ctr + (1 Paper) | $Y_{ijk} = (\beta_0 + \alpha_0k + u_0) + e_{ijk}$ | Linhaça | 15,946 | [13,617;18,279] | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | |
| 13. | 2 | 8 | | | | | | 29,106 | [20,842;37,373] | - | - | - | - | 3,887 | [2,347;5,312] | - | - | - | - | - | - | - | 2,299 | [1,883;2,896] |
| 13. | 3 | 3 | | | | | | 12,819 | [5,503;20,139] | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 5 4 | 1 5 | Adiposidade | x.g.100gA G | $y \sim (1 \text{Paper})$ | $Y_{ijk} = (\beta_0 + u_0) + e_{ijk}$ | - | 16,221 | [14,393;18,087] | - | - | 3,250 | [2,054;4,924] | - | - | - | - | 2,430 | [1,977;3,082] | | | | | |
| 15. | 1 | 3 | Adiposidade | x.g.dia | y - Font.Ctr + (1 Paper) | $Y_{ijk} = (\beta_0 + \alpha_0k + u_0) + e_{ijk}$ | Linhaça | 15,095 | [12,358;17,833] | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | |
| 15. | 2 | 9 | | | | | | 29,068 | [20,809;37,342] | - | - | - | - | 3,416 | [1,502;4,981] | - | - | - | - | - | - | - | 2,654 | [2,093;3,512] |
| 15. | 3 | 0 | | | | | | 13,801 | [5,577;22,045] | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

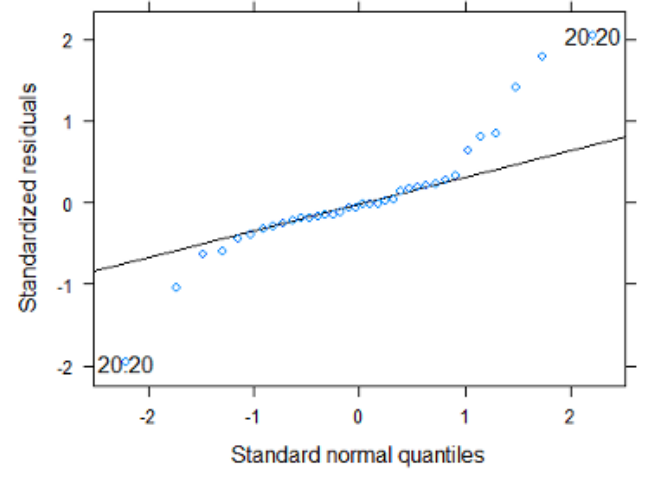
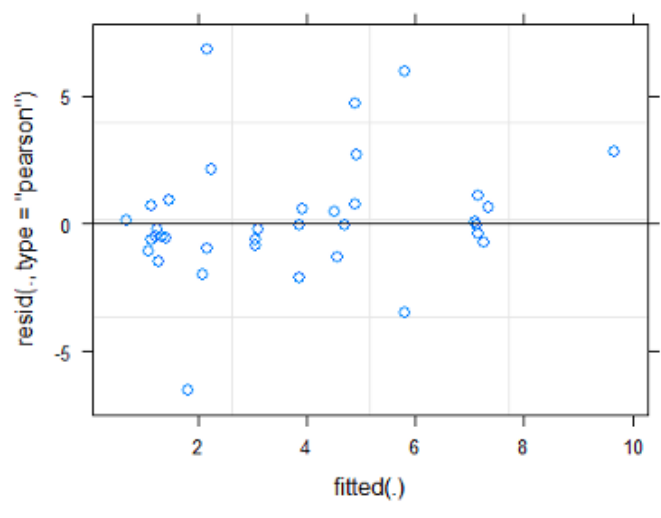
Anexo IV.



y.g.100gFA vs x.g.100gAG



Anexo VI.



\$Paper

