

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

ÓLEOS ESSENCIAIS E ÁCIDOS ORGÂNICOS NA ALIMENTAÇÃO  
DE FÊMEAS SUÍNAS EM TERMINAÇÃO (75-100KG)

Doutoranda: Isabela Ferreira Leal  
Orientador: Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha  
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

Maringá, Paraná  
Fevereiro de 2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

ÓLEOS ESSENCIAIS E ÁCIDOS ORGÂNICOS NA ALIMENTAÇÃO  
DE FÊMEAS SUÍNAS EM TERMINAÇÃO (75-100KG)

Doutoranda: Isabela Ferreira Leal  
Orientador: Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha  
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

“Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de Concentração Produção Animal”

Maringá, Paraná  
Fevereiro de 2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

L435o

Leal, Isabela Ferreira

Óleos essenciais e ácidos orgânicos na alimentação de fêmeas suínas em terminação (75-100kg) / Isabela Ferreira Leal. -- Maringá, PR, 2022.  
102 f. figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2022.

1. Suínos - Alimento alternativo. 2. Suíno - Qualidade da carne. 3. Suínos - Nutrição animal. 4. Óleos essenciais - Nutrição - Suínos. I. Castilha, Leandro Dalcin, orient. II. Pozza, Paulo Cesar, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 23.ed. 636.4085



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ÓLEOS ESSENCIAIS E ÁCIDOS ORGÂNICOS NA  
ALIMENTAÇÃO DE FÊMEAS SUÍNAS EM  
TERMINAÇÃO (75-100 KG)

Autora: Isabela Ferreira Leal  
Orientador: Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha

TITULAÇÃO: Doutora em Zootecnia - Área de Concentração Produção  
Animal

APROVADA em 24 de fevereiro de 2022.

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simara Marcia Marcato

Prof. Dr. Rodolpho Martin do  
Prado

Prof. Dr. Paulo Levi de Oliveira  
Carvalho

Dr.<sup>a</sup> Lidiane Staub

Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha  
Orientador

A Deus, por me permitir tantas bênçãos na vida.

Aos meus pais, Sinval e Ana Lucia, pelo esforço, alicerce e todo amor dedicado a mim.

Ao meu irmão, Vinicius Leal, que me ajudou e sempre torceu por minhas conquistas.

Ao meu marido, Thiago Guerra, companheiro e amigo.

A toda minha família querida e amada, base fundamental, que mesmo com tantos momentos difíceis me apoiou e fortaleceu para eu chegar até aqui. Amo muito vocês.

A todos os amigos e familiares que apoiaram e incentivaram nessa conquista.

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá,  
pela oportunidade,  
À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela  
concessão da bolsa,  
A todos os professores e funcionários da Universidade do Estado de Maringá, pelos  
conhecimentos na formação acadêmica,  
Ao meu orientador, Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha, pela paciência, dedicação e por  
todo conhecimento repassado,  
Ao meu coorientador, Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza, pelo auxílio e por disponibilizar a  
estrutura do setor de suinocultura para realização do experimento.  
À Prof. Dr. Paula Pinto, pelo auxílio e por disponibilizar a estrutura do laboratório de  
Análises de Produtos Agropecuários na realização do experimento.  
Aos colegas do grupo de pesquisa em suínos: Gustavo Araújo, Leonardo Malavazi,  
Maria Paula Campos, Gabriel Araujo, Juliana Stocco e todos os integrantes do grupo  
pela atenção e contribuição dedicadas a este trabalho.  
Aos funcionários do Setor de Suinocultura da Fazenda Experimental de Iguatemi, pela  
ajuda e comprometimento na realização deste trabalho,  
A todos os amigos de graduação e pós-graduação, pela convivência, ajuda e momentos  
compartilhados,  
A todos os familiares, pelo incentivo e por torcerem pelo meu sucesso,

Obrigada.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Isabela Ferreira Leal, filha de Sinval de Souza Leal e Ana Lucia Ferreira Leal, nasceu em Maringá, Estado do Paraná, Brasil, no dia 24 de janeiro de 1994. Em fevereiro de 2011, ingressou no curso de graduação em Zootecnia, na Universidade Estadual de Maringá – UEM, concluindo em março de 2016. Em julho de 2016, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de mestrado, área de concentração Produção e Nutrição Animal, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Candido Rondon. Em fevereiro de 2018, defendeu sua dissertação e logo iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá. Submeteu-se ao Exame Geral de Qualificação e em 24 de fevereiro de 2022, submeteu-se à defesa da Tese.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE QUADROS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
<b>I REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
Introdução.....	17
2 Óleos essenciais .....	18
2.1. Mecanismo de ação antimicrobiana.....	20
2.2. Efeitos sobre o organismo de suínos.....	24
2.2.1. Integridade intestinal.....	24
2.2.2. Ação antioxidante.....	25
2.2.3. Ingestão de ração.....	27
2.2.4. Desempenho produtivo e características de carcaça.....	28
2.2.5. Qualidade de carne.....	29
3. Ácidos orgânicos.....	30
3.1. Mecanismo de ação antimicrobiana.....	32
3.2. Efeito sobre o organismo de suínos.....	33
3.3. Integridade intestinal e desempenho produtivo.....	34
3.4. Característica de carcaça e qualidade de carne.....	37
4. Sinergismo entre óleos essenciais e ácidos orgânicos.....	38
Referências.....	41
<b>II – OBJETIVOS.....</b>	<b>50</b>

<b>III – Desempenho, metabólitos plasmáticos, resposta imune e defesa antioxidante de fêmeas suínas (75-100 kg) alimentadas com rações contendo óleos essenciais e ácidos orgânicos em substituição ao antibiótico promotor de crescimento</b>	
Highlights.....	52
Resumo.....	53
Introdução.....	54
Material e Métodos.....	56
Resultados.....	62
Discussão.....	63
Conclusões.....	67
Conflito de interesse.....	67
Agradecimentos.....	67
Referências.....	68
<b>IV– Óleos essenciais e ácidos orgânicos sobre características de carcaça, qualidade da carne, composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do músculo <i>longissimus lumborum</i> de fêmeas suínas (75-100 kg)</b>	
Highlights.....	85
Resumo.....	86
Introdução.....	87
Material e Métodos.....	88
Resultados.....	91
Discussão.....	92
Conclusões.....	97
Conflito de interesse.....	98
Agradecimentos.....	98
Referências.....	98
<b>V – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>116</b>
<b>VI – IMPLICAÇÕES.....</b>	<b>117</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>I - Revisão Bibliográfica</b>	<b>Página</b>
TABELA 1. Concentração inibitória mínima (CIM) do timol, eugenol, carvacrol e cinamaldeído sobre bactérias patogênicas.....	23
<b>III - Desempenho, metabólitos plasmáticos, resposta imune e defesa antioxidante de fêmeas suínas (75-100 kg) alimentadas com rações contendo óleos essenciais e ácidos orgânicos em substituição ao antibiótico promotor de crescimento</b>	
TABELA 1. Composição centesimal, química e energética das rações experimentais para fêmeas suínas dos 75 aos 100 kg.....	75
TABELA 2. Desempenho de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	77
TABELA 3. Avaliação econômica da criação de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	78
TABELA 4. Parâmetros bioquímicos plasmáticos de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	79
TABELA 5. Proteínas totais e suas frações no plasma de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	80
TABELA 6. Hemograma de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	81
TABELA 7. Leucograma de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	82
TABELA 8. Perfil oxidativo plasmático e hepático de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	83

**IV - Óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos sobre características de carcaça, qualidade da carne, composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do músculo *longissimus lumborum* de fêmeas suínas (70-100 kg)**

TABELA 1.	Composição centesimal, química e energética das rações experimentais para fêmeas suínas dos 75 aos 100 kg.....	105
TABELA 2.	Características de carcaça de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	107
TABELA 3.	Peso relativo de órgãos e de gordura abdominal de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	108
TABELA 4.	Características qualitativas do músculo <i>longissimus lumborum</i> de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	109
TABELA 5.	Composição centesimal do músculo <i>longissimus lumborum</i> grelhado de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	110
TABELA 6.	Perfil de ácidos graxos do músculo <i>longissimus lumborum</i> grelhado de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.....	111
TABELA 7.	Efeito de diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento na dieta de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) sobre o percentual de sequestro (%) do radical DPPH no músculo <i>longissimus lumborum</i> em diferentes períodos de estocagem (4°C).....	113
TABELA 8.	Efeito de diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento na dieta de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) sobre o percentual de sequestro (%) do radical ABTS no músculo <i>longissimus lumborum</i> em diferentes períodos de estocagem (4°C).....	114
TABELA 9.	Efeito de diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento na dieta de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) sobre a geração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico – TBARS (mg MDA Eq/kg) no músculo <i>longissimus lumborum</i> em diferentes períodos de estocagem (4°C).....	115

**LISTA DE FIGURAS**

	Página
FIGURA 1. Principal modo de ação antimicrobiana dos óleos essenciais nos animais domésticos (Adaptado de Mishra et al., 2020).....	21
FIGURA 2. Paredes celulares em bactérias gram-positivas (a) e gram-negativas (b) (Tortora et al., 2012).....	22
FIGURA 3. Principal modo de ação antimicrobiano dos ácidos orgânicos nos animais domésticos (Adaptado de Theobald, 2019).....	33
FIGURA 4. Sinergismo da ação dos óleos essenciais e ácidos orgânicos nas bactérias (Adaptado de Chalikwar, 2020).....	38

**LISTA DE QUADROS**

	Página
QUADRO 1. Estrutura química dos principais compostos de óleos essenciais (Adaptado de Michiels, 2009).....	19
QUADRO 2. Ácidos orgânicos comumente utilizados e suas propriedades (Adaptado de Tugnoli et al., 2019).....	31

## RESUMO

Foi conduzido um experimento com o objetivo de avaliar a substituição do antibiótico melhorador de desempenho por óleos essenciais, ácidos orgânicos e sua associação na alimentação de fêmeas suínas em terminação, dos 75 aos 100 kg, sobre os o desempenho, metabólitos plasmáticos, resposta imune, defesa antioxidante, características de carcaça e qualidade da carne, composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do músculo *longissimus lumborum*. Foram utilizadas 40 fêmeas suínas em terminação (Pietrain x Landrace x Large White) com peso inicial médio de  $75,051 \pm 1,864$  kg, distribuídas em um delineamento em blocos ao acaso, divididas em cinco tratamentos e oito unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em diferentes aditivos nas dietas: 1- Controle negativo (sem o uso de aditivos melhoradores de desempenho), 2- Controle positivo (adição de antibiótico - 200ppm de Virginiamicina), 3- Óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), 4- Ácidos Orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), 5- Óleos Essenciais + Ácidos Orgânicos (associação dos tratamentos 3 e 4). As rações foram formuladas à base de milho e farelo de soja, para atender às recomendações nutricionais da fase e sexo. No Capítulo I, foram avaliados o desempenho produtivo (75 a 100kg), variáveis sanguíneas, resposta imune e perfil oxidativo do plasma e fígado dos animais. Não houve diferenças entre as variáveis de desempenho, parâmetros sanguíneo e perfil oxidativo no plasma dos animais. A capacidade antioxidante hepática nos animais suplementados com óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos foi similar a dos animais alimentados com dietas contendo o antibiótico promotor de crescimento e ambos foram superiores aos animais do grupo controle negativo. As dosagens utilizadas dos aditivos resultaram em efeitos semelhantes para desempenho, metabólitos plasmáticos e resposta imune de fêmeas suínas em terminação, com destaque para a maior defesa antioxidante hepática em relação aos animais alimentados com dietas sem qualquer aditivo. No Capítulo II, ao atingirem peso médio de 100kg, os animais foram abatidos para avaliar as características de carcaça, qualidade da carne, composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do músculo *longissimus lumborum*. Não houve diferença entre os tratamentos para características de carcaça e peso de órgãos. A dieta controle negativo proporcionou a maior perda de água por cocção no músculo *longissimus*

*lumborum* (19,48%), enquanto a dieta com óleos essenciais resultou no maior teor de gordura bruta (19,38%). A dieta isenta de aditivos apresentou a menor de ácido linoleico (C18:2 n-6) e do total de ácidos graxos ômega 6. Não houve efeito dos tratamentos sobre a oxidação da carne mantida em refrigeração (4°C) por até 72 horas, mas houve piora crescente em função do tempo de estocagem. A dieta com óleos essenciais proporcionou menor perda de água por cocção e a maior percentagem de gordura na carne de fêmeas suínas em terminação (75-100kg), enquanto a dieta sem aditivos resultou em menores quantidades de ácidos graxos ômega 6, quando comparados às dietas com antibióticos, óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos.

**Palavras-chave:** aditivos alternativos, antimicrobianos, carne suína, perfil oxidativo.

## ABSTRACT

An experiment was carried out to evaluate the replacement of the growth-promoting antibiotics by essential oils, organic acids and their association in the feeding of finishing swine, from 75 to 100 kg, on performance, plasma metabolites, immune response, antioxidant defense, carcass characteristics and meat quality, proximate composition, fatty acid profile and oxidative stability of the longissimus lumborum muscle. Forty finishing sows (Pietrain x Landrace x Large White) with a mean initial weight of  $75.051 \pm 1.864$  kg were used, distributed in a randomized design, divided into five treatments and eight experimental units. Diets consisted of different additives in the ration: 1) negative control (without the use of additives performance improvers), 2) Positive control (with the use of growth-promoting antibiotics), 3) A *blend* of essential oils, 4) A *blend* of organic acids, 5) A *blend* Association of Essential Oils and Organic Acids. The diets were formulated based on corn and soybean meal, following the nutritional recommendations for phase and sex. In Chapter I, the productive performance (75 to 100kg), blood variables, immune response and oxidative profile of the plasma and liver of the animals were evaluated. There were no significant differences between performance variables, blood parameters and oxidative profile in the plasma of the animals. The hepatic antioxidant capacity in animals supplemented with essential oils and/or organic acids was like that of animals fed diets containing the growth-promoting antibiotic and both were superior to animals in the negative control group. The dosages of the additives used resulted in similar effects for performance, plasma metabolites and immune response of finishing sows, highlighting the greater hepatic antioxidant defense in relation to animals fed diets without any additive. In Chapter II, when reaching an average weight of 100kg, the animals were slaughtered to evaluate carcass characteristics, meat quality, proximate composition, fatty acid profile and oxidative stability of the *longissimus lumborum* muscle. There was no difference between treatments for carcass traits and organ weight. The negative control diet provided the highest water loss by cooking in the *longissimus lumborum* muscle (19.48%), while the diet with essential oils resulted in the highest crude fat content (19.38 %). The additive-free diet had the lowest concentration of linoleic acid (C18:2 n-6) and of total omega 6 fatty acids. There was no effect of treatments ( $P > 0.05$ ) on the meat oxidation in refrigeration (4°C) for to 72 hours, but there was an increasing worsening as a function of storage time. The diet with essential oils provided the lowest water loss during cooking and the highest percentage of fat in the meat of finishing sows

(75-100kg), while the diet without additives resulted in lower amounts of omega 6 fatty acids, when compared to diets with antibiotics, essential oils and/or organic acids.

**Keywords:** alternative additives, antimicrobials, pork, oxidative profile.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos de origem animal exige eficiência produtiva cada vez mais alta. Uma estratégia utilizada por muitos anos para obter elevado desempenho produtivo dos animais foi o uso de promotores de crescimento constituídos por princípio fármacos, como os antibióticos.

A produção animal, inclusive a suinocultura, em muitos países foram grandes usuários dos antibióticos na alimentação animal, em doses subterapêuticas. Porém, houve aumento da resistência antimicrobiana no organismo dos seres humanos, tornando uma importante preocupação com a saúde pública. Suspeita-se que uso contínuo na alimentação animal de antibióticos utilizados em cuidados de saúde humana, podem provocar a seleção de cepas bacterianas resistentes. (Laxminarayan et al., 2013, Liu et al., 2018).

O antimicrobiano é considerado um promotor de crescimento quando é administrado na alimentação em pequenas dosagens para promover o crescimento animal e aumentar a eficiência alimentar. Existem várias classes de antibióticos com diferentes mecanismos de ação contra bactérias gram-negativas e positivas. Em pequenas quantidades, os antimicrobianos inibem a síntese de proteínas, inibem a síntese de proteínas da parede celular bacteriana ou alteram a permeabilidade de membrana das bactérias, provocando efeito bactericida ou bacteriostático (Brown et al., 2017).

Preocupações com a saúde humana e animal ocasionaram restrições em todo o mundo, limitando a utilização de antibióticos em dose subterapêuticas na alimentação de animais, sobretudo, devido a preocupações com cargas residuais de antibióticos nos produtos de origem animal e a possibilidade de geração de resistência bacteriana em humanos. Ao retirar os antibióticos promotores de crescimento da alimentação de suínos, existe a possibilidade de ocorrência de doenças, efeito negativo sobre o crescimento e perdas econômicas no processo produtivo (Brown et al., 2017, Liu et al., 2018).

Produção animal eficiente requer altos padrões de gestão, aliado com alimentação, nutrição, manejo, genética, sanidade e ambiência. Para promover eficiente desempenho produtivo dos suínos sem uso de medicamentos, o uso de aditivos alimentares de alta qualidade é necessário, visando a saúde dos animais e principalmente dos consumidores (Liu et al, 2018).

Diversas pesquisas realizadas e alternativas eficazes comprovadas possibilitaram a produção animal com aditivos alternativos seguros, capazes de promover efeitos

benéficos no desempenho dos animais e qualidade do produto. Nesse sentido, a utilização de óleos essenciais, ácidos orgânicos, probióticos, prebióticos, enzimas, entre outros, representa uma estratégia promissora na nutrição de suínos, por serem aditivos com potencial de enfrentamento ao desafio sanitário dos sistemas produtivos (Kwak et al., 2017, Liu et al., 2018).

Considerando a importância dos aditivos alternativos na alimentação de suínos, essa revisão tem como objetivo pontuar alguns efeitos dos óleos essenciais, ácidos orgânicos e o sinergismo entre eles na alimentação de suínos, avaliando os efeitos sobre o desempenho produtivo dos animais.

## 2 ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais são alvos de pesquisas há muitos anos, pelo crescente interesse dos consumidores por alternativas naturais e benéficas à saúde. Além de serem produtos muito versáteis, com aplicações na indústria de alimentos, farmacêutica, agropecuária, entre outras, os óleos essenciais são fontes de compostos farmacologicamente ativos, por isso há grande aplicação comercial, sobretudo com foco na área da saúde. Apresentam baixa solubilidade em água, alta volatilidade e sensibilidade à luz, temperatura e oxigênio, fatores que influenciam a indústria a empregar tecnologias para preservar suas composições e rendimentos, para otimizar e potencializar seus efeitos, além de facilitar a utilização (Jugreet et al., 2020).

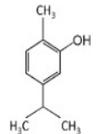
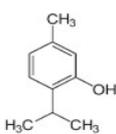
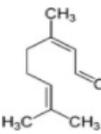
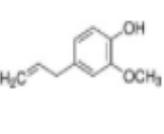
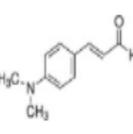
As plantas produzem diversos compostos orgânicos além dos que possuem função no seu crescimento e desenvolvimento. Parte desses compostos são responsáveis pelo sistema de defesa das plantas, os metabólitos secundários, e são divididos em grupos de estrutura química distintos: terpenos, fenilpropanoides, aldeídos, ésteres, álcoois e cetonas (Mangalagiri et al., 2021, Silva et al., 2021). O óleo essencial de tomilho, que apresenta como componentes predominantes timol e carvacrol, pode variar de 3% a 60% do total (Lawrence, 1986). O cinamaldeído, principal componente dos óleos essenciais de canela, pode variar de 60% a 75% do total (Duke, 1986).

Existem vários métodos de extração dos óleos essenciais. Os mais comuns são a hidrodestilação e a destilação a vapor. Outros métodos incluem infusão aquosa, extração por solvente, prensagem a frio ou a quente, extração de fluido supercrítico, entre outros (Djilani & Dicko, 2012). A extração exige muita atenção e cuidado, pois durante o processo de extração dos óleos essenciais, podem ocorrer oxidação, hidrólise e outras

reações químicas, resultando em alterações na composição e qualidade do óleo essencial (Megawati et al., 2019).

Os principais constituintes dos óleos essenciais são categorizados em duas classes principais, de acordo com suas estruturas de esqueleto de hidrocarbonetos: os terpenoides ou terpenos, produzidos pela combinação de duas (monoterpeno), três (sesquiterpeno) ou quatro (diterpeno) unidades de isopreno, sendo os principais componentes o carvacrol e o timol, e os fenilpropanoides ou fenilpropenos, em que o cinamaldeído e o eugenol são os principais constituintes (Quadro 1). Ambas as famílias são constituídas por compostos fenólicos, às vezes identificados como constituintes primários de vários óleos essenciais (Lee et al., 2004, Nieto, 2017).

**Quadro 1.** Estrutura química dos principais compostos de óleos essenciais (Adaptado de Michiels, 2009).

Composto	Carvacrol	Timol	Citral	Eugenol	Cinamaldeído
<b>Estrutura química</b>					
<b>Fórmula</b>	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O
<b>Forma física</b>	Líquido incolor	Pó cris- talino branco	Líquido amarelo claro	Líquido incolor ou amarelo claro	Líquido amarelo claro

O maior grupo de substâncias presentes nos óleos essenciais corresponde aos terpenos e seus derivados oxigenados (Bhavaniramya et al., 2019). Os óleos essenciais comumente usados para os animais são carvacrol, timol, eugenol e cinamaldeído. Embora os óleos essenciais sejam compostos principalmente de fenilpropanoides e terpenoides, eles representam enorme variedade de compostos e estruturas químicas, resultando em grande variedade de propriedades (Aumeeruddy-Elalfi et al., 2018).

Os efeitos dos óleos essenciais se dão pela interação de todos os seus constituintes, sendo que dois ou três componentes podem representar até 85% da mistura total (Miguel, 2010). Os fenóis (timol e carvacrol) correspondem aproximadamente a 80% dos óleos essenciais do orégano (*Origanum vulgare*), e são os principais responsáveis

pelas atividades antibacteriana e antioxidante da planta. As atividades biológicas *in vivo* dependem em grande parte do perfil químico dos óleos essenciais (Zhai et al., 2018).

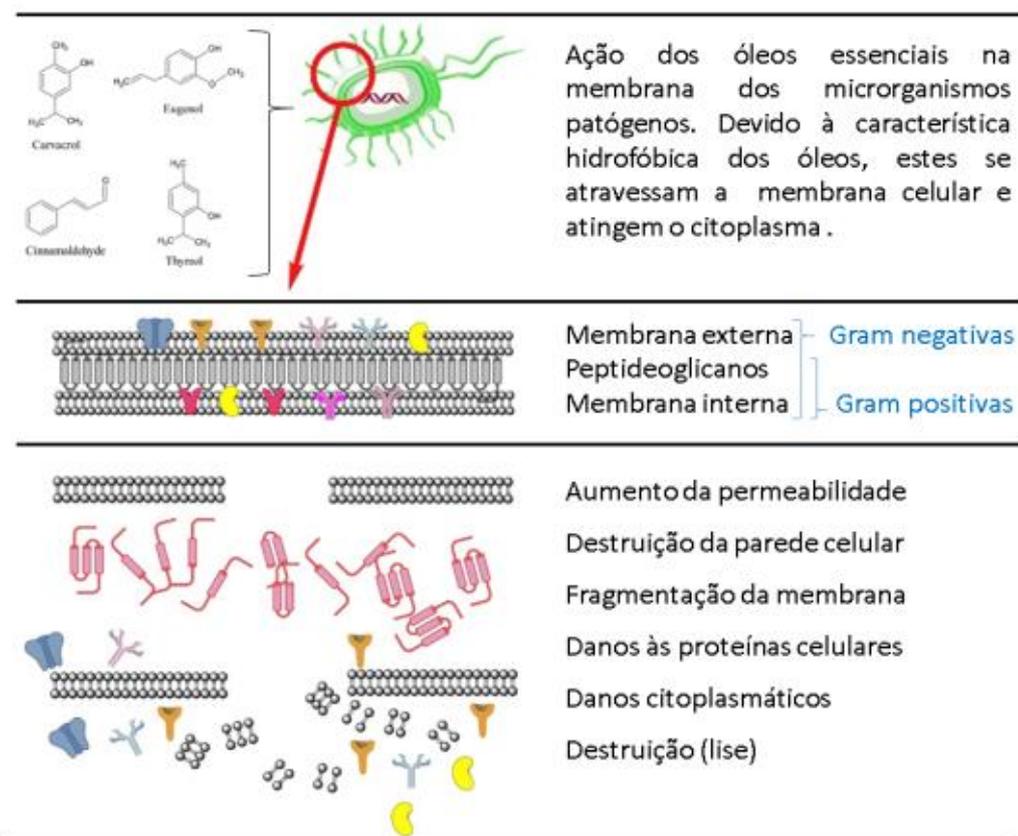
As propriedades farmacológicas (antimicrobianas, antioxidantes, antivirais etc.) e mecanismos de ação dos óleos essenciais foram comprovadas por meio de vários estudos. Suas características possibilitam a exploração de embalagens ativas, com objetivo de estender a vida útil e ao mesmo tempo manter a qualidade dos alimentos e a aplicação de tecnologias de micro e nano encapsulamento permitem direcionar e modular sua liberação, aumentando e potencializando seus efeitos (Jugreet et al., 2020).

## **2.1 MECANISMO DE AÇÃO ANTIMICROBIANA**

Diversos são os mecanismos de ação antimicrobiana dos óleos essenciais, podendo ocorrer danos às propriedades estruturais e funcionais da membrana celular (Nazzaro et al., 2013). O modo de ação dos óleos essenciais sobre os microrganismos ocorre pela interação da estrutura hidrofóbica com os lipídios de membrana das células. Ao ocorrer o contato dos compostos dos óleos com o microrganismo, provoca-se a perda de integridade da membrana, alterações na cadeia de transporte de elétrons, alterações na absorção de nutrientes, na síntese de proteínas, bloqueio do metabolismo energético celular, e resulta na consequente morte celular (Bhavaniramy et al., 2019), conforme representado na Figura 1.

A natureza hidrofóbica dos óleos essenciais é responsável pela interação com a membrana da célula, sendo que após entrarem no citoplasma da célula bacteriana, alguns componentes dos óleos essenciais se ligam aos sítios proteicos e promovem diversas alterações na organização da membrana, resultando em maior permeabilidade de membrana, perda do conteúdo intracelular e inibição da absorção de nutrientes, promovendo a morte das células (Hąc-Wydro, 2017). O aumento da permeabilidade da membrana celular dos microrganismos é causado pelos constituintes lipofílicos do óleo. A membrana citoplasmática é composta por uma bicamada fosfolipídica e os danos causados a sua integridade provocam alteração de todo funcionamento da célula (Ilić et al., 2019, Barbosa et al., 2020).

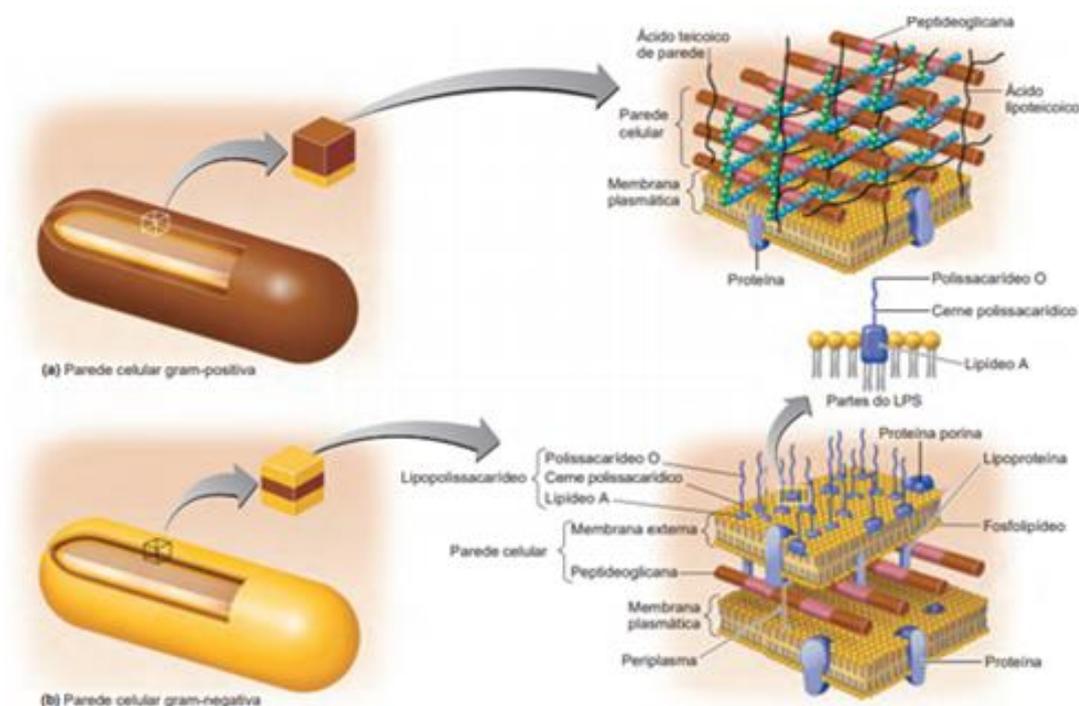
Existem diferenças entre os mecanismos antimicrobianos dos óleos essenciais sobre as bactérias gram-negativas e gram-positivas. Normalmente, as gram-negativas são mais resistentes, devido às diferenças em sua parede celular (Behbahani et al., 2019).



**Figura 1.** Principal modo de ação antimicrobiana dos óleos essenciais nos animais domésticos (Adaptado de Mishra et al., 2020).

As bactérias gram-negativas possuem sua estrutura celular mais complexa, contendo fina camada de peptidoglicano coberta por uma membrana externa de lipopolissacarídeo de natureza hidrofílica, que funciona como uma barreira seletiva, tornando mais impermeável. A membrana externa restringe a difusão de compostos hidrofóbicos dos óleos essenciais, limitando a entrada dos compostos bioativos na membrana celular (Behbahani et al., 2019). Já a membrana celular das bactérias gram-positivas é formada basicamente por peptidoglicano, tornando mais permeável e facilitando que os óleos essenciais penetrem no interior da célula, promovendo o efeito antimicrobiano (Nazzaro et al., 2013), conforme representado na Figura 2.

A seletividade da membrana citoplasmática controla suas funções celulares, sendo responsável pela entrada e saída de pequenos solutos e íons como  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $Ca^{2+}$ . Ao ocorrerem danos à membrana celular, promove-se alterações na homeostase microbiana, resultando em disfunções metabólicas que podem acarretar morte celular (Jugreet et al., 2020).



**Figura 2.** Paredes celulares em bactérias gram-positivas (a) e gram-negativas (b) (Adaptado de Tortora et al., 2012).

A interação de bactérias patogênicas com compostos antimicrobianos naturais como timol, carvacrol, limoneno, eugenol e cinamaldeído resulta em maiores danos na membrana celular das bactérias, gerando alterações no perfil lipídico das células, com redução na concentração de ácidos graxos insaturados (Di Pasqua et al., 2007). As células das bactérias precisam de energia para seu metabolismo basal, e a ação dos componentes de alguns óleos essenciais nas membranas celulares pode promover alterações enzimáticas da síntese de ATP intracelular, limitando a capacidade de sobrevivência da bactéria (Behbahani et al., 2019).

Em concentrações inibitórias e bactericidas mínimas, o óleo essencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) promoveu aumento na liberação do conteúdo intracelular de ácidos nucleicos e proteínas em células viáveis de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* (Zhang et al., 2016). Os óleos essenciais de cravo (*Syzygium aromaticum*) e de orégano (*Origanum vulgare*) apresentaram efeito no metabolismo energético da bactéria *S. aureus*, diminuindo o conteúdo de ATP intracelular e reduzindo a atividade enzimática de  $\text{Na}^+ \text{K}^+ - \text{ATPase}$  e  $\text{Ca}^{2+} - \text{ATPase}$  (Cui et al., 2019).

O mecanismo de ação do óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) pode estar associado à atividade inibitória na síntese de DNA, e sugere que ele possa atuar

durante o processo de transcrição do DNA em mRNA, na tradução do mRNA ou na replicação do DNA de bactérias. Sua atividade antimicrobiana resulta na redução do material genético na célula bacteriana pela inibição da síntese de ácidos nucleicos ou pelo extravasamento de DNA, por dano à membrana celular (Xu et al, 2016).

A concentração inibitória mínima (CIM) dos óleos essenciais é definida pela quantidade mínima de um composto antimicrobiano para inibir o crescimento de uma cultura de microrganismo. A CIM do óleo essencial individual pode ser diferente para cada bactéria ou cepa, e as condições laboratoriais também podem influenciar nos resultados (Mann & Markham, 1998). Os óleos essenciais comumente mais usados possuem diferentes valores de CIM sobre alguns patógenos bacterianos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Concentração inibitória mínima (CIM) do timol, eugenol, carvacrol e cinamaldeído sobre bactérias patogênicas.

<b>PRODUTO</b>	<b>BACTÉRIA</b>	<b>GRAM</b>	<b>CIM</b>
TIMOL	<i>Streptococcus phocae</i>	+	640 µg/mL
	<i>Escherichia coli</i> 0157:H7	-	166 µg/mL
	<i>Escherichia coli</i> K88	-	100 µg/ml
	<i>Lactococcus lactis</i>	+	1280 µg/mL
EUGENOL	<i>Salmonella</i>	-	156 µg/mL
	<i>Escherichia coli</i>	-	625 µg/mL
CARVACROL	<i>Escherichia coli</i> 0157:H7	-	283 µg/mL
	<i>Salmonella typhimurium</i>	-	167 µg/ mL
CINAMALDEIDO	<i>Escherichia coli</i>	-	133 µg/mL
	<i>Salmonella typhimurium</i>	-	100 µg/mL

(Adaptado de Yang et al., 2015).

Os resultados *in vitro* apresentam valores distintos dos resultados *in vivo*, pela quantidade de fatores que influenciam na ação dos óleos essenciais no organismo animal (Omonijo et al., 2018).

O carvacrol e timol apresentam estrutura lipofílica, que facilita a entrada na cadeia de ácidos graxos da membrana da célula das bactérias, permitindo expansão e maior fluidez da parede celular. Essas propriedades permitiram que o carvacrol e timol se tornassem importantes componentes de pesquisa na utilização dos óleos essenciais em

substituição aos antibióticos promotores de crescimento na alimentação de suínos (Omonijo et al., 2018).

Os óleos essenciais apresentam resultados positivos na nutrição e saúde animal e tornaram-se produtos com alto potencial para substituir os antibióticos promotores de crescimento utilizados nas rações. Apresentam efeitos benéficos na digestão, morfologia e microbiota intestinal, efeitos antioxidantes, saúde, desempenho e bem-estar animal (Franz et al., 2010, Wei et al., 2017).

O trabalho de Wei et al. (2017) verificou que o desmame de leitões reduziu a população do gênero *Lactobacillus* e aumentou as populações do gênero *Enterococcus* e *Escherichia* no jejuno. Com suplementação dietética em adição de 100 mg/kg de uma mistura de carvacrol e timol (1:1) na ração de leitões, os autores verificaram influência sobre as populações microbianas, reduzindo a quantidade de bactérias patogênicas no trato gastrointestinal dos animais.

## **2.2 EFEITOS SOBRE O ORGANISMO DE SUÍNOS**

### **2.2.1 INTEGRIDADE INTESTINAL**

O intestino dos suínos após o nascimento é rapidamente colonizado por microrganismos do ambiente e da dieta. Após a colonização, o intestino possui variados microrganismos distribuídos por todos os compartimentos do órgão e mudanças na composição da microbiota ocorrem com o avançar da idade e saúde do animal. Normalmente, a microbiota intestinal fica mais estável e resistente durante o crescimento animal, tornando os leitões mais suscetíveis à infecção por patógenos do que os animais adultos. A modulação da microbiota intestinal de animais jovens torna-se muito importante para se ter uma microbiota saudável e desenvolvida para melhor desempenho animal (Omonijo et al., 2018, Zhai et al., 2018).

Estudos *in vivo* indicaram que os óleos essenciais promovem modulação intestinal, reduzindo a quantidade de bactérias patogênicas. A utilização de óleos essenciais na dieta de suínos aumentou a concentração de bactérias do grupo *Lactobacillus* e diminuiu a de *E. coli* (Wei et al., 2017). A adição de óleos essenciais na alimentação de suínos pode modificar a microbiota intestinal, apresentando efeitos positivos sobre a saúde intestinal, digestão e absorção de nutrientes e conseqüentemente, melhoras no desempenho produtivo.

O intestino possui diversas funções vitais para a sobrevivência, incluindo absorção de nutrientes, eletrólitos e água, secreção de imunoglobulinas, citocinas e mucina, e proteção, formando uma barreira contra antígenos, toxinas e patógenos prejudiciais. As células epiteliais são importantes no sistema imunológico e podem detectar o início de respostas imunológicas ou inflamação por meio de citocinas. Essas citocinas são vitais para o recrutamento e ativação de diferentes tipos de células de defesa, como neutrófilos, macrófagos, linfócitos T e B (Pitman e Blumberg, 2000). O sistema imunológico intestinal age em resposta aos patógenos, mas, também mantém uma barreira aos antígenos derivados de bactérias comensais e dos alimentos (Pitman e Blumberg, 2000). Essas funções do sistema imunológico intestinal podem causar intolerância alimentar, inflamações e doenças (Yang et al., 2015).

Inflamações intestinais comprometem o crescimento e desenvolvimento do órgão, além de reduzir a absorção e utilização de nutrientes. Em suínos, podem ocorrer inflamações intestinais devido à nutrição (compostos alergênicos, micotoxinas), manejo (desmame, transporte) e infecções por patógenos, provocando alterações morfológicas intestinais, danos à mucosa, aumento da permeabilidade e baixa capacidade de absorção de nutrientes (Yang et al., 2015, Omonijo et al., 2018).

A inflamação pode não causar sintomas clínicos, porém há redução significativa do desempenho de crescimento e ocorrem perdas econômicas na produção de suínos. Estratégias dietéticas, em substituição aos antibióticos, são necessárias para inibir e/ou reduzir o processo inflamatório no intestino. Estudos demonstram que os alguns óleos essenciais, como o de orégano, podem influenciar como sinalizadores para o fator nuclear - kappa B (NF- $\kappa$ B) e fator nuclear eritroide 2 relacionado ao fator 2 (Nrf2), importantes componentes do sistema antioxidantes do organismo, suprimindo a inflamação (Zou et al., 2016, Fang et al., 2017). O óleo de orégano, por exemplo, já comprovou aumentar a expressão e translocação de Nrf2 e impedir a ativação de NF- $\kappa$ B (Zou et al., 2016).

Os óleos essenciais são capazes de promover a modulação intestinal com respostas imunológicas dos suínos por meio de diferentes vias de sinalização celular, com objetivo de melhorar a saúde intestinal e evitar perdas econômicas.

### **2.2.2 AÇÃO ANTIOXIDANTE**

O estresse oxidativo representa importante mecanismo químico no organismo e que provoca danos biológicos, podendo afetar o desempenho de crescimento e a saúde em

suínos, principalmente nos sistemas de produção atuais de alto desempenho. Os suínos são animais susceptíveis a problemas de saúde, e a exposição aos fatores de estresse, como desmame, desnutrição, doenças, estresse por calor, contaminação por micotoxinas, transporte e superlotação, promovem efeitos negativos sobre o desempenho (Omonijo et al 2018, Jugreet et al., 2020).

Esses agentes estressores são conhecidos por aumentar a produção de radicais livres ou espécies reativas ao oxigênio (EROs), e quando o sistema antioxidante é sobrecarregado pela produção de EROs, ocorre o estresse oxidativo. O estresse oxidativo pode provocar redução no desempenho, comprometimento da imunidade e maior susceptibilidade a doenças, degeneração muscular, redução do apetite, diarreia, aumento do risco de aborto em porcas gestantes, entre outros fatores prejudiciais à produção animal (Omonijo et al., 2018, Zhai et al., 2018).

O organismo animal possui elementos capazes de reduzir os danos causados pelos EROs, através da ação de enzimas antioxidantes e de desintoxicação em células, como a glutathione peroxidase, catalase, glutathione S-transferase, glutathione reductase, superóxido dismutase, entre outras. Essas enzimas são capazes de reestabelecer a homeostase celular (Mine et al., 2015).

Antioxidantes sintéticos como o hidroxianisol butilado (BHA) e hidroxitolueno butilado (BHT) são usados como aditivos alimentares nas dietas de suínos, com a finalidade de aumentar a estabilidade e proteger os nutrientes da oxidação, porém esses antioxidantes sintéticos não têm efeitos biológicos *in vivo*. Esse fator promoveu a busca por compostos naturais a fim de substituir os antioxidantes sintéticos na alimentação de suínos, mas, também promover efeitos no organismo animal e acrescentar benefícios zootécnicos (Yang et al., 2015).

Os óleos essenciais e extratos vegetais possuem efeitos antioxidantes comprovados e estão sendo utilizados com sucesso na alimentação animal (Zou et al., 2016, Liu et al., 2017). Estudo avaliando os efeitos antioxidantes do óleo essencial de orégano em células epiteliais do intestino delgado, principalmente nos enterócitos do jejuno de suínos, verificou que as EROs e malonaldeído (MDA) foram suprimidos pela ação do óleo na indução de marcadores dos sistemas antioxidantes importantes, como fator nuclear eritroide 2 (Nrf2), e outras enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD) (Zou et al., 2016).

Suínos alimentados com dieta com óleo essencial apresentaram maiores níveis de albumina, imunoglobulinas A e G (IgA e IgG) no sangue e menor escore fecal, reduzindo

a incidência de diarreia, quando comparados com suínos alimentados com dieta controle (Zeng et al., 2015).

O trabalho de Wei et al. (2017) verificou que o desmame resultou em estresse oxidativo intestinal, pelo aumento da concentração de EROs e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico presentes no intestino. O desmame aumentou os níveis de RNA mensageiro (mRNA) do fator de necrose tumoral  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), interleucina 1 $\beta$  e interleucina 6 (IL-6). Após a suplementação dietética com adição de 100 mg/kg de uma mistura de carvacrol e timol (1:1) na ração de leitões, os autores verificaram diminuição do estresse oxidativo intestinal associado ao desmame por meio da diminuição do RNA de TNF- $\alpha$ , sem alterar os biomarcadores da barreira intestinal dos animais.

A suplementação de óleos essenciais é um método promissor para amenizar os efeitos negativos do estresse oxidativo induzido por diferentes estressores em sistemas modernos de produção de suínos de alto desempenho.

### **2.2.3 INGESTÃO DE RAÇÃO**

Animais de produção, como os suínos, são alimentados com dietas nutricionalmente balanceadas, em que os ingredientes utilizados são, em sua maioria, padronizados. Esse fator levou a uma suposição de que os animais se adaptam em comer qualquer alimento que seja oferecido, desde que a dieta seja nutricionalmente balanceada. Porém, em diversos estudos avaliando anatomia, morfologia e fisiologia do trato gastrointestinal de suínos, observou-se que das espécies de mamíferos, os suínos possuem alta quantidade de papilas gustativas ( $n = 19904$ ), ou seja, a ingestão voluntária de alimentos pode ser influenciada por muitos fatores, principalmente as características dietéticas (Roura & Fu, 2017).

Os óleos essenciais normalmente apresentam odor forte, e pode tornar a ração atraente, aumentando a palatabilidade e despertando o interesse dos animais em consumir com maior frequência. O odor característico dos óleos essenciais também pode prejudicar o consumo alimentar, impedindo que os animais ingiram a ração pelo cheiro e sabor forte e repulsivo (Zhai et al., 2018). Os efeitos dos óleos essenciais sobre o consumo de ração de suínos apresentam diferentes resultados sobre a ingestão de ração. Alguns trabalhos apresentam redução de até 9% no consumo, enquanto outros resultaram em acréscimo de até 19% na ingestão de ração com inclusão de óleos essenciais (Franz et al., 2010, Zeng et al., 2015).

## 2.2.4 DESEMPENHO PRODUTIVO E CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA

Em trabalho de Zou et al. (2016) avaliou o efeito da adição de vitamina E (Vit E - 200mg/kg), quercetina (25mg/kg) e óleo essencial de orégano (OE - 25mg/kg) na perda de peso, características de carcaça, qualidade da carne e status antioxidante em suínos em terminação após o transporte para o abatedouro. Após 28 dias de alimentação experimental, o peso corporal final e ganho de peso médio dos grupos OE e quercetina foram maiores ( $p < 0,05$ ). Após 5 horas de transporte, não houve diferença no peso corporal entre os tratamentos, mas o comprimento de carcaça, espessura de toucinho e peso de carcaça quente foram maiores ( $P < 0,05$ ) para os animais alimentados com OE em comparação com os grupos controle e vit E.

A perda de água por gotejamento em 24 horas pós-abate, foi menor para os grupos OE ou quercetina ( $P < 0,05$ ). A atividade das enzimas glutathione peroxidase (soro e fígado) e superóxido dismutase (soro) foram maiores nos grupos OE e quercetina ( $P < 0,05$ ). Com esses resultados, o óleo essencial de orégano possui efeitos positivos no desempenho de suínos em terminação e pode atuar reduzindo o estresse de transporte e possíveis perdas na qualidade de carne.

Cheng et al. (2018) avaliaram os efeitos da suplementação de óleo essencial de orégano (OE: 250mg/kg) em uma dieta com proteína reduzida no desempenho de crescimento, digestibilidade de nutrientes, bactérias intestinais, morfologia intestinal e capacidade antioxidante de suínos em crescimento e terminação. Os resultados obtidos mostraram que a suplementação de OE aumentou o ganho de peso médio, mas o maior consumo diário de ração e espessura de toucinho da 10<sup>a</sup> costela foram do grupo alimentados com antibiótico. Suínos alimentados com OE apresentaram maior digestibilidade aparente de proteína bruta, aumento na altura das vilosidades do jejuno e maior capacidade antioxidante total no fígado e plasma dos suínos.

Os tratamentos com antibiótico e óleos essenciais também mostraram contagens mais baixas de *Escherichia coli* na digesta ileal. Em conclusão, a suplementação OE na dieta pode melhorar o desempenho do crescimento e a digestibilidade dos nutrientes de suínos ao modular as bactérias intestinais, a morfologia intestinal e a capacidade antioxidante.

### 2.2.5 QUALIDADE DA CARNE

A carne possui ampla composição química e *in natura* apresenta prazo curto de validade, sendo suscetível à contaminação, e resulta nas alterações de qualidade, cor, proliferação de microrganismo prejudiciais à saúde, além de perdas econômicas (Doulgeraki et al., 2012).

O uso de antimicrobianos naturais na dieta de suínos, que em pequenas dosagens possuem baixa toxicidade e são extraídos de fontes naturais, é apontado como alternativa positiva e que pode contribuir para a qualidade e segurança microbiológica dos alimentos (Marques et al., 2019). Diversas pesquisas com alimentos de origem animal, como carnes e processados, evidenciam a atividade antimicrobiana de óleos essenciais, e possibilitam a sua aplicação como conservantes naturais, na dieta dos animais ou mesmo no preparo de embutidos e carnes temperadas.

As propriedades antioxidantes dos óleos essenciais se mostraram eficazes em retardar o processo de peroxidação lipídica em óleos e alimentos gordurosos, despertando o interesse em novas pesquisas, principalmente na indústria alimentar. Plantas da família *Labiatae*, como o alecrim, orégano e sálvia são muitos estudados por sua efetiva atividade antioxidante (Yanks e Rouras, 2010). A oxidação lipídica ocorre em grande escala em alimentos de origem animal, apresentando como grande problema durante o processamento, cozimento e armazenamento refrigerado da carne. Afeta a qualidade do produto devido à perda da cor, odor e sabor desejáveis, e encurta o prazo de validade (Silva et al., 2021).

Após o abate, a velocidade do declínio do pH e a capacidade de oxidação do organismo dos animais influenciam na qualidade de carne. Em trabalho recente, Gian et al. (2020) avaliaram a adição de 0,01% de timol na dieta e suínos em terminação e não verificaram diferenças no desempenho produtivo, mas a suplementação promoveu efeitos sobre a qualidade de carne, reduzindo a perda de água por gotejamento e atividade de enzimas glicolíticas no músculo *longissimus dorsi*.

Ao avaliar os efeitos de diferentes concentrações de cinamaldeído (40 e 80mg de cinamaldeído por kg de ração) no desempenho de crescimento, estabilidade oxidativa, função imunológica e qualidade da carne de suínos em terminação, Luo et al. (2020b) observaram que o aditivo aumentou a área do músculo *longissimus dorsi* e o pH após 24h de abate foi maior comparado ao controle, além de reduzir a espessura de toucinho, força de cisalhamento, gordura intramuscular, pontuação de marmoreio e o potencial

glicolítico. O cinamaldeído aumentou a concentração da enzima glutathione peroxidase e reduziu o conteúdo de malondialdeído. A atividade das enzimas glicolíticas também foram reduzidas com a suplementação e o cinamaldeído dietético pode melhorar a qualidade da carne de suínos em terminação, promover maior capacidade antioxidante e reduzindo a atividade glicolítica da carne de suínos.

Pesquisas apontam que o cinamaldeído pode influenciar no tecido adiposo do animal, ativar termogênese e alterar metabolismo energético (Jiang et al., 2017), enquanto outros estudos citam que o mesmo componente pode formar e depositar gordura no organismo, por ser um ácido graxo, e afetar na qualidade da carne (Yuan et al., 2016). Ainda há divergências entre os resultados com a adição de óleos essenciais na alimentação de suínos pela ampla variedade de fatores que influenciam desde a obtenção do produto até o processamento da carne suína.

### 3 ÁCIDOS ORGÂNICOS

Os ácidos orgânicos são componentes importantes, pois desempenham efeito no valor nutricional e na qualidade dos alimentos, promovendo efeitos nas propriedades organolépticas e sensoriais (sabor, cor e aroma). Devido à característica de reduzir o pH, os ácidos orgânicos também são usados como aditivos e conservantes de alimentos, provocando efeito bacteriostático (Xin et al., 2021).

Os ácidos orgânicos são classificados em três categorias principais (tabela 2): ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), ácidos graxos de cadeia média (AGCM) e ácidos tricarbóxicos (ATC). Os AGCC são ácidos carboxílicos com no máximo 5 átomos de carbono, os principais são os ácidos fórmico, acético, propiônico e butírico. São produzidos pela fermentação microbiana no intestino dos animais e possuem papel fundamental para mucosa intestinal. São comumente usados como acidificantes, inoculantes e conservantes de rações e silagens pela forma física líquida em temperatura ambiente (Lückstädt, 2009, Zentek et al., 2011, Tugnoli et al., 2020).

Os AGCM têm cadeias com 6 a 12 átomos de carbono, os principais são os ácidos caproico, caprílico, cáprico e láurico (Tugnoli et al., 2020). São ácidos que apresentam alto valor de pKa, valor de pH no qual 50% do ácido é encontrado na forma dissociada, e que possui como característica principal a atividade antibacteriana. Já os ATC, ácido cítrico, fumárico, málico e  $\alpha$ -cetogluturato, são intermediários do metabolismo energético. Além dessas categorias, existem alguns ácidos orgânicos, como ácido

benzoico, sórbico e láctico, que também são amplamente utilizados na preservação de alimentos e rações (Mroz, 2005, Lückstädt, 2009, Zentek et al., 2011, Tugnoli et al., 2020).

Há muitos anos, os ácidos orgânicos são considerados poderosos antimicrobianos na preservação de alimentos, mas, atualmente seu papel na nutrição animal atingiu a mesma importância. Algumas propriedades são avaliadas ao utilizar ácidos orgânicos na nutrição animal, como a forma física, odor e sabor, solubilidade em água, valor de pKa, aspecto de segurança, entre outros. Os ácidos orgânicos mais comuns e suas propriedades são demonstrados no Quadro 2 (Suiryanrayna & Rana, 2015, Tugnoli et al., 2020).

**Quadro 2.** Ácidos orgânicos comumente utilizados e suas propriedades (Adaptado de Tugnoli et al., 2019).

<b>Categoria</b>	<b>Ácido</b>	<b>Forma molecular</b>	<b>Valor de pKa</b>	<b>Forma física</b>	<b>Odor / Sabor</b>
<b>Cadeia curta</b>	Fórmico	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.75	Líquido incolor	Odor forte
	Acético	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	4.74	Líquido incolor	Odor forte / Sabor azedo e ardente
	Propiônico	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	4.88	Líquido incolor oleoso	Odor muito forte e rançoso
	Butírico	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	4.82	Líquido incolor oleoso	Odor rançoso / Sabor ácido e adocicado
<b>Cadeia média</b>	Caproico (Hexanoico)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	5.09	Líquido oleoso incolor para amarelo-claro	Odor forte / Sabor azedo e ardente
	Caprílico (Octanoico)	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	4.89	Líquido oleoso incolor para amarelo-claro	Odor forte
	Cáprico (Decanoico)	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	4.90	Pó branco cristalino	Odor forte
	Láurico (Dodecanoico)	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	5.30	Flocos brancos	Odor forte
<b>TCA</b>	Cítrico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	3.13	Pó cristalino branco ou incolor	Inodoro / Sabor levemente azedo
			4.76		
			6.49		
	α-cetaglutarato	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	2.47	Pó cristalino branco	Inodoro
			4.68		
	Fumárico	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	3.02		Inodoro / Sabor de fruta

			4.76	Pó cristalino branco	
	Málico	$C_4H_6O_5$	3.40	Pó cristalino branco ou	Inodoro
			5.10	líquido	
<b>Outros</b>	Sórbico	$C_6H_8O_2$	4.76	Pó cristalino branco ou grânulos	Inodoro / Sabor azedo
	Benzoico	$C_7H_6O_2$	4.19	Pó cristalino incolor	Odor forte / Sabor amargo
	Lático	$C_3H_6O_3$	3.86	Líquido viscoso incolor para amarelo ou cristais	Inodoro / Sabor azedo

### 3.1 MECANISMO DE AÇÃO ANTIMICROBIANA

No organismo do animal, os ácidos orgânicos apresentam atividade antimicrobiana e esse efeito depende do comprimento da cadeia de carbono e do grau de insaturação, mas no geral o pKa do ácido influencia seu mecanismo de ação antimicrobiano. Em 1997, Russell e Diez-Gonzalez demonstraram que o efeito inibitório da ácidos orgânicos são altamente relacionados à sua forma indissociada. Com base no pH ambiental e valores de pKa, os ácidos orgânicos em sua forma indissociada podem se difundir através da membrana da célula bacteriana e dissociar-se dentro da célula, liberando íons  $H^+$  e diminuindo o pH intracelular (Russell e Diez-Gonzalez, 1997).

Os ácidos orgânicos são bacteriostáticos, inibindo o crescimento das bactérias, e, também são bactericidas que promovem a morte das bactérias. Os ácidos orgânicos na forma indissociada são lipofílicos, possuem capacidade de atravessar a membrana celular de bactérias gram-negativas, como exemplo a *Salmonella*, e ao penetrar dentro da célula, o pH citosólico mais elevado faz com que o ácido se dissocie, liberando íons hidrogênio ( $H^+$ ), e provoca a redução do pH intracelular (Figura 3). O metabolismo das bactérias depende de atividades enzimáticas, que é prejudicado pelo pH mais baixo. Para restabelecer o equilíbrio e garantir sobrevivência, a célula utiliza energia para expelir prótons pela membrana, através da bomba  $H^+ - ATPase$ , para restaurar o pH citoplasmático ao normal. Durante um período de exposição a um ácido orgânico, esgota

a reserva energética das bactérias, o metabolismo para sobrevivência é cessado e promove a morte celular.

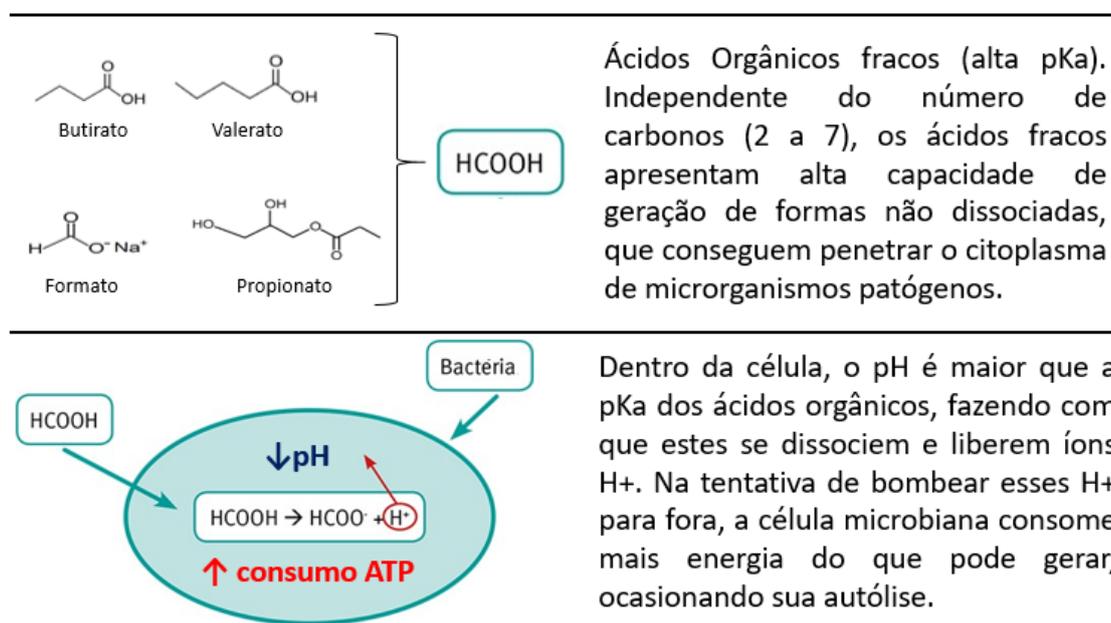


Figura 3: Principal modo de ação antimicrobiano dos ácidos orgânicos nos animais domésticos (Adaptado de Theobald, 2019).

Controlar as bactérias possivelmente prejudiciais e manter equilibrada a população bacteriana dentro do intestino é muito importante. Há muitos anos os ácidos orgânicos são pesquisados e se mostraram capazes de alterar a microbiota gastrointestinal, reduzindo a quantidade das espécies bacterianas que são intolerantes ao pH mais ácido, como *Escherichia coli* e *Salmonella sp.*. Também foi demonstrado que os ácidos orgânicos têm maior ação na inibição de bactérias gram-positivas do que nas gram-negativas, pelas diferenças estruturais das bactérias (Suiryanrayna & Rana, 2015).

### 3.2 EFEITOS SOBRE O ORGANISMO DE SUÍNOS

A ação antimicrobiana dos ácidos orgânicos inicia-se durante o processo de produção e armazenamento da alimentação dos animais. Nas rações, os ácidos orgânicos são adicionados com objetivo de inibir a deterioração provocada por microrganismos e manter a qualidade higiênica. A sua utilização é autorizada, considerada segura e são classificados como aditivos conservantes. Os microrganismos podem ter rápido crescimento durante o armazenamento das rações, principalmente com alta umidade e

locais mais quentes. Os ácidos orgânicos podem reduzir o pH da ração, alterando as condições de crescimento de microrganismos, evitando a degradação de nutrientes, preservando a qualidade da dieta e garantindo segurança alimentar (Lückstädt, 2012, Tugnoli et al., 2020).

A eficácia dos ácidos orgânicos pode não ser eficiente na forma desprotegida, pois são rapidamente absorvidos e metabolizados no início do trato gastrointestinal. Para garantir maior estabilidade, tecnologias de revestimento foram desenvolvidas, como por exemplo a microencapsulação dos aditivos (Temiz e Ozturk, 2018), que permite a ejeção lenta ao longo do intestino, permitindo sua ação por diferentes segmentos intestinais (Upadhaya et al. 2014). Os ácidos orgânicos microencapsulados com ácidos graxos de cadeia média mantêm o pH ideal no trato intestinal e melhoram a digestibilidade dos nutrientes (Upadhaya et al. 2014).

Pesquisas com a utilização de ácidos orgânicos são realizadas nas últimas décadas por promover efeito positivo no crescimento dos suínos, tornando-se numa alternativa válida para a produção. Os ácidos orgânicos são relatados como melhoradores de crescimento durante todo ciclo produtivo de suínos, mas apresentam alta variação nas respostas devido ao tipo e dosagem, período e duração da suplementação, tipo de dieta, capacidade tampão, saúde e bem-estar dos animais, higienização do ambiente e idade (Tugnoli et al., 2020).

### **3.3 INTEGRIDADE INTESTINAL E DESEMPENHO PRODUTIVO**

O intestino dos animais é composto por uma barreira de enterócitos e junções celulares que são responsáveis por regular o fluxo de entrada de solutos e macromoléculas. Em caso de inflamação, a barreira epitelial e a função das junções são prejudicadas, reduzindo a capacidade do enterócito de absorver nutrientes e consequentemente ocorrem prejuízos no desempenho de crescimento associado a um aumento de infecções. Os danos causados na função da barreira intestinal pela inflamação no desmame podem repercutir em idades posteriores. Portanto, a importância de manter uma mucosa saudável e uma barreira intestinal seletiva nesta fase crítica parece estratégica para o desempenho de suínos (Boudry et al., 2002, Smith et al., 2010).

Com efeito semelhante aos antibióticos, os ácidos orgânicos têm atividade antimicrobiana. Os ácidos podem penetrar na parede celular de algumas bactérias e interromper o metabolismo basal. Ocorre a redução na quantidade de algumas espécies

de bactérias intestinais, inclusive as patogênicas, quando os animais são alimentados com ácidos orgânicos. De modo geral, esses aditivos melhoram o desempenho produtivo dos suínos, reduzindo a competição de bactérias por nutrientes, diminuindo o risco de infecções subclínicas, melhorando a resposta imune intestinal e reduzindo possíveis quedas no desempenho e perdas econômicas na suinocultura (Suiryanrayna & Ramana, 2015).

Os ácidos orgânicos atuam na redução do pH do estômago dos suínos, promovendo efeito importante, sobretudo para animais jovens. A digestão das proteínas começa no estômago com a secreção de pepsinogênio pela mucosa estomacal, que em pH abaixo de 4,0, é convertido lentamente em pepsina. A digestão enzimática das proteínas é mais efetiva em ambiente ácido, com pH 2,0 a 3,5 (Hansen et al., 2007, Suiryanrayna et al., 2015, Tugnoli et al., 2020).

Em leitões, a secreção de ácido no estômago é baixa e a principal fonte de acidez é a fermentação da lactose ingerida. A secreção de ácido clorídrico (HCl) no estômago é estimulada pela ingestão de ração, mas para leitões, o consumo é baixo nas primeiras semanas e altos níveis de lactato no estômago inibem a secreção de HCl. No desmame, a baixa secreção de ácido, falta de substrato de lactose e a ingestão de ração podem resultar em pH elevado, maior que 5,0. O aumento do pH estomacal, após o desmame, reduz a digestão da ração que pode sofrer fermentação no intestino e provocar diarreia. Um pH gástrico alto permite maior sobrevivência de patógenos, que poderão colonizar o trato digestivo do animal e ser prejudiciais para o desempenho produtivo dos suínos.

Em estudo para avaliar os efeitos da suplementação dietética (0,1%, 0,2% e 0,4%) de misturas de ácidos orgânicos protegidos (17% de ácido fumárico, 13% de ácido cítrico, 10% de ácido málico, 1,2% de AGCM: ácido cáprico e caprílico) no desempenho de crescimento de suínos, Uphadaya et al. (2014) verificaram aumento linear ( $P < 0,05$ ) no ganho de peso médio e eficiência alimentar. A suplementação de 0,2% aumentou as contagens da população de *Lactobacillus* fecal (linear,  $P = 0,01$ ). O resultado sugere que o ácido orgânico protegido tem o potencial de aumentar o desempenho do crescimento e melhorar a população microbiana benéfica de suínos em crescimento (Uphadaya et al., 2014).

O ácido butírico ou butirato é um AGCC e é um dos principais produtos da fermentação bacteriana no cólon. Possui efeito antidiarreico, por promover sua absorção conjunta com a de sódio, potássio e água. Também possui efeito sobre a proteção do epitélio intestinal, estimulando a síntese de mucinas e reduzindo a translocação

bacteriana, por reduzir a expressão de um composto associado à translocação de *Salmonella*. A administração oral de butirato permite ação benéfica no estômago e intestino delgado, aumentando a secreção pancreática e a atividade enzimática da borda em escova do jejuno, que pode promover maior capacidade digestiva e de absorção do intestino (Leonel et al., 2012).

Além de promover efeito no desempenho animal, os ácidos orgânicos aumentam a digestibilidade de nutrientes e se tornam importantes aliados para a diminuição da poluição ambiental provocada pela produção animal, pois reduzem a excreção de nitrogênio e fósforo no meio ambiente (Lei et al., 2017), além de reduzirem a emissão de gases (Nguyen e Kim, 2020).

Os ATC contribuem no metabolismo energético e sua utilização na alimentação de suínos como acidificantes pode promover um efeito intestinal duplo, com suas propriedades ácidas e um papel metabólico (He et al., 2015). Diversos estudos demonstraram que os ácidos tricarbóxicos quando adicionados nas dietas de suínos influenciam positivamente sobre a saúde intestinal. Os ATC são metabolizados dentro dos enterócitos e possuem efeito local, melhorando as funções digestivas e absorptivas (Tugnoli et al., 2020). O ácido alfa-cetoglutarato também apresenta efeitos benéficos na morfologia intestinal, capacidade antioxidante, barreira seletiva e na absorção de nutrientes (He et al., 2015). Em leitões desmamados e desafiados com endotoxina bacteriana (Lipopolissacarídeo de *E. coli* – LPS *E. coli*), a suplementação de alfacetoglutarato na dieta promoveu melhoras na morfologia intestinal na função absorptiva do intestino, reduzindo as lesões provocadas pela LPS - *E. coli* (He et al., 2017).

Trabalho de Chen et al. (2017) avaliou a adição dietética de 1% de alfa-cetoglutarato no desempenho de crescimento, balanço de nitrogênio (N) e o metabolismo de cálcio (Ca) e fósforo (P) em suínos em crescimento e verificou que animais suplementados apresentaram maior ganho de peso diário e menores excreções de N e P na urina. A digestibilidade aparente de N e utilização líquida de proteína aumentaram 2,43% e 11,84%, respectivamente. A suplementação com alfa-cetoglutarato reduziu a excreção fecal e urinária de Ca, enquanto aumentou a digestibilidade aparente de Ca e P em 14,51% e 16,62%, respectivamente. Os resultados indicam que suínos suplementados com alfa-cetoglutarato melhoram a digestibilidade de N, Ca e P.

### 3.4 DESEMPENHO, CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA E QUALIDADE DA CARNE

O desempenho de crescimento, composição e qualidade da carcaça de suínos são influenciados pela base genética, alimentação, condições ambientais e sanitárias, manejo pré-abate, processamento da carcaça e carne, entre outros. Ferramentas são utilizadas para tentar modificar a composição e padrão da carne suína, para manipular a taxa de crescimento e promover diferenças na deposição de músculo e gordura intramuscular, que estão associadas às características sensoriais da carne. Estudos demonstram que há pequenas influências da alimentação na composição da gordura intramuscular da carcaça, mas que a suplementação com ácidos graxos e antioxidantes podem apresentar efeitos positivos (Lebret, 2008). Com esses fatos, os óleos essenciais e ácidos orgânicos são importantes alternativas estudadas para promover efeitos sobre a qualidade de carne.

Estudo realizado com 120 suínos em terminação para avaliar os efeitos da adição de 0,1 e 0,2% de ácidos orgânicos (17% de ácido fumárico, 13% de ácido cítrico, 10% de ácido málico, 1,2% de ácido cáprico e caprílico) verificou aumento linear no ganho médio diário com o aumento do nível de inclusão na dieta. A digestibilidade de matéria seca, de nitrogênio e da energia foi maior (efeito linear,  $P < 0,001$ ) com o aumento da dose de ácidos orgânicos. A suplementação aumentou a área do músculo *longissimus lumborum*, além de promover efeito sobre a cor e firmeza da carne. A mistura de ácidos orgânicos protegidos a 0,2% afetou positivamente o desempenho de crescimento, a digestibilidade dos nutrientes, a emissão de gases fecais e a qualidade da carne em suínos em terminação, sem quaisquer efeitos adversos nos parâmetros sanguíneos (Upadhaya e al., 2014).

Morel et al. (2019) avaliaram os efeitos de dietas contendo ácido benzoico (4,95 g / kg de dieta), butirato de sódio (1,47 g / kg) e butirato de sódio revestido com ácido benzoico (0,9 g / kg revestido 2,1 g / kg) sobre o desempenho, digestibilidade, morfologia intestinal e qualidade da carne de suínos (machos e fêmeas de 30 a 90 kg de peso vivo). Os autores verificaram que não houve diferença significativa para a digestibilidade e medidas histológicas do intestino. Suínos machos tiveram maiores valores ( $P < 0,05$ ) para desempenho, e, conseqüentemente, maior peso de carcaça. Animais que consumiram o butirato apresentaram diferenças na coloração da carne e maior porcentagem de perda de água por gotejamento. Porém, os autores concluíram que os ácidos orgânicos não alteram a composição de carcaça e a qualidade da carne de suínos.

O uso de ácidos orgânicos na alimentação de suínos em crescimento e terminação apresenta efeitos menores, comparados à utilização em leitões pós-desmame (Morel et al., 2019). Diversos pesquisadores afirmam que os ácidos orgânicos podem promover efeitos de considerados promotores de crescimento, porém exercem efeitos mínimos sobre a composição de carcaça e qualidade de carne (Cho et al., 2015, Morel et al., 2019).

#### 4 SINERGISMO ENTRE ÓLEOS ESSENCIAIS E ÁCIDOS ORGÂNICOS

Por apresentar diversas características benéficas, principalmente a ação antimicrobiana, na utilização dos óleos essenciais e ácidos orgânicos de forma isolada, pesquisas são realizadas com a adição conjunta dos dois compostos. Alguns resultados já têm se mostrado eficazes devido ao efeito sinérgico da ação dos óleos essenciais e ácidos orgânicos (Giannenas et al., 2014). O mecanismo de ação sinérgica dos óleos essenciais estão ilustrados na figura 3: 1) Os óleos essenciais, por apresentarem estrutura hidrofóbica, podem aumentar a permeabilidade das membranas celulares das bactérias. 2) Ao ocorrer o contato dos compostos dos óleos com o microrganismo, provocam perda de integridade da membrana bacteriana e permitem que os ácidos orgânicos se difundam facilmente nas células microbianas. 3) Com a entrada facilitada dos ácidos orgânicos, ocorrem alterações na cadeia de transporte de elétrons, na absorção de nutrientes, esgotamento do metabolismo energético celular e, conseqüentemente, a morte celular (Giannenas et al., 2014, Abdelli et al., 2019).

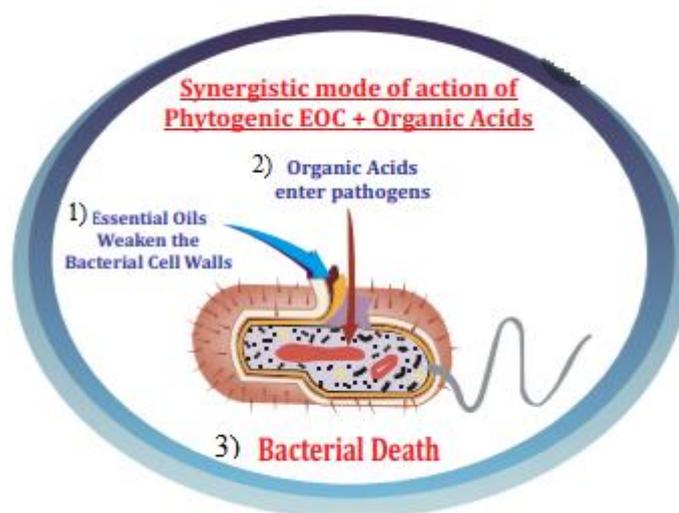


Figura 4: Sinergismo da ação dos óleos essenciais e ácidos orgânicos nas bactérias (Adaptado de Chalikwar, 2020).

Tecnologias foram desenvolvidas para proteger e modificar o tempo de ação dos aditivos. A microencapsulação dos ácidos orgânicos e óleos essenciais previne a sua absorção no início do trato gastrointestinal, permitindo ação antimicrobiana mais efetiva em porções inferiores do sistema digestivo (Choi et al., 2019).

A suplementação de 0,025 e 0,050% de uma mistura de ácidos orgânicos (25% ácidos cítrico e 16,7% de ácido sórbico) e óleos essenciais (1,7% de timol e 1,0% de vanilina) microencapsulados na alimentação de suínos em terminação promoveu aumento linear ( $P < 0,05$ ) no peso corporal final de 1,99% e 2,81% comparados à dieta controle. A adição da mistura também aumentou linearmente ( $P < 0,05$ ) o consumo diário de ração e o ganho de peso médio. Mesmo com as diferenças no desempenho dos animais, as diferentes dietas não promoveram efeitos ( $p > 0,05$ ) sobre as características de carcaça. As análises de coloração da carne, avaliação sensorial, perda por cocção, perda de água por gotejamento, pH e área do músculo *longissimus lumborum* não diferiram entre a dieta controle e a adição da mistura de ácidos orgânicos e óleos essenciais microencapsulados (Cho et al., 2014).

Walia et al. (2017) avaliaram a eficácia de uma mistura microencapsulada de ácido fórmico, ácido cítrico e óleos essenciais (4kg/t) no controle de *Salmonella* em suínos em terminação. Os autores coletaram as fezes dos animais nos dias 0, 14 e 28, e sangue, digesta cecal e os linfonodos mesentéricos no dia 29. No dia 14, a eliminação de *Salmonella* reduziu no grupo com aditivo e permaneceu estável até o final do experimento. Sugere-se que o aditivo alimentar evitou que os animais contraíssem infecção por *Salmonella*. Porém, não foram observadas diferenças significativas na digesta cecal ou nódulos linfáticos entre os grupos. Os animais alimentados com a mistura tiveram consumo de ração menor do que os alimentados com a dieta controle, mas sem diferenças no desempenho. Os resultados sugerem que a administração estratégica de uma mistura encapsulada de ácidos orgânicos e óleos essenciais para suínos em terminação tem potencial para prevenir a proliferação de *Salmonella*.

A cadeia produtiva de suínos depende, principalmente de um desempenho de crescimento satisfatório, que está intimamente relacionado com a saúde do trato gastrointestinal, microflora equilibrada, eficiência na digestão e absorção de nutrientes. Para driblar e reduzir os problemas durante o processo produtivo, e evitar perdas econômicas, é necessário a utilização de eficazes aditivos para rações. Entre as alternativas para os antibióticos promotores de crescimento, os óleos essenciais e ácidos

orgânicos, usados de forma isolada ou em misturas, apresentam efeitos interessantes e satisfatórios para utilização na alimentação de suínos.

## REFERÊNCIAS

Abdelli, N., Pérez, J. F., Vilarrasa, E., Cabeza Luna, I., Melo-Duran, D., D'Angelo, M., & Solà-Oriol, D. (2020). Targeted-release organic acids and essential oils improve performance and digestive function in broilers under a necrotic enteritis challenge. *Animals*, v. 10, n. 2, p. 259.

Alarcon-Rojo, A.D. (2013). Meat Quality and Lipid Oxidation of Pork after Dietary Supplementation with Oregano Essential Oil. *World Applied Sciences Journal*, v. 21, n. 5, p. 665-673 (DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.21.5.7175).

Aumeeruddy-Elalfi, Z., Lall, N., Fibrich, B., Van Staden, A. B., Hosenally, M., & Mahomoodally, M. F. (2018). Selected essential oils inhibit key physiological enzymes and possess intracellular and extracellular antimelanogenic properties in vitro. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 232-243.

Barbosa, L.N., Alves, F.C.B., Andrade, B.F.M.T., Albano, M. et al. (2020). Proteomic analysis and antibacterial resistance mechanisms of *Salmonella Enteritidis* submitted to the inhibitory effect of *Origanum vulgare* essential oil, thymol and carvacrol, *Journal of Proteomics*, v. 214, 103625, ISSN 1874-3919, (DOI: 10.1016/j.jprot.2019.103625).

Behbahani, B. A., Noshad, M., & Falah, F. (2019). Study of chemical structure, antimicrobial, cytotoxic and mechanism of action of *Syzygium aromaticum* essential oil on foodborne pathogens. *Potravinarstvo*, 13(1).

Bhavaniramy, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., Vijayakumar, R., Baskaran, D. (2019). Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications, *Grain & Oil Science and Technology*, v. 2, Issue 2, p. 49-55, ISSN 2590-2598 (DOI: 10.1016/j.gaost.2019.03.001).

Brenes, A., Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action, *Animal Feed Science and Technology*, v. 158, Issues 1–2, p. 1-14, ISSN 0377-8401, (DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.03.007).

Brian M. Lawrence, B.M.. (1986). Essential Oil Production: A Discussion of Influencing Factors. *Biogenesis of Aromas*, v. 317, p. 363 – 369 (DOI: 10.1021/bk-1986-0317.ch027).

Brown, K., Uwiera, R.E.R., Kalmokoff, M.L, Brooks, S.P.J., Inglis, G.D. (2017). Antimicrobial growth promoter use in livestock: a requirement to understand their modes of action to develop effective alternatives, *International Journal of Antimicrobial Agents*, v. 49, p. 12-24, ISSN 0924-8579 (DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2016.08.006).

Boudry, G., Lallès, J. P., Malbert, C. H., Bobillier, E., & Sève, B. (2002). Diet-related adaptation of the small intestine at weaning in pigs is functional rather than structural. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, v. 34, n. 2, p. 180-187.

Chen, J. S., Wu, F., Yang, H. S., Li, F. N., Jiang, Q., Liu, S. J., ... & Yao, K. (2017). Growth performance, nitrogen balance, and metabolism of calcium and phosphorus in growing pigs fed diets supplemented with alpha-ketoglutarate. *Animal Feed Science and Technology*, v. 226, p. 21-28.

Cheng Yang, M.A., Chowdhury, K., Huo, Y., Gong, J. (2015). Phytogetic Compounds as Alternatives to In-Feed Antibiotics: Potentials and Challenges in Application. *Pathogens*, v. 4(1), p. 137-156 (DOI: 10.3390/pathogens4010137)

Cheng, C., Xia, M., Zhang, X., Wang, C., Jiang, S., Peng, J.(2018). Supplementing Oregano Essential Oil in a Reduced-Protein Diet Improves Growth Performance and Nutrient Digestibility by Modulating Intestinal Bacteria, Intestinal Morphology, and Antioxidative Capacity of Growing-Finishing Pigs. *Animals*, v. 8, p. 159, (DOI: 10.3390/ani8090159)

Chalikwar, A. (2020). Essential oil fortification and their applications in poultry. Zonal Technical Manager, Provet Pharma Private Limited, Chennai, India.

Cheng, C., Liu, Z., Zhou, Y., Wei, H. et al. (2017). Effect of oregano essential oil supplementation to a reduced-protein, amino acid-supplemented diet on meat quality, fatty acid composition, and oxidative stability of Longissimus thoracis muscle in

growing-finishing pigs, *Meat Science*, v. 133, p. 103-109, ISSN 0309-1740, (DOI: 10.1016/j.meatsci.2017.06.011).

Choi, J., Wang, L., Ammeter, E., Lahaye, L. et al. (2020). Evaluation of lipid matrix microencapsulation for intestinal delivery of thymol in weaned pigs, *Translational Animal Science*, v. 4, Issue 1, p. 411–422 (DOI: 10.1093/tas/txz176).

Cui, H., Zhang, C., Li, C., & Lin, L. (2019). Antibacterial mechanism of oregano essential oil. *Industrial Crops and Products*, 139, 111498.

Djilani, A., Dicko, A. (2012). The therapeutic benefits of essential oils. *Nutrition, well-being and health*, v. 7, p. 155-179.

Duke, S.O. Naturally occurring chemical compounds as herbicides. *Review Weed Science* v. 2, p. 15–44, 1986.

FangFang, Li, H., Qin, T. et al. (2017). Thymol improves high-fat diet-induced cognitive deficits in mice via ameliorating brain insulin resistance and upregulating NRF2/HO-1 pathway. *Metab Brain Dis*, v. 32, p. 385–393, (DOI: 10.1007/s11011-016-9921-z).

Grilli, E., Tugnoli, B., Passey, J. L., Stahl, C. H., Piva, A., & Moeser, A. J. (2015). Impact of dietary organic acids and botanicals on intestinal integrity and inflammation in weaned pigs. *BMC veterinary research*, v. 11, p. n. 1, p. 1-10.

Giannenas, I., Papaneophytou, C. P., Tsalie, E., Pappas, I., et al. (2014). Dietary supplementation of benzoic acid and essential oil compounds affects buffering capacity of the feeds, performance of turkey poults and their antioxidant status, pH in the digestive tract, intestinal microbiota and morphology. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 27(2), p. 225.

Hansen, C. F., Riis, A. L., Bresson, S., Højbjerg, O., & Jensen, B. B. (2007). Feeding organic acids enhances the barrier function against pathogenic bacteria of the piglet stomach. *Livestock Science*, v. 108, n. 1-3, p. 206-209.

He, L., Zhou, X., Huang, N., Li, H., Cui, Z., Tian, J., ... & Yin, Y. (2017). Administration of alpha-ketoglutarate improves epithelial restitution under stress injury in early-weaning piglets. *Oncotarget*, v. 8, n. 54, 91965.

He, L., Xu, Z., Yao, K., Wu, G., Yin, Y., M Nyachoti, C., & Woo Kim, S. (2015). The physiological basis and nutritional function of alpha-ketoglutarate. *Current Protein and Peptide Science*, v. 16, n. 7, p. 576-581.

James B. Russell, J.B., Diez-Gonzalez, F. (1997). The Effects of Fermentation Acids on Bacterial Growth, *Advances in Microbial Physiology*, Academic Press, v. 39, p. 205-234, ISSN 0065-2911, ISBN 9780120277391, (DOI: 10.1016/S0065-2911(08)60017-X).

Jugreet, B.S., Suroowan, R.R.S., Rengasamy, M.K., Mahomoodally, F. (2020). Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils, *Trends in Food Science & Technology*, v. 101, p. 89-105, ISSN 0924-2244 (DOI: 10.1016/j.tifs.2020.04.025).

Kwak, W.G., Park, I.H., Yun, W., Lee, J.H. et al. (2017). Effects of various additives to enhance growth performance, blood profiles, and reduce malodour emissions in growing pigs. *South African Journal of Animal Science*, v. 47, n. 4, ISSN 2221-4062 (DOI: 10.4314/sajas.v47i4.12).

Laxminarayan, R., Duse, A., Wattal, C., Zaidi, A.K.M. et al. (2013). Antibiotic resistance—the need for global solutions, *The Lancet Infectious Diseases*, v. 13, Issue 12, p. 1057-1098, ISSN 1473-3099 (DOI: 10.1016/S1473-3099(13)70318-9).

Lee, K.W., Everts, H., Beynen, A. C. (2004). Essential Oils in Broiler Nutrition. *International Journal of Poultry Science*, v. 3: p. 738-752. (DOI: 10.3923/ijps.2004.738.752)

Lei, X. J., Lee, S. I., Lee, K. Y., Nguyen, D. H., & Kim, I. H. (2018). Effects of a *blend* of organic acids and medium-chain fatty acids with and without *Enterococcus faecium*

on growth performance, nutrient digestibility, blood parameters, and meat quality in finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 98, n. 4, p. 852-859.

Lebret, B. (2008). Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, v. 2, n. 10, p. 1548-1558.

Liu, Y., Espinosa, C.D., Abelilla, J.J., Casas, G.A. et al. (2018). Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition*, v. 4, Issue 2, p. 113-125, ISSN 2405-6545 (DOI: 10.1016/j.aninu.2018.01.007).

Luo, Q., Li, N., Zheng, Z., Chen, L. et al. (2020). Dietary cinnamaldehyde supplementation improves the growth performance, oxidative stability, immune function, and meat quality in finishing pigs, *Livestock Science*, v. 240, n. 104221, ISSN 1871-1413, (DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104221).

Luo, P., Luo, L., Zhao, W., Wang, L., Sun, L., et al. (2020). Dietary thymol supplementation promotes skeletal muscle fibre type switch in *longissimus dorsi* of finishing pigs. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, v. 104(2), p. 570-578.

Mann, C. M., & Markham, J. L. (1998). A new method for determining the minimum inhibitory concentration of essential oils. *Journal of applied microbiology*, 84(4), 538-544.

Marques, C. S., Carvalho, S. G., Bertoli, L. D., Villanova, J. C. O., Pinheiro, P. F., Dos Santos, D. C. M., ... & Bernardes, P. C. (2019).  $\beta$ -Cyclodextrin inclusion complexes with essential oils: Obtention, characterization, antimicrobial activity and potential application for food preservative sachets. *Food Research International*, 119, 499-509.

Megawati, F.T., Fardhyantia, D.S., Wahyudi Budi Sediawan, W.B., Anwaruddin, H. (2019). *Kinetics of mace (Myristicae arillus) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation: Effect of microwave power*. *Industrial Crops and Products*, v. 131, p. 315-322. ISSN 0926 – 6690.

Michiels, J. (2009). Effect of essential oils on gut bacteria and functionality in the pig. PhD thesis, Ghent University, Belgium, p. 282, ISBN 978-90-5989-293-4.

Mine, Y., Young, D., & Yang, C. (2015). Antioxidative stress effect of phosphoserine dimers is mediated via activation of the Nrf2 signaling pathway. *Molecular nutrition & food research*, 59(2), 303-314.

Morel, P.C.H. , Chidgey, K.L., Jenkinson, C.M.C., Lizarraga, I., Schreurs, N.M. (2019). Effect of benzoic acid, sodium butyrate and sodium butyrate coated with benzoic acid on growth performance, digestibility, intestinal morphology and meat quality in grower-finisher pigs, *Livestock Science*, v. 226, p. 107-113, ISSN 1871-1413, (DOI: 10.1016/j.livsci.2019.06.009).

Mangalagiri, N.P., Panditi, S.K., Jeevigunta, N. L. L. (2021). Antimicrobial activity of essential plant oils and their major components, *Heliyon*, v. 7, Issue 4, ISSN 2405-8440 (DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06835).

Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, v. 6(12), p. 1451-1474.

Nieto, G. (2017). Biological Activities of Three Essential Oils of the Lamiaceae Family. *Medicines (Basel)*, v. 4, n. 3, p. 63 (DOI: 10.3390/medicines4030063)

Nguyen, D. H., Lee, K. Y., Tran, H. N., & Kim, I. H. (2018). Effect of a protected *blend* of organic acids and medium-chain fatty acids on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, meat quality, faecal microflora, and faecal gas emission in finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 99, n. 3, p. 448-455.

Omonijo, F. A., Ni, L., Gong, J., Wang, Q., Lahaye, L., & Yang, C. (2018). Essential oils as alternatives to antibiotics in swine production. *Animal Nutrition*, v. 4, n. 2, p. 126-136.

Silva, B.D., Bernardes, P.C., Pinheiro, P.F., Fantuzzi, E., Roberto, C. D. (2021) Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils:

Natural preservative and limitations of use in meat products. *Meat Science*, v. 176, 108463, ISSN 0309-1740 (DOI: 10.1016/j.meatsci.2021.108463).

Smith, F., Clark, J. E., Overman, B. L., Tozel, C. C., Huang, J. H., Rivier, J. E., et al. (2010). Early weaning stress impairs development of mucosal barrier function in the porcine intestine. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, v. 298, n. 3, p. 352-363.

Suiryanrayna, M., Ramana, J. V. (2015). A review of the effects of dietary organic acids fed to swine. *Journal of animal science and biotechnology*, v. 6, n. 1, p. 1-11.

Temiz, U., Öztürk, E. (2018). Encapsulation methods and use in animal nutrition. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, v. 32, n. 3, p. 624-631.

Theobald, P. Principles of using organic acids in animal nutrition. DSM: Feed Talks, 2019. Disponível em: <https://www.dsm.com/anh/en/feedtalks/principles-organic-acids-animal-nutrition.html>

Tortora, G.J., Funke, B.R., Case, C.L. (2012). *Microbiologia*, 10<sup>a</sup> Ed. Porto Alegre: Artmed, 967 p.

Tugnoli, B., Giovagnoni, G., Piva, A., & Grilli, E. (2020). From acidifiers to intestinal health enhancers: How organic acids can improve growth efficiency of pigs. *Animals*, v. 10, n. 1, p. 134.

Upadhaya, S. D., Lee, K. Y., & Kim, I. H. (2014). Protected organic acid *blends* as an alternative to antibiotics in finishing pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, v. 27, n. 11, p. 1600.

Upadhaya, S. D., Lee, K. Y., & Kim, I. H. (2016). Effect of protected organic acid *blends* on growth performance, nutrient digestibility and faecal micro flora in growing pigs. *Journal of Applied Animal Research*, v. 44, n. 1, p. 238-242.

Walia, K., Hector Argüello, H., Helen Lynch, H., Finola C. Leonard, F.C. (2017). Effect of strategic administration of an encapsulated *blend* of formic acid, citric acid, and essential oils on Salmonella carriage, seroprevalence, and growth of finishing pigs, *Preventive Veterinary Medicine*, v. 137, p. 28-35, ISSN 0167-5877 (DOI: 10.1016/j.prevetmed.2016.12.007).

Wei, H., Xue, H., Zhou, Z., & Peng, J. (2017). A carvacrol–thymol *blend* decreased intestinal oxidative stress and influenced selected microbes without changing the messenger RNA levels of tight junction proteins in jejunal mucosa of weaning piglets. *Animal*, v. 11(2), p. 193-201 (DOI: 10.1017/S1751731116001397).

Xin, Q., Zhang, Y., Zhou, Y., Li, G., Feng, X. (2021). Progress in pretreatment and analysis of organic Acids: An update since 2010, *Food Chemistry*, v. 360, n. 129977, ISSN 0308-8146, (DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129977).

Xu, J.G., Liu T., Hu Q.P., Cao X.M. (2016). Chemical composition, antibacterial properties and mechanism of action of essential oil from clove buds against *Staphylococcus aureus*. *Molecules*. 21:1-13.

Zhai, H., Liu, H., Wang, S., Wu, J. et al. (2018). Potential of essential oils for poultry and pigs. *Animal Nutrition*, v. 4, Issue 2, p. 179-186, ISSN 2405-6545 (DOI: 10.1016/j.aninu.2018.01.005).

Zentek, J., Buchheit-Renko, S., Ferrara, F., Vahjen, W., Van Kessel, A. G., & Pieper, R. (2011). Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-chain fatty acids in piglets. *Animal Health Research Reviews*, v. 12, n. 1, p. 83-93.

Zou, Y., Xiang, Q., Wang, J., Wei, H., Peng, Y. (2016). Effects of oregano essential oil or quercetin supplementation on body weight loss, carcass characteristics, meat quality and antioxidant status in finishing pigs under transport stress, *Livestock Science*, v. 192, p. 33-38, ISSN 1871-1413, (DOI: 10.1016/j.livsci.2016.08.005).



## OBJETIVOS

### OBJETIVOS GERAIS:

✓ Avaliar a substituição do antibiótico melhorador de desempenho por óleos essenciais, ácidos orgânicos e sua associação na alimentação de fêmeas suínas em terminação, dos 75 aos 100 kg.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

✓ Verificar o efeito dos óleos essenciais, ácidos orgânicos e sua associação sobre o desempenho produtivo e a viabilidade econômica,

✓ Avaliar o efeito dos óleos essenciais, ácidos orgânicos e sua associação sobre a saúde e estresse oxidativo dos animais,

✓ Analisar o efeito dos óleos essenciais, ácidos orgânicos e sua associação sobre características da carcaça, qualidade da carne e a oxidação do músculo *longissimus lumborum*,

✓ Avaliar os óleos essenciais, ácidos orgânicos e sua associação sobre a composição bromatológica e perfil de ácidos do músculo *longissimus lumborum* de suínos.

## **ARTIGO 1**

### **Desempenho, metabólitos plasmáticos, resposta imune e defesa antioxidante de fêmeas suínas (75-100 kg) alimentadas com rações contendo óleos essenciais e ácidos orgânicos em substituição ao antibiótico promotor de crescimento**

Isabela Ferreira Leal<sup>a</sup>, Leonardo Filipe Malavazi Ferreira<sup>a</sup>, Maria Paula Campos Andrade<sup>a</sup>, Gabriel Amaral Araujo<sup>a</sup>, Jesus Alberto Cardozo Osorio<sup>a</sup>, Juliana Stocco Martins<sup>a</sup>, Paula Toshimi Matumoto Pinto<sup>a</sup>, Paulo Levi de Oliveira Carvalho<sup>b</sup>, Paulo Cesar Pozza<sup>a</sup> & Leandro Dalcin Castilha<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, CEP: 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

<sup>a</sup> Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, CEP: 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.

\* Autor para correspondência

E-mail: [ldcastilha@uem.br](mailto:ldcastilha@uem.br)

Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-4799-2839>

#### **Conflito de interesse**

Os autores declaram que não houve conflito de interesse entre os dados apresentados e empresas que auxiliaram na pesquisa.

### **Highlights**

- 1- Aditivos não antibióticos podem substituir promotores de crescimento para suínos.
- 2- Óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos apresentam efeitos similares aos antibióticos.
- 3- Desempenho, metabólitos plasmáticos e imunológicos de suínos não diferem entre dietas.
- 4- Defesa antioxidante hepática melhora com uso de aditivos, antibióticos ou não.

1 **Desempenho, viabilidade econômica, metabólitos plasmáticos, resposta imune e**  
2 **defesa antioxidante de fêmeas suínas (75-100 kg) alimentadas com rações contendo**  
3 **óleos essenciais e ácidos orgânicos em substituição ao antibiótico promotor de**  
4 **crescimento**<sup>1</sup>

5  
6 **Resumo:** Aditivos substitutos aos antibióticos promotores de crescimento nas rações de  
7 suínos são comercializados para estimular consumo, melhorar o desempenho produtivo,  
8 regular microbiota intestinal e reduzir possíveis impactos negativos no sistema  
9 imunológico dos animais. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho, viabilidade  
10 econômica, metabólitos plasmáticos, resposta imune e defesa antioxidante de fêmeas  
11 suínas em terminação alimentadas com rações contendo óleos essenciais e ácidos  
12 orgânicos em substituição ao antibiótico promotor de crescimento para fêmeas suínas em  
13 terminação (75-100 kg). Foram utilizadas 40 fêmeas suínas em terminação, distribuídas  
14 em blocos ao acaso e divididas em cinco tratamentos: 1- Controle negativo (sem o uso de  
15 aditivos melhoradores de desempenho), 2- Controle positivo (adição de antibiótico -  
16 200ppm de Virginiamicina), 3- Óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de  
17 capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), 4- Ácidos Orgânicos (3000 ppm de *blend*  
18 comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico,  
19 ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de  
20 amônio e excipientes), 5- Óleos Essenciais + Ácidos Orgânicos (associação dos  
21 tratamentos 3 e 4). Foram avaliados o desempenho produtivo (75 a 100kg), variáveis  
22 sanguíneas, resposta imune e perfil oxidativo do plasma e fígado dos animais. Não houve  
23 diferenças significativas entre as variáveis de desempenho, parâmetros sanguíneo e perfil  
24 oxidativo no plasma dos animais. A capacidade antioxidante hepática nos animais

---

<sup>1</sup> Artigo redigido seguindo as normas da revista Livestock Science (ISSN: 1871-1413).

25 suplementados com óleos essenciais, ácidos orgânicos ou com a associação de ambos foi  
26 similar a dos animais alimentados com dietas contendo o antibiótico promotor de  
27 crescimento e ambos foram superiores aos animais do grupo controle negativo. Neste  
28 estudo, as dosagens utilizadas de óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos, quando  
29 comparadas ao antibiótico promotor de crescimento, resultaram em efeitos semelhantes  
30 para desempenho, metabólitos plasmáticos e resposta imune de fêmeas suínas em  
31 terminação, com destaque para a maior defesa antioxidante hepática em relação aos  
32 animais alimentados com dietas sem qualquer aditivo.

33 **Palavras-chave:** aditivos alternativos, compostos bioativos, extratos naturais,  
34 antimicrobianos, perfil oxidativo.

35

## 36 **1. Introdução**

37 A indústria de alimentos de origem animal exige eficiência produtiva cada vez mais  
38 alta. Uma estratégia utilizada por muitos anos para obter elevado desempenho produtivo  
39 dos animais foi o uso de promotores de crescimento constituídos por princípio fármacos,  
40 como os antibióticos. Com aumento da resistência antimicrobiana pelos seres humanos,  
41 o uso de antibióticos na suinocultura se tornou preocupante para a saúde pública, sendo  
42 banido de diversos países nos últimos anos (Liu et al., 2018).

43 O antimicrobiano é considerado um promotor de crescimento, pois em pequenas  
44 dosagens promove o crescimento animal e aumenta a eficiência alimentar. Ao retirá-lo da  
45 alimentação de suínos, existe a possibilidade de ocorrência de doenças, efeito negativo  
46 sobre o crescimento e perdas econômicas no processo produtivo (Brown et al., 2017).  
47 Para promover eficiente desempenho produtivo dos suínos sem uso de medicamentos, o  
48 uso de aditivos alimentares de alta qualidade é necessário, visando a saúde dos animais e  
49 principalmente dos consumidores (Liu et al, 2018, Wisener et al., 2021).

50 Os óleos essenciais são alvos de pesquisas por serem fontes de compostos  
51 farmacologicamente ativos e benéficos à saúde (Jugreet et al., 2020). Os mais comumente  
52 usados para os animais são carvacrol, timol, eugenol e cinamaldeído e representam  
53 enorme variedade de compostos, estruturas químicas e propriedades (Aumeeruddy-Elalfi  
54 et al., 2018). Os efeitos dos óleos essenciais se dão pela interação de todos os seus  
55 constituintes. O modo de ação dos óleos essenciais sobre os microrganismos ocorre pela  
56 interação da estrutura hidrofóbica com os lipídios de membrana das células, e provoca a  
57 perda de integridade da membrana, alterações na cadeia de transporte de elétrons,  
58 alterações na absorção de nutrientes, na síntese de proteínas, bloqueio do metabolismo  
59 energético celular, e resulta na consequente morte celular (Nazzaro et al., 2013,  
60 Bhavaniramya et al., 2019, Barbosa et al., 2020).

61 Já os ácidos orgânicos, devido à característica de reduzir o pH do meio, apresentam  
62 atividade antimicrobiana e são usados como aditivos e conservantes de alimentos. Os  
63 principais ácidos utilizados como aditivos na alimentação animal são os ácidos fórmico,  
64 acético, propiônico, butírico, caproico, caprílico, cáprico e láurico (Zentek et al., 2011,  
65 Tugnoli et al., 2020, Xin et al., 2021).

66 O efeito inibitório de ácidos orgânicos está relacionado a sua forma indissociada.  
67 Com base no pH e valores de pKa, os ácidos orgânicos podem se difundir através da  
68 membrana da célula bacteriana, liberando íons  $H^+$  e diminuindo o pH intracelular  
69 (Russell e Diez-Gonzalez, 1997). Para restabelecer o equilíbrio e garantir sobrevivência,  
70 a célula utiliza energia para expelir prótons pela membrana, através da bomba  $H^+$  -  
71 ATPase. Durante período de exposição a um ácido orgânico, a célula esgota a reserva  
72 energética e promove a apoptose (Russell e Diez-Gonzalez, 1997, Suiryanrayna & Rana,  
73 2015).

74 Por apresentarem ação antimicrobiana, mas sem os riscos dos antibióticos, os óleos  
75 essenciais e ácidos orgânicos têm apresentado resultados promissores em pesquisas  
76 recentes, de forma isolada ou conjunta, devido ao efeito sinérgico em seu modo de ação  
77 (Bhavaniramy et al., 2019, Barbosa et al., 2020, Tugnoli et al., 2020, Xin et al., 2021).  
78 Os óleos essenciais, por apresentarem estrutura hidrofóbica, podem aumentar a  
79 permeabilidade das membranas celulares das bactérias e permitir que os ácidos orgânicos  
80 se difundam facilmente nas células microbianas. A ação conjunta dos aditivos  
81 potencializa as alterações no metabolismo da célula bacteriana e, conseqüentemente,  
82 acelera a morte celular (Giannenas et al., 2014, Abdelli et al., 2019).

83 O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho, metabólitos plasmáticos, resposta  
84 imune e defesa antioxidante de fêmeas suínas em terminação alimentadas com rações  
85 contendo óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos em substituição ao antibiótico promotor  
86 de crescimento para fêmeas suínas em terminação (75-100 kg).

87

## 88 **2. Material e Métodos**

89 O experimento foi realizado no setor de produção de suínos da Fazenda  
90 Experimental de Iguatemi, pertencente à Universidade Estadual de Maringá, no estado do  
91 Paraná. Os protocolos experimentais antes de serem executados, foram avaliados pelo  
92 Comitê de Conduta Ética no Uso de Animais em Experimentação, e aprovados pelo nº  
93 9449210120.

94

### 95 **2.1. Animais e instalações**

96 Fêmeas suínas (Pietrain x Landrace x Large White) foram alojadas em galpão de  
97 alvenaria, coberto com telhas de fibrocimento, composta por baias de 3m<sup>2</sup> separadas por  
98 um corredor central. As baias eram individuais, continham um bebedouro tipo chupeta e

99 um comedouros semiautomático, proporcionando livre acesso a água e ração durante todo  
100 o período experimental. Além disso, o galpão possuía ventiladores e lâmina d'água para  
101 controle de temperatura e bem-estar dos animais.

102 A temperatura e umidade do ar foram monitoradas com auxílio de um Data Logger  
103 (Hobbo U10<sup>®</sup>), instalado no centro do galpão experimental, a 1,5m do solo, e eram  
104 coletados os dados climáticos a cada 30 minutos, durante todo o período experimental.

105 As temperaturas mínimas e máximas médias, registradas no período experimental,  
106 foram de  $17,3 \pm 5,31^{\circ}\text{C}$  e  $29,1 \pm 4,18^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. A umidade relativa média do ar  
107 no período experimental foi de  $62,11 \pm 11,27\%$ .

108

## 109 **2.2. Delineamento experimental e dietas**

110 Foram utilizadas 40 fêmeas suínas em terminação, com peso inicial médio de  
111  $75,051 \pm 1,864$  kg, distribuídas em um delineamento em blocos ao acaso, divididas em  
112 cinco tratamentos e oito unidades experimentais. As dietas consistiam em diferentes  
113 aditivos na ração (Tabela 1): : 1- Controle negativo (sem o uso de aditivos melhoradores  
114 de desempenho), 2- Controle positivo (adição de antibiótico - 200ppm de  
115 Virginiamicina), 3- Óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina,  
116 carvacrol e cinamaldeído), 4- Ácidos Orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de  
117 ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido  
118 sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes),  
119 5- Óleos Essenciais + Ácidos Orgânicos (associação dos tratamentos 3 e 4).

120 O balanço eletrolítico da dieta (BED) foi calculado com base nos níveis de Na, K e  
121 Cl dos alimentos e dos aminoácidos contidos nas rações, conforme proposto por Mongin  
122 (1981), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$123 \text{BED} = (\text{Na}/23,00 + \text{K}/39,10 - \text{Cl}/35,45) \times 10$$

124 Em que:

125 Na = quantidade de sódio presente em cada um dos alimentos, expresso em mg/kg;

126 K = quantidade de potássio presente em cada um dos alimentos, expresso em mg/kg;

127 Cl = quantidade de cloro presente em cada um dos alimentos, expresso em mg/kg.

128

### 129 **2.3. Desempenho produtivo**

130 Os animais foram pesados no início e no final do experimento para determinação  
131 do ganho de peso diário (GDP), considerando os dias necessários para atingir a média de  
132 peso corporal final de 100kg. A ração fornecida aos animais e a quantidade desperdiçada  
133 eram pesadas para calcular o consumo diário de ração (CDR) e conversão alimentar (CA).  
134 Os blocos foram formados a partir do peso inicial e as variáveis analisadas consideradas  
135 dentro da unidade experimental, que foi composta por um animal.

136

### 137 **2.4. Análise econômica**

138 Foi realizado o cálculo de viabilidade econômica do uso dos aditivos, segundo  
139 Bellaver et al. (1985):  $Y_i = (Q_i X P_i) / G_i$ , em que:  $Y_i$  = custo da ração por quilograma de  
140 peso vivo ganho no i-ésimo tratamento,  $Q_i$  = quantidade de ração consumida no i-ésimo  
141 tratamento,  $P_i$  = preço por quilograma da ração utilizada no i-ésimo tratamento,  $G_i$  = ganho  
142 de peso do i-ésimo tratamento.

143 A avaliação econômica foi realizada com base no preço de cada ingrediente  
144 utilizado nas dietas, bem como no preço do suíno vivo, todos cotados em dólares norte-  
145 americanos, com base em valores de mercado em dezembro de 2019 na cidade de  
146 Maringá, Brasil. A partir dos valores, foram calculados o custo total da ração (CTR), o  
147 ganho proporcional dos suínos (GPS), a razão do ganho proporcional ao custo da ração  
148 (GPS: CR) e o índice bioeconômico (IBE). O CTR foi obtido multiplicando o consumo  
149 total de ração e o custo por quilograma de ração. O GPS foi obtido multiplicando o ganho  
150 de peso proporcional aos dias do experimento e o preço por quilo do suíno vivo, de acordo  
151 com Bellaver et al. (1985). A razão GPS: CTR foi obtida a partir da razão entre os valores  
152 de GPS e CTR. O IBE foi calculado de acordo com Teixeira (2001):

153

154  $IBE = GP - (PR / PAV) \times CR$

155 Em que:

156 GP = ganho de peso médio no período (kg);

157 PR = preço da ração (US\$ / kg);

158 PAV = preço do animal vivo (US\$/kg);

159 CR = consumo de ração no período (kg).

160

161

## 162 **2.5. Metabólitos plasmáticos**

163 Ao final do experimento, todos os animais ficaram em jejum alimentar por 6 horas  
164 e amostras de sangue foram obtidas através da punção da veia cava cranial, com o auxílio  
165 de agulhas com comprimento de 40 x 1,20 mm. Parte do sangue coletado foi transferido  
166 para tubos, centrifugados e armazenados em eppendorf para determinação de ureia,  
167 glicose, triglicerídeos, colesterol total, HDL, LDL, proteínas totais, albumina e globulinas  
168 no plasma. As análises dos parâmetros bioquímicos do sangue foram realizadas com a  
169 utilização de kit específicos e leitura da absorbância em Analisador Bioquímico  
170 (Bioplus® 2000).

171 Outra porção do sangue coletado foi encaminhado para o Laboratório de Análises  
172 Veterinárias São Camilo, localizado na cidade de Maringá – Paraná, para as  
173 determinações do hemograma e leucograma dos animais.

174 Para avaliação do hemograma, amostra de sangue foi avaliada no equipamento  
175 contador hematológico (Modelo Celltac - Nihon Koden®) e em seguida foi realizado  
176 leitura e correção dos valores em lâminas de esfregaço sanguíneo, analisadas em

177 microscópio óptico (Motic®, ds 300, Xiemen, China) com objetiva de imersão (1000x)  
178 (Thrall, 2007).

179 Adicionalmente, foram utilizados tubos contendo EDTA para a colheita de sangue,  
180 que foi utilizado para determinar a porcentagem de hematócrito, utilizando  
181 microcapilares submetidos à centrifugação do sangue (10.000 rpm, por cinco minutos).

182 A determinação da contagem total de leucócitos foi realizada em hemocitômetro  
183 (câmara de Neubauer), por meio de observação em microscópio óptico (Motic®, ds 300,  
184 Xiemen, China) com objetiva de imersão (1000x), após diluição de amostras de sangue  
185 em diluente específico (líquido de Turk), na proporção de 1:20.

186 Foram feitos esfregaços sanguíneos com amostras de sangue colhidas em tubos  
187 contendo heparina sódica, para posterior determinação dos parâmetros hematológicos  
188 sanguíneos, por meio da contagem diferencial leucocitária (leucograma). Os esfregaços  
189 foram realizados em lâminas de vidro, que foram coradas pelo método May Grunwald-  
190 Giemsa, para posterior observação em microscópio óptico (Motic®, ds 300, Xiemen,  
191 China) com objetiva de imersão (1000x). Nesta metodologia, 100 leucócitos de cada  
192 lâmina de sangue foram examinados e contados utilizando o aplicativo MsCounter2,  
193 possibilitando o cálculo e determinação da porcentagem de cada um dos leucócitos  
194 básicos.

195

## 196 **2.6. Estado oxidativo do plasma e fígado**

197 Após a coleta de sangue, os animais foram previamente insensibilizados por  
198 corrente elétrica (200 watts) e abatidos no abatedouro pertencente à Fazenda  
199 Experimental de Iguatemi - UEM. Amostras do fígado dos 40 animais foram rapidamente  
200 coletados e armazenados em gelo para determinar, após 24 horas de abate, a oxidação  
201 lipídica pelo ácido tiobarbitúrico (TBARS) descrito por Juncher et al. (2001), a

202 capacidade antioxidante total, pelo método de captura do radical 2,2-azinobis (3-  
203 etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) ou ABTS, descrito por Erel (2004) e pelo método  
204 DPPH, baseada na captura do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil por antioxidantes usando  
205 uma solução DPPH 0,06 mM (Brand-Williams et al.,1995, Li et al., 2005).

206 A extração para análise de TBARS foi realizada com 5g de amostra de fígado e 15  
207 mL de uma solução contendo ácido tricloroacético (7,5%), ácido gálico (0,1%) e EDTA  
208 (0,1%). A solução e a amostra foram homogeneizadas com um Ultra Turrax por 1 minuto  
209 e filtrada em papel de filtro qualitativo. Uma alíquota de 1,5 mL foi retirada, misturada  
210 com 1,5 mL da solução de ácido tiobarbitúrico e ficou em banho-maria a 100°C por 15  
211 minutos, seguido de resfriamento em água gelada por 5 minutos. Posteriormente, as  
212 amostras foram centrifugadas a 3000 rpm durante 10 minutos, seguido pela leitura da  
213 absorbância em um comprimento de onda de 532 nm. Todos os resultados foram  
214 expressos como mg de malonaldeído/ kg de tecido.

215 Para análises de DPPH e ABTS, uma amostra de 2,5 g de fígado foi triturada e  
216 adicionadas a 17,5ml de metanol, homogeneizadas e filtradas. Alíquotas de 50, 100 e 150  
217 µL do extrato foram misturadas a 2 mL da solução de DPPH 0,06 nM. Os tubos foram  
218 deixados no escuro por 30 minutos para estabilizar a absorbância. A concentração efetiva  
219 que inibiu 50% da concentração do radical DPPH, com leituras em absorbância (Abs) a  
220 515 nm. Os resultados foram calculados pela equação: % de inibição DPPH = [(Abs do  
221 controle – Abs da amostra) / Abs controle] × 100.

222 A atividade da enzima Superóxido dismutase (SOD) foi determinada pela adição  
223 de 30uL de extrato de fígado com 2,97ml da solução de reação (Del Longo et al., 1993),  
224 que foi incubada por 5 minutos em uma câmara com luz fluorescente de 15W e após foi  
225 realizada leitura em espectrofotômetro com absorbância de 560nm (Giannopolitis e Ries,

226 1977). A unidade de SOD é definida pela quantidade de enzima necessária para inibir em  
227 50% a fotorredução do azul de p-nitro tetrazolio, composto da solução de reação.

228

## 229 **2.7. Análise estatística**

230 Para avaliar a presença de outliers foi utilizado o procedimento UNIVARIATE. Em  
231 seguida, os dados foram submetidos à ANOVA. Para as variáveis de desempenho, o peso  
232 inicial dos suínos foi utilizado como covariável. Todos os testes de hipóteses foram  
233 realizados por meio de modelos lineares generalizados (GLM), utilizando o pacote  
234 estatístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EUA). As médias das variáveis foram  
235 comparadas entre si pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK). Todas as análises foram  
236 realizadas adotando o nível de significância de 5% ( $P \leq 0,05$ ).

237

## 238 **3. Resultados**

239

### 240 **3.1. Desempenho produtivo e análise econômica**

241 Os animais iniciaram o experimento com peso corporal médio de  $75,051 \pm 1,864$  e  
242 finalizaram com a média de  $101,779 \pm 3,149$  kg. As variáveis de desempenho de suínos  
243 em fase de terminação (Tabela 2), não tiveram diferenças significativas entre os  
244 tratamentos ( $p > 0,05$ ). A ausência de aditivos (controle negativo) e as diferentes fontes de  
245 aditivos na ração não modificaram o padrão de consumo das fêmeas suínas. Os dados de  
246 avaliação econômica (Tabela 3) também não diferiram estatisticamente entre os  
247 diferentes aditivos substitutos aos antibióticos.

248

### 249 **3.2. Metabólitos plasmáticos**

250

251 Não houve diferença significativa para os parâmetros bioquímicos (Tabelas 4 e 5)  
252 analisadas no sangue dos animais alimentados com substitutos aos antibióticos  
253 promotores de crescimento. A avaliação hemograma (Tabela 6) e leucograma (Tabela 7)  
254 dos animais não diferiram estaticamente entre os tratamentos.

255

### 256 **3.3. Estado oxidativo do plasma e fígado**

257 O perfil oxidativo plasmático e hepático dos animais alimentados com aditivos  
258 alternativos aos antibióticos estão apresentados na tabela 8. As variáveis DPPH e ABTS  
259 avaliadas no plasma sanguíneo dos animais não apresentaram diferenças ( $p>0,05$ ). De  
260 modo contrário, no fígado, a atividade antioxidante foi maior nos animais suplementados,  
261 quando comparados aos animais sem uso de aditivos (controle negativo). Já as variáveis  
262 de TBARS no fígado e a enzima SOD não apresentaram diferença significativa ( $p>0,05$ ).

263

## 264 **4. Discussão**

265

266 O modo de ação dos óleos essenciais sobre os microrganismos ocorre pela interação  
267 da estrutura hidrofóbicas com os lipídios de membrana das células bacterianas. Em  
268 contato com o citoplasma da célula bacteriana, os componentes dos óleos essenciais se  
269 ligam aos sítios proteicos e promovem diversas alterações na organização da membrana,  
270 resultando em maior permeabilidade, perda do conteúdo intracelular e inibição da  
271 absorção de nutrientes, promovendo a morte das (Hąc-Wydro, 2017, Bhavaniramy et al.,  
272 2019). Os ácidos orgânicos também apresentam efeitos antimicrobianos, pois podem se  
273 difundir através da membrana da célula bacteriana, liberando íons  $H^+$  e diminuindo o pH  
274 intracelular. Para garantir sobrevivência, a célula utiliza bomba  $H^+ - ATPase$ , produzindo

275 energia para expelir prótons pela membrana. Ao esgotar a reserva energética, ocorre a  
276 morte celular (Russell e Diez-Gonzalez, 1997, Suiryanrayna & Rana, 2015).

277 A utilização de óleos essenciais e ácidos orgânicos na alimentação animal, de forma  
278 isolada ou sinérgica, apresenta diversas características benéficas, principalmente pela sua  
279 ação antimicrobiana. Os aditivos utilizados de forma isolada e conjunta apresentam  
280 efeitos antimicrobianos efetivos (Giannenas et al., 2014, Wei et al., 2017, Omonijo et  
281 al., 2018). Porém, diversos resultados distintos têm sido encontrados em trabalhos *in vivo*,  
282 pela quantidade de fatores que influenciam na ação dos óleos essenciais no organismo  
283 animal e na composição do produto (Omonijo et al., 2018).

284 Em pesquisas de Cho et al. (2014), a suplementação de 0,025 e 0,050% de uma  
285 mistura de ácidos orgânicos e óleos essenciais microencapsulados na alimentação de  
286 suínos em terminação promoveu aumento linear ( $P < 0,05$ ) no peso corporal final,  
287 consumo diário de ração e o ganho de peso médio, comparados à dieta controle.  
288 Resultados diferentes foram encontrados em pesquisa de Walia et al. (2017), em que  
289 avaliaram a eficácia de uma mistura microencapsulada de ácido fórmico, ácido cítrico e  
290 óleos essenciais (4kg/t) em suínos em terminação e não observou diferença significativa  
291 no desempenho dos animais, porém o consumo de ração diminuiu com a adição da  
292 mistura.

293 A adição de óleos essenciais e ácidos orgânicos na alimentação de suínos pode  
294 modificar a microbiota intestinal, apresentando efeitos positivos sobre a saúde intestinal,  
295 digestão e absorção de nutrientes e conseqüentemente, melhoras no desempenho  
296 produtivo (Wei et al., 2017). Os resultados diferem deste estudo, pois não houve  
297 diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para as variáveis de desempenho produtivo  
298 (Tabela 2).

299 Os óleos essenciais, como carvacrol, capsaicina e timol, por apresentarem estrutura  
300 lipofílica, possuem facilidade em permear na membrana da célula das bactérias. Essa  
301 característica tem tornado os óleos essenciais importantes objetos de pesquisa em  
302 substituição aos antibióticos promotores de crescimento na alimentação de suínos  
303 (Omonijo et al., 2018). De modo geral, os óleos essenciais apresentam efeitos benéficos  
304 sobre a digestão, morfologia e microbiota intestinal, impactando benéficamente sobre a  
305 saúde e desempenho animal (Franz et al., 2010, Wei et al., 2017).

306 O intestino funciona como uma barreira seletiva para patógenos, constituindo a  
307 primeira linha de defesa imune. A avaliação dos parâmetros bioquímicos do sangue,  
308 hemograma e leucograma permitem estabelecer relação direta entre a integridade do  
309 epitélio intestinal e o status sanitário do animal, por indicar indiretamente a manutenção  
310 da função absorptiva intestinal (Yang et al., 2015).

311 No presente estudo, os níveis avaliados dos aditivos não foram suficientes para  
312 resultar ( $P > 0,05$ ) em efeitos sobre os metabólitos sanguíneos, dentre os quais os  
313 parâmetros bioquímicos (Tabela 4), proteínas plasmáticas (Tabela 5), hemograma  
314 (Tabela 6) e leucograma (Tabela 7), porém a ausência de um protocolo de desafio  
315 sanitário ou imunológico pode ter resultado em ausência de resposta imune nos animais,  
316 limitando os efeitos dos aditivos avaliados.

317 Em trabalho de Zeng et al. (2015), suínos alimentados com dieta contendo óleo  
318 essencial (4,5% de cinamaldeído e 13,5% de timol) apresentaram maiores níveis  
319 plasmáticos de albumina, imunoglobulinas A e G (IgA e IgG) e menor escore fecal,  
320 reduzindo a incidência de diarreia, quando comparados com suínos alimentados com dieta  
321 controle.

322 Diversos aditivos utilizados na alimentação animal podem potencializar a resposta  
323 imune quando os animais estão em condições de imunossupressão, melhorando a

324 atividade dos linfócitos, a resposta de imunoglobulinas, monócitos, macrófagos e células  
325 natural killer. A atividade dos óleos essenciais e ácidos orgânicos no organismo dos  
326 animais podem melhorar a imunidade, aumentar a função digestiva e disponibilidade de  
327 nutrientes para absorção, resultando em melhora efetiva no desempenho de crescimento  
328 (Frankic et al., 2009, Valenzuela-Grijalva et al., 2017, Mahfuz et al., 2021).

329 Os óleos essenciais possuem efeitos antioxidantes comprovados, tanto *in vitro*  
330 quanto *in vivo*, pela redução do estresse oxidativo, com aumento na concentração de  
331 enzimas antioxidantes, como a Superóxido dismutase (SOD), Glutathione peroxidase  
332 (GPX) e Catalase. Em trabalho de Zou et al. (2016), foi avaliado o efeito da adição de  
333 vitamina E (Vit E - 200mg/kg), quercetina (25mg/kg) e óleo essencial de orégano (OE -  
334 25mg/kg) sobre a concentração das enzimas GPX (soro e fígado) e SOD (soro) de suínos  
335 em terminação sob condições de estresse no transporte para o abate. Os autores  
336 observaram aumento na concentração de enzimas antioxidantes para os tratamentos que  
337 receberam óleos essenciais e quercetina, concluindo que o óleo essencial de orégano  
338 apresentou os melhores resultados sobre o sistema antioxidante do organismo animal.

339 No presente estudo, embora não tenham sido observados efeitos ( $P > 0,05$ ) dos  
340 tratamentos sobre a concentração hepática de SOD (Tabela 8), houve maior atividade  
341 antioxidante no fígado dos animais que receberam alguma fonte de aditivos na  
342 alimentação quando comparados aos animais do tratamento controle negativo. Essa  
343 constatação se justifica pela menor ( $P < 0,05$ ) capacidade antioxidante total observada no  
344 fígado dos animais alimentados com dietas sem qualquer aditivo, para as variáveis DPPH  
345 e ABTS (Tabela 8). Esse resultado indica que a utilização de aditivos não antibióticos,  
346 como óleos essenciais e ácidos orgânicos, individualmente ou associados, apresentam  
347 efeitos similares aos dos promotores de crescimento à base de antibióticos, podendo

348 representar uma alternativa de substituição sem causar efeitos sobre o desempenho  
349 produtivo dos animais.

350 Futuros estudos são necessários para avaliar o efeito dos aditivos não antibióticos  
351 em cenários de desafio sanitário, estresse ambiental e sob diferentes dosagens na dieta,  
352 buscando adequar a inclusão dos óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos às diferentes  
353 condições de produção de suínos existentes.

354

## 355 **5. Conclusão**

356

357 Neste estudo, as dosagens utilizadas de óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos,  
358 quando comparadas ao antibiótico promotor de crescimento, resultaram em efeitos  
359 semelhantes para desempenho, metabólitos plasmáticos e resposta imune de fêmeas  
360 suínas em terminação, com destaque para a maior defesa antioxidante hepática em relação  
361 aos animais alimentados com dietas sem qualquer aditivo.

362

## 363 **Conflito de interesse**

364 Os autores declaram que não houve conflito de interesse entre os dados  
365 apresentados e empresas que auxiliaram na pesquisa.

366

## 367 **Agradecimentos**

368 Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal  
369 de Nível Superior – CAPES), pela concessão da bolsa de estudos para a conclusão do  
370 doutorado da primeira autora, e à empresa Pancosma Brasil®, pela cooperação na  
371 pesquisa.

372

373 **Referências bibliográficas**

374 Abdelli, N., Pérez, JF, Vilarrasa, E., Cabeza Luna, I., Melo-Duran, D., D'Angelo, M., &  
375 Solà-Oriol, D., 2020. Targeted-release organic acids and essential oils improve  
376 performance and digestive function in broilers under a necrotic enteritis  
377 challenge. *Animals*, 10, 259.

378

379 Barbosa, L.N. Alves, F.C.B., Andrade, B.F.M.T., Albano, M. et al., 2020. Proteomic  
380 analysis and antibacterial resistance mechanisms of *Salmonella Enteritidis* submitted to  
381 the inhibitory effect of *Origanum vulgare* essential oil, thymol and carvacrol, *Journal of*  
382 *Proteomics*, 214, 103625, DOI: 10.1016/j.jprot.2019.103625).

383

384 Bhavaniramya, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., Vijayakumar, R., Baskaran, D.,  
385 2019. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications,  
386 *Grain & Oil Science and Technology*, v. 2, Issue 2, p. 49-55, ISSN 2590-2598 (DOI:  
387 10.1016/j.gaost.2019.03.001).

388

389 Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C., 1995. Use of a free radical method  
390 to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.

391

392 Bellaver, C., 1985. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e  
393 terminação. *Pesquisa Agrop. Bras.*, 20, 969-974.

394

395 Brown, K., Uwiera, R.E.R., Kalmokoff, M.L, Brooks, S.P.J., Inglis, G.D., 2017.  
396 Antimicrobial growth promoter use in livestock: a requirement to understand their modes

397 of action to develop effective alternatives, *International Journal of Antimicrobial Agents*,  
398 v. 49, p. 12-24, ISSN 0924-8579 (DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2016.08.006).

399

400 Cho, J. H., Song, M. H., & Kim, I. H., 2014. Effect of microencapsulated *blends* of  
401 organic acids and essential oils supplementation on growth performance and nutrient  
402 digestibility in finishing pigs. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(4), 264-272.

403

404 Del Longo, O.T., Gonzáles, C.A., Pastori, G.M., Trippi, V.S., 1993. Antioxidant defenses  
405 under hyperoxygenic and hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with  
406 differential sensitivity to drought. *Plant Cell Physiology*, v.34, p.1023-1028.

407

408 Erel, O., 2004. A novel automated direct measurement method for total antioxidant  
409 capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clinical biochemistry*,  
410 37(4), 277-285.

411

412 Frankič, T., Voljč, M., Salobir, J., Rezar, V., 2009. Use of herbs and spices and their  
413 extracts in animal nutrition. *Acta agriculturae Slovenica*, v. 94/2, p. 95–102.

414

415 Franz, C., Baser, K., Windisch, W., 2010. Essential oils and aromatic plants in animal  
416 feeding—a European perspective. A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 25 (5), pp. 327-  
417 340

418

419 Giannopolitis, C.N., Ries, S.K., 1977. Superoxide dismutases. *Plant Physiology*, v. 59,  
420 p.309-314.

421

422 Giannenas, I., Papaneophytou, C. P., Tsalie, E., Pappas, I., et al., 2014. Dietary  
423 supplementation of benzoic acid and essential oil compounds affects buffering capacity  
424 of the feeds, performance of turkey poults and their antioxidant status, pH in the digestive  
425 tract, intestinal microbiota and morphology. *Asian-Australasian Journal of Animal*  
426 *Sciences*, v. 27(2), p. 225.

427

428 Hąc-Wydro, K., Flasiński, M., & Romańczuk, K., 2017. Essential oils as food eco-  
429 preservatives: Model system studies on the effect of temperature on limonene  
430 antibacterial activity. *Food chemistry*, 235, 127-135.

431

432 James B. Russell, J.B., Diez-Gonzalez, F., 1997. The Effects of Fermentation Acids on  
433 Bacterial Growth, *Advances in Microbial Physiology*, Academic Press, v. 39,  
434 p. 205-234, ISSN 0065-2911, ISBN 9780120277391, (DOI: 10.1016/S0065-  
435 2911(08)60017-X).

436

437 Jugreet, B.S., Suroowan, R.R.S., Rengasamy, M.K., Mahomoodally, F., 2020.  
438 Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils.  
439 *Trends in Food Science & Technology*, v. 101, p. 89-105, ISSN 0924-2244 (DOI:  
440 10.1016/j.tifs.2020.04.025).

441

442 Juncher, D., Rønn, B., Mortensen, E., Henckel, P., Karlsson, A., Skibsted, L., &  
443 Bertelsen, G., 2001). Effect of pre-slaughter physiological conditions on the oxidative  
444 stability of colour and lipid during chill storage of pork. *Meat Science*, 58(4), 347-  
445 357.

446

447 Li, W., Shan, F., Sun, S., Corke, H., & Beta, T., 2005). Free radical scavenging properties  
448 and phenolic content of chinese black-grained wheat. *Journal of Agricultural and*  
449 *Food Chemistry*, 53(22), 8533-8536.

450

451 Liu, Y., Espinosa, C.D., Abelilla, J.J, Casas, G.A. et al., 2018. Non-antibiotic feed  
452 additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition*, v. 4, Issue 2, p. 113-125, ISSN  
453 2405-6545 (DOI: 10.1016/j.aninu.2018.01.007).

454

455 Mahfuz, S., Shang, Q. & Piao, X., 2021. Phenolic compounds as natural feed additives  
456 in poultry and swine diets: a review. *J Animal Sci Biotechnol* 12, 48.

457

458 Mongin, P., 1981. Recent advances in dietary cation-anion balance: applications in  
459 poultry. *Proceedings of the Nutrition Society*, 40, 285-294.

460

461 National Research Council – NRC, 2012. *Nutrient Requirements of swine*. Eleven ed.  
462 National Academic Press, Washington.

463

464 Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V., 2013. Effect of  
465 essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, v. 6(12), p. 1451-1474.

466

467 Omonijo, F. A., Ni, L., Gong, J., Wang, Q., Lahaye, L., & Yang, C., 2018. Essential oils  
468 as alternatives to antibiotics in swine production. *Animal Nutrition*, v. 4, n. 2, p. 126-136.

469

470 Suiryanrayna, M., Ramana, J. V., 2015. A review of the effects of dietary organic acids  
471 fed to swine. *Journal of animal science and biotechnology*, v. 6, n. 1, p. 1-11.

472

473 Statistical Analysis System - SAS.SAS, 2001. User's Guide: Estatistics. Eletronic version  
474 8.1. Cary, (CD-ROM).

475

476 Teixeira, A.S., 2001. Alimentos e alimentação dos animais, Lavras, UFLA/FAEPE.

477

478 Thrall, M.A. Hematologia e Bioquímica Clínica Veterinária. São Paulo: Roca, 2007, 582  
479 p

480

481 Tugnoli, B., Giovagnoni, G., Piva, A., & Grilli, E., 2020. From acidifiers to intestinal  
482 health enhancers: How organic acids can improve growth efficiency of pigs. Animals, v.  
483 10, n. 1, p. 134.

484

485 Valenzuela-Grijalva, N.V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazan, A. et al. , 2017).  
486 Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. J  
487 Anim Sci Technol 59, 8 (<https://doi.org/10.1186/s40781-017-0133-9>)

488

489 Walia, K., Argüello, H., Lynch, H., Leonard, F. C., Grant, J., Yearsley, D., ... & Lawlor,  
490 P. G., 2017). Effect of strategic administration of an encapsulated *blend* of formic acid,  
491 citric acid, and essential oils on Salmonella carriage, seroprevalence, and growth of  
492 finishing pigs. Preventive veterinary medicine, 137, 28-35.

493

494 Wei, H., Xue, H., Zhou, Z., & Peng, J., 2017). A carvacrol–thymol *blend* decreased  
495 intestinal oxidative stress and influenced selected microbes without changing the

- 496 messenger RNA levels of tight junction proteins in jejunal mucosa of weaning piglets.  
497 *Animal*, v. 11(2), p. 193-201 (DOI: 10.1017/S1751731116001397).
- 498
- 499 Wisener, L. V., Sargeant, J. M., O'Sullivan, T. L., O'connor, A. M., McEwen, S. A., Reist,  
500 M., & Churchill, K. J., 2021. Non-antibiotic Approaches for Disease Prevention and  
501 Control in Nursery Pigs: A Scoping Review. *Frontiers in veterinary science*, 8.
- 502
- 503 Xin, Q., Zhang, Y., Zhou, Y., Li, G., Feng, X., 2021. Progress in pretreatment and analysis  
504 of organic Acids: An update since 2010, *Food Chemistry*, v. 360, n. 129977, ISSN 0308-  
505 8146, (DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129977).
- 506
- 507 C. Yang, M. Chowdhury, Y. Huo, J. Gong., 2015. Phytogetic compounds as alternatives  
508 to in-feed antibiotics: potentials and challenges in application. *Pathogens*, 4 (1), pp. 137-  
509 156
- 510
- 511 Zeng ZK, Xu X, Zhang Q, Li P, Zhao PF, Li QY, et al., 2014. Effects of essential oil  
512 supplementation of a Low-Energy diet on performance, intestinal morphology and  
513 microflora, immune properties and antioxidant activities in weaned pigs. *Anim Sci*  
514 (doi:10.1111/asj.12277).
- 515
- 516 Zentek, J., Buchheit-Renko, S., Ferrara, F., Vahjen, W., Van Kessel, A. G., & Pieper, R.,  
517 2011. Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-  
518 chain fatty acids in piglets. *Animal Health Research Reviews*, v. 12, n. 1, p. 83-93.
- 519
- 520 Zou, Y., Xiang, Q., Wang, J., Wei, H., Peng, Y., 2016. Effects of oregano essential oil or  
521 quercetin supplementation on body weight loss, carcass characteristics, meat quality and

- 522 antioxidant status in finishing pigs under transport stress, *Livestock Science*, v. 192, p.  
523 33-38, ISSN 1871-1413, (DOI: 10.1016/j.livsci.2016.08.005).
- 524  
525 Zhai, H., Liu, H., Wang, S., Wu, J. et al., 2018. Potential of essential oils for poultry and  
526 pigs. *Animal Nutrition*, v. 4, Issue 2, p. 179-186, ISSN 2405-6545 (DOI:  
527 10.1016/j.aninu.2018.01.005).
- 528

529 **Tabela 1.** Composição centesimal, química e energética das rações experimentais<sup>1</sup> para  
 530 fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg), contendo diferentes aditivos substitutivos  
 531 ao antibiótico promotor de crescimento.

Ingredientes (g/kg)	Tratamentos <sup>2</sup>				
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.
Virginiamicina (ppm)	-	20	-	-	-
Óleos essenciais (ppm)	-	-	150	-	150
Ácidos orgânicos (ppm)	-	-	-	3000	3000
Milho	80,089	80,089	80,089	80,089	80,089
Farelo de soja	15,782	15,782	15,782	15,782	15,782
Óleo de soja	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368
Calcário	0,643	0,643	0,643	0,643	0,643
Fosfato bicálcico	1,044	1,044	1,044	1,044	1,044
Sal comum	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204
L-lisina HCl (78,4%)	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291
DL-metionina (99,0%)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
L-treonina (98,5%)	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
Premix vitam.-mineral <sup>3</sup>	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Antioxidante <sup>4</sup>	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Virginiamicina	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000
<i>Blend</i> de óleos essenciais	0,000	0,000	0,015	0,000	0,015
<i>Blend</i> de ácidos orgânicos	0,000	0,000	0,000	0,300	0,300
Inerte <sup>5</sup>	0,315	0,313	0,300	0,015	0,000
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada					
EM (Kcal/kg)	3300	3300	3300	3300	3300
EL (Kcal/kg)	2539	2539	2539	2539	2539
PB (g/kg)	137,91	137,91	137,91	137,91	137,91
Ca (g/kg)	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
P disponível (g/kg)	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74
Sódio (g/kg)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Potássio (g/kg)	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21
Cloro (g/kg)	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
Lisina digestível (g/kg)	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70
Met+Cis dig. (g/kg)	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
Metionina dig. (g/kg)	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Treonina dig. (g/kg)	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Triptofano dig. (g/kg)	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Arginina dig. (g/kg)	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76
Valina dig. (g/kg)	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66
Leucina dig.. (g/kg)	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73
Isoleucina dig. (g/kg)	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84
BED (mEq/kg) <sup>6</sup>	126,79	126,79	126,79	126,79	126,79

532 1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo recomendações do NRC (2012).

533 2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição

534 de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend*

535 comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos

536 (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico,

537 ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes),

538 O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina,

539 carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido

540 propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido

541 cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

542 3- Conteúdo/kg: vit. A - 10.000.000 U.I., vit D<sub>3</sub> - 1.500.000 U.I., vit. E - 30.000 U.I., vit B<sub>1</sub> - 392 mg, vit

543 B<sub>2</sub> - 853 mg, vit. B<sub>6</sub> - 396 mg, vit B<sub>12</sub> - 5.333 mcg, ácido nicotínico - 6.533 mg, ácido pantotênico - 3.166

544 mg, vit. K<sub>3</sub> - 485 mg, ácido fólico - 106 mg, biotina - 26 mg, ferro - 15 g, cobre - 2.400 mg, cobalto - 27

545 mg, manganês - 10,40 mg, zinco - 20 g, iodo - 165 mg, selênio - 60 mg e veículo q.s.p. p/ 1000 g/kg.

546 4- BHT (Butil-hidroxi Tolueno).

547 5- Areia fina lavada.

548 6- Balanço eletrolítico da dieta.

**Tabela 2.** Desempenho de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Peso inicial (kg)	75,064	75,049	75,050	75,057	75,033	75,051 ±1,864	0,295	-
Peso final (kg)	100,929	103,350	101,667	101,450	101,500	101,779 ±3,149	0,498	0,664
Dias para o abate	26,286	25,429	25,143	25,571	25,599	25,686 ±1,790	0,283	0,768
Consumo diário de ração (kg)	3,093	3,002	3,099	2,923	2,861	2,996 ±0,241	0,038	0,299
Ganho de peso diário (kg)	0,981	1,108	1,055	1,038	1,018	1,040 ±0,089	0,014	0,143
Conversão alimentar	3,161	2,720	2,940	2,834	2,859	2,903 ±0,330	0,052	0,177

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 3.** Avaliação econômica da criação de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Custo total da ração (U\$)	24,290	22,933	23,669	23,079	23,326	23,459±2,873	0,454	0,907
Ganho proporcional de suínos (U\$)	34,880	38,169	35,897	35,594	35,693	36,047±4,174	0,660	0,650
Ganho de suínos : Custo da ração	1,439	1,663	1,524	1,550	1,560	1,547±0,175	0,028	0,238
Índice Bioeconômico (kg PV)	7,854	11,296	9,066	9,281	9,171	9,334±2,380	0,376	0,144

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 4.** Parâmetros bioquímicos plasmáticos de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Glicose (mg/dL)	74,631	79,311	72,636	80,754	77,251	76,913±8,791	1,390	0,356
Ureia (mg/dL)	19,889	19,946	19,133	21,069	19,946	19,996±4,913	0,777	0,957
Colesterol total (mg/dL)	101,755	106,313	118,509	106,818	108,061	108,299±14,095	2,229	0,217
Triglicerídeos (mg/dL)	57,568	48,250	52,697	56,134	56,942	54,312±17,827	2,817	0,822
LDL (mg/dL)	37,312	36,506	40,509	38,948	40,948	38,845±4,969	0,784	0,326
HDL (mg/dL)	65,813	65,198	72,881	68,698	65,501	67,618±7,010	1,107	0,171
LDL:HDL	0,567	0,560	0,556	0,566	0,625	0,575±0,029	0,005	0,889

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 5.** Proteínas totais e suas frações no plasma de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Proteínas totais (g/dL)	7,630	7,791	7,892	7,673	7,714	7,741±0,537	0,084	0,866
Albumina (g/dL)	3,229	3,248	3,367	3,406	3,675	3,383±0,409	0,064	0,196
Globulinas (g/dL)	4,410	4,561	4,542	4,273	4,044	4,365±0,520	0,083	0,282
Albumina:Globulina	0,739	0,718	0,747	0,806	0,915	0,795±0,094	0,015	0,239

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 6.** Hemograma de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Eritrócitos (10 <sup>3</sup> /μL)	7,347	7,092	7,111	7,129	7,124	7,161±0,612	0,096	0,925
Hemoglobina (g/dL)	12,948	12,296	12,701	12,359	12,266	12,513±1,214	0,191	0,745
V.C.M. (fL) <sup>5</sup>	53,497	52,212	53,805	52,445	52,693	52,935±2,496	0,394	0,660
C.H.C.M. (%) <sup>6</sup>	33,026	33,148	33,197	33,204	32,744	33,067±0,538	0,084	0,402
Plaquetas (10 <sup>3</sup> /μL)	294,755	299,501	329,132	307,252	229,252	291,989±80,140	12,671	0,168
Hematócrito (%)	39,387	37,005	38,191	37,250	37,505	37,860±3,651	0,577	0,699

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

5- Volume corpuscular médio.

6- Concentração da hemoglobina corpuscular média.

**Tabela 7.** Leucograma de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Leucócitos totais (10 <sup>3</sup> /μL)	15,607	16,804	15,616	14,152	16,064	15,640±2,880	0,455	0,475
Neutrófilos (%)	33,006	29,633	28,380	32,008	28,002	30,809±6,688	1,056	0,129
Linfócitos (%)	61,252	64,752	66,752	61,502	66,251	63,307±6,806	1,075	0,151
Monócitos (%)	3,1344	2,382	2,136	1,758	2,757	2,635±1,794	0,283	0,109
Eosinófilos (%)	2,629	2,755	2,258	3,636	3,001	2,853±1,902	0,300	0,681
Basófilos (%)	0,000	0,501	0,501	0,886	0,000	0,381±1,080	0,172	0,449

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

5- Volume corpuscular médio.

6- Concentração da hemoglobina corpuscular média.

**Tabela 8.** Perfil oxidativo plasmático e hepático de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis <sup>2</sup>	Tratamentos <sup>3</sup>					Média	EPM <sup>4</sup>	P- valor <sup>5</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Plasma								
DPPH (% de inibição)	55,781	58,804	55,295	56,018	56,673	56,511±2,78	0,440	0,129
ABTS (% de inibição)	20,962	24,583	26,716	26,852	21,537	24,134±6,16	0,975	0,194
Fígado								
DPPH (% de inibição)	38,697 <sup>b</sup>	45,094 <sup>3a</sup>	50,032 <sup>a</sup>	45,088 <sup>a</sup>	47,874 <sup>a</sup>	45,227±4,07	0,643	<0,001
ABTS (% de inibição)	45,808 <sup>b</sup>	60,231 <sup>a</sup>	61,144 <sup>a</sup>	65,747 <sup>a</sup>	69,013 <sup>a</sup>	59,522±11,49	1,816	0,010
TBARS (mg MDA Eq/kg)	0,549	0,490	0,475	0,566	0,471	0,513±0,09	0,014	0,187
SOD (U/mg proteína)	0,590	0,708	0,683	0,728	0,659	0,673±0,21	0,033	0,726

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- DPPH: radical 2,2-difenil 1-1-picril-hidrazil, ABTS: radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico), TBARS: substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, SOD: enzima superóxido dismutase.

3- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

4- EPM: Erro padrão da média.

5- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

## ARTIGO 2

**Óleos essenciais e ácidos orgânicos sobre características de carcaça, qualidade da carne, composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do músculo *longissimus lumborum* de fêmeas suínas (75-100 kg)**

Isabela Ferreira Leal<sup>a</sup>, Lidiane Staub<sup>b</sup>, Bruno Damaceno Faria<sup>b</sup>, Ana Clara Longhi Pavanello<sup>c</sup>, Adriana Lourenço Soares<sup>c</sup>, Simara Marcia Marcato<sup>a</sup>, Rodolpho Martin do Prado<sup>a</sup>, Paulo Cesar Pozza<sup>a</sup> & Leandro Dalcin Castilha<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Animal Science, Maringá State University, Colombo Avenue, Zip Code 87020-900, Maringá, Paraná State, Brazil.

<sup>b</sup> Department of Technical Consulting, Pancosma Brazil Industry, Dr. Eraldo Aurélio Franzese Street, Zip Code 13271-608, Valinhos, São Paulo State, Brazil.

<sup>c</sup> Department of Food and Drug Technology, Londrina State University, Celso Garcia Cid Road, Zip Code 86051-970, Londrina, Paraná State, Brazil.

\* Autor para correspondência

E-mail: [ldcastilha@uem.br](mailto:ldcastilha@uem.br)

Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-4799-2839>

Tel./fax: +55 (45) 9992-1625

### **Conflito de interesse**

Os autores declaram que não houve conflito de interesse entre os dados apresentados e empresas que auxiliaram na pesquisa.

### **Highlights**

- 1- Aditivos não antibióticos podem substituir promotores de crescimento para suínos.
- 2- Óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos apresentam efeitos similares aos antibióticos.
- 3- Óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos reduzem a perda de água por cocção na carne.
- 4- Óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos elevam os ácidos graxos ômega 6 na carne.

1 **Óleos essenciais e ácidos orgânicos sobre características de carcaça, qualidade da**  
2 **carne, composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do**  
3 **músculo *longissimus lumborum* de fêmeas suínas (75-100 kg)<sup>2</sup>**  
4

5 **RESUMO**

6 Objetivou-se com este trabalho avaliar o uso de óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos  
7 em substituição ao antibiótico promotor de crescimento para fêmeas suínas em  
8 terminação (75 aos 100 kg) sobre características de carcaça, qualidade da carne,  
9 composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do músculo  
10 *longissimus lumborum*. Foram utilizadas 40 fêmeas suínas em terminação, distribuídas  
11 em blocos ao acaso e divididas em cinco tratamentos: 1- Controle negativo (sem o uso de  
12 aditivos melhoradores de desempenho), 2- Controle positivo (adição de antibiótico -  
13 200ppm de Virginiamicina), 3- Óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de  
14 capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), 4- Ácidos Orgânicos (3000 ppm de *blend*  
15 comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico,  
16 ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de  
17 amônio e excipientes), 5- Óleos Essenciais + Ácidos Orgânicos (associação dos  
18 tratamentos 3 e 4). A dieta sem aditivos proporcionou a maior perda de água por cocção  
19 no músculo *longissimus lumborum* (LL), a menor concentração de ácido linoleico (C18:2  
20 n-6) e do total de ácidos graxos ômega 6, enquanto a dieta com óleos essenciais resultou  
21 no maior teor de gordura bruta e a menor perda de água por cocção do músculo LL.  
22 Antibióticos, óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos resultam em melhoras na qualidade  
23 da carne de fêmeas suínas em terminação (75-100kg) e concentrações superiores de  
24 ácidos graxos ômega 6.

25

26 **Palavras-chave:** aditivos alternativos, carne suína, perfil oxidativo.

27

---

<sup>2</sup> Artigo redigido seguindo as normas da revista Meat Science (ISSN: 0309-1740).

## 28 **1. Introdução**

29

30 Preocupações com a saúde humana e animal ocasionaram restrições em todo o  
31 mundo, limitando a utilização de antimicrobianos em dose subterapêuticas na  
32 alimentação de animais, sobretudo por causa de preocupações com cargas residuais de  
33 antibióticos nos produtos de origem animal e a possibilidade de geração de resistência  
34 bacteriana em humanos (Brown et al., 2017, Liu et al., 2018). O uso de antimicrobianos  
35 naturais na dieta de suínos é apontado como uma alternativa positiva e que pode contribuir  
36 para a qualidade e segurança microbiológica dos alimentos (Marques et al., 2019).

37 Os óleos essenciais, basicamente compostos por lipídios extraídos a partir de  
38 plantas, apresentam propriedades antioxidantes eficazes em manter ou mesmo agregar  
39 atributos à qualidade da carne. Existem algumas contradições no uso de óleos essenciais  
40 quando se avaliam características de carcaça ou carne, relacionado a efeitos de redução  
41 da síntese de tecido adiposo, ativação da termogênese e alteração do metabolismo  
42 energético em suínos (Jiang et al., 2017), e associado a maior deposição de gordura no  
43 organismo (Yuan et al., 2016), que pode afetar a qualidade da carne.

44 Além dos óleos essenciais, os ácidos orgânicos também são alternativas utilizadas  
45 na produção animal, possuindo elevada atividade antibacteriana (Mroz, 2005, Lückstädt,  
46 2009, Zentek et al., 2011, Tugnoli et al., 2020).

47 Embora alguns estudos tenham comprovado que os ácidos orgânicos são bons  
48 promotores de crescimento, também verificaram que esses aditivos exercem efeitos  
49 mínimos sobre a composição de carcaça e qualidade de carne (Cho et al., 2015, Morel et  
50 al., 2019). Nesse sentido, o estudo associado de óleos essenciais e ácidos orgânicos em  
51 dietas para suínos pode trazer resultados promissores em substituição aos antimicrobianos  
52 empregados como promotores de crescimento, e conseqüentemente podem promover  
53 benéfico sobre as características de carcaça e qualidade de carne suína.

54 O objetivo do trabalho foi avaliar o uso de óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos  
55 em substituição ao antibiótico promotor de crescimento para fêmeas suínas em  
56 terminação (75 aos 100 kg) sobre características de carcaça, qualidade da carne,  
57 composição centesimal, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do músculo LL.

58

59

60

61

## 62 **2. Material e métodos**

63

### 64 **2.1. Geral**

65 O experimento foi realizado no setor de produção de suínos da Fazenda  
66 Experimental de Iguatemi, pertencente à Universidade Estadual de Maringá, no Estado  
67 do Paraná. Os protocolos experimentais, antes de serem executados foram avaliados pelo  
68 Comitê de Conduta Ética no Uso de Animais em Experimentação, e aprovados pelo nº  
69 9449210120.

70

### 71 **2.2. Animais e instalações**

72 Fêmeas suínas (Pietrain x Landrace x Large White) foram alojadas em galpão de  
73 alvenaria, coberto com telhas de fibrocimento, composta por baias de 3m<sup>2</sup> separadas por  
74 um corredor central. As baias eram individuais, continham um bebedouro tipo chupeta e  
75 um comedouro semiautomático, proporcionando livre acesso a água e ração durante todo  
76 o período experimental. Além disso, o galpão possuía ventiladores e lâmina d'água para  
77 controle de temperatura e bem-estar dos animais.

78

### 79 **2.3. Delineamento experimental e dietas**

80 Foram utilizadas 40 fêmeas suínas em terminação, com peso inicial médio de 75 ±1  
81 kg, distribuídas em um delineamento em blocos ao acaso, divididas em cinco tratamentos  
82 e oito repetições. As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas à base de milho,  
83 farelo de soja, óleo, aminoácidos e aditivos, seguindo as recomendações nutricionais  
84 propostas pelo National Research Council - NRC (2012).

85 Os tratamentos consistiram em diferentes aditivos nas dietas: 1- Controle negativo  
86 (sem o uso de aditivos melhoradores de desempenho), 2- Controle positivo (adição de  
87 antibiótico - 200ppm de Virginiamicina), 3- Óleos essenciais (150 ppm de *blend*  
88 comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), 4- Ácidos orgânicos (3000  
89 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido  
90 caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico,  
91 formiato de amônio e excipientes), 5- Óleos essenciais + Ácidos orgânicos (associação  
92 dos tratamentos 3 e 4). Os ingredientes das rações foram misturados de acordo com a  
93 demanda experimental, consistindo em diversas batidas de ração.

94

### 95 **2.4. Abate e avaliação de carcaça**

96 Os animais foram pesados no início experimento, e os blocos foram formados a  
97 partir do peso inicial e as variáveis analisadas consideradas dentro da unidade  
98 experimental, que foi composta por um animal. Ao atingir a média de 100kg, os animais  
99 foram pesados e encaminhados para o abatedouro pertencente à Fazenda Experimental de  
100 Iguatemi – UEM, onde ficaram aproximadamente 24 horas em jejum alimentar, foram  
101 insensibilizados por corrente elétrica (200 watts) e abatidos.

102 Após o abate, os animais foram eviscerados e os órgãos, como o coração, fígado,  
103 baço e rins foram pesados para calcular o peso relativo, obtido como proporção do peso  
104 de carcaça quente. As carcaças esquerdas foram pesadas e resfriadas (1-2°C) e  
105 posteriormente submetidas à avaliação, conforme o Método Brasileiro de Classificação  
106 de Carcaça Suína (Bridi e Silva, 2009).

107 O pH do músculo LL foi mensurado 45 minutos após o abate, na carcaça quente,  
108 e após 24h na carcaça resfriada, utilizando um medidor de pH portátil digital (Hanna  
109 Instruments, Brasil Exp. e Imp. – LTDA) , seguindo as recomendações de Bridi & Silva  
110 (2009). Foi determinado o peso da carcaça quente (PCQ), peso da carcaça resfriada  
111 (PCR), rendimento de carcaça quente (RCQ), perda de peso de carcaça no resfriamento  
112 (PPCNR), rendimento de pernil (RP), espessura de toucinho (ET) e profundidade do  
113 músculo LL (PL). A ET e a PL também foram mensuradas na meia carcaça esquerda, 24  
114 horas *post-mortem*, com auxílio de paquímetro, na região de inserção da última vértebra  
115 torácica com a primeira lombar, a seis centímetros da linha média de corte da carcaça  
116 (ponto P2). A partir dos valores de ET, PL e PCR foi estimado o rendimento de carcaça  
117 magra (RCM), utilizando a equação proposta por Guidoni (2000), conforme segue:

$$118 \quad \text{RCM (\%)} = 65,92 - ((0,685 \times \text{ET}) + (0,094 \times \text{PL}) - (0,026 \times \text{PCR})).$$

119

## 120 **2.5. Qualidade da carne**

121 Para avaliações qualitativas foram utilizadas amostras (2,5 cm de espessura) do  
122 músculo LL, conforme descrito por Bridi e Silva (2009). As amostras foram utilizadas  
123 para avaliação da cor, perda de água por gotejamento (PAG) e a perda de líquido por  
124 descongelamento (PLD) e cocção (PLC), além da força de cisalhamento (FC). A PAG foi  
125 avaliada conforme a técnica descrita por Boccard et al. (1981), e as amostras ficaram em  
126 suspensão e a amostra foi pesada no início e após 48h, para verificar quantidade de água  
127 expelida pela carne. A PLD foi obtida pela diferença de peso da amostra congelada e após  
128 armazenamento por 24 horas a 4°C. A PLC foi obtida pela diferença de peso da amostra  
129 descongelada e após o cozimento em forno pré-aquecido a 170°C, até alcançarem a

130 temperatura interna de 71°C (Bridi e Silva, 2009). A força de cisalhamento foi analisada  
131 em texturômetro TA.XT plusC (Stable Micro Systems, Londres).

132 A mensuração da cor do músculo LL foi realizada na superfície, em seis pontos  
133 diferentes de leitura por amostra, com o auxílio de um colorímetro portátil (Minolta®  
134 CR-400). Os componentes L\* (luminosidade), a\* (componente vermelho-verde) e b\*  
135 (componente amarelo-azul) foram expressos no sistema de cor CIELAB.

136

## 137 **2.6. Análise bromatológica do músculo *longissimus lumborum***

138 As análises de composição bromatológica da carne foram realizadas no Laboratório  
139 de Análises de Alimentos e Nutrição Animal (LANA), pertencente à Universidade  
140 Estadual de Maringá, seguindo metodologias da AOAC. As amostras do músculo LL  
141 foram submetidas às análises de matéria seca (método 930.15, AOAC, 2006), matéria  
142 mineral (método 942.05, AOAC, 2006), proteína bruta (método 984.13, AOAC, 2006) e  
143 extrato etéreo (método 920.85, AOAC, 1990). Os valores de energia bruta foram  
144 determinados no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa – COMCAP, por meio de  
145 calorímetro adiabático (Parr AC 6200, Moline, Illinois, EUA).

146

## 147 **2.7. Perfil de ácidos graxos do músculo *longissimus lumborum***

148 Para determinar o perfil de ácidos graxos da carne suína, foi realizada a extração  
149 de lipídios totais (Bligh & Dyer, 1959) e o processo de transesterificação, de acordo com  
150 a Organização Internacional de Normalização (ISSO -1978). As amostras de carne (30 g  
151 de músculo LL) foram homogeneizadas em clorofórmio e metanol, filtradas, decantadas  
152 e os solventes foram evaporados em banho-maria rota-evaporador (Marconi®) a 33°C.  
153 Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram analisados usando um cromatógrafo de gás  
154 (GC-17A, Shimadzu®, Kyoto, Japão). Os resultados foram expressos como porcentagens  
155 relativas dos ácidos graxos identificados no total. Foi calculada a proporção de ômega 6  
156 e ômega 3 (N6: N3) e a proporção de poli-insaturados e saturados (PUFA: SFA) (Ulbricht  
157 & Southgate, 1991).

158

## 159 **2.8. Avaliação de Shelf life**

160 Após o abate, quatro amostras de carne de cada animal foram coletadas (3ª a 6ª  
161 amostra - sentido crânio caudal), embaladas em badejas de isopor com papel absorvente,  
162 vedadas com plástico-filme e armazenadas aleatoriamente em um refrigerador do tipo  
163 vitrine, refrigerado a 4°C e com incidência de luz artificial, para simular e avaliar a

164 qualidade da carne disponível para o consumidor final, em diferentes períodos de  
165 armazenamento. Foi avaliada a estabilidade oxidativa em 0, 24, 48 e 72 horas após o  
166 abate, pelas análises de oxidação lipídica e capacidade antioxidante.

167 Para análises de capacidade antioxidante, uma amostra de 5 g de carne foi triturada  
168 e adicionados 15 mL de metanol à amostra, que foi homogeneizada e filtrada. A análise  
169 foi realizada através do Método do sequestro do radical livre estável 2,2-difenil-1-  
170 picrilhidrazil (DPPH), de acordo com Li et al. (2009) e a capacidade antioxidante total,  
171 pelo método de captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)  
172 ou ABTS, descrito por Erel (2004).

173 A oxidação lipídica foi realizada pela mensuração de malonaldeído, através da  
174 análise de Espécies Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARs), de acordo com  
175 metodologia utilizada por Juncher et al. (2001). Para isso, 5 g de carne foi triturada em  
176 Ultra-turrax com 10 mL de solução ácido tricloroacético para extração da proteína. O  
177 material foi centrifugado (4000 rpm, 4°C por 15 min) e o sobrenadante coletado, filtrado  
178 e misturado com solução de ácido tiobarbitúrico. Após homogeneização, a solução foi  
179 submetida ao banho-maria (100°C por 15 minutos) e resfriada. A leitura foi realizada em  
180 espectrofotômetro a 532 nm e os resultados apresentados em mg malonaldeído/kg de  
181 carne.

182

## 183 **2.9. Análises estatísticas**

184 Para avaliar a presença de outliers foi utilizado o procedimento UNIVARIATE. Em  
185 seguida, os dados foram submetidos à ANOVA. Para as variáveis quantitativas de  
186 carcaça, o peso ao abate dos suínos foi utilizado como covariável. Todos os testes de  
187 hipóteses foram realizados por meio de modelos lineares generalizados (GLM),  
188 utilizando o pacote estatístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EUA). As médias das  
189 variáveis foram comparadas entre si pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK). Todas  
190 as análises foram realizadas adotando o nível de significância de 5% ( $P \leq 0,05$ ).

191

## 192 **3. Resultados**

193

### 194 **3.1. Características de carcaça e peso de órgãos**

195 Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para características de carcaça  
196 (Tabela 2) e peso de órgãos (Tabela 3).

197

### 198 **3.2. Qualidade da carne**

199 As dietas contendo inclusão de antimicrobiano promotor de crescimento, óleos  
200 essenciais e/ou ácidos orgânicos resultaram em atributos similares de qualidade da carne  
201 suína ( $P > 0,05$ ), avaliados no músculo LL. Ainda assim, a dieta controle negativo  
202 proporcionou ( $P = 0,027$ ) a maior perda de água por cocção no músculo LL (19,48%),  
203 conforme expresso na Tabela 4.

204

### 205 **3.3. Análise bromatológica do músculo *longissimus lumborum***

206 A dieta com óleos essenciais resultou no maior teor de gordura bruta avaliada no  
207 músculo *longissimus lumborum* ( $P = 0,049$ ) comparado aos antibióticos, correspondente  
208 a 19,38%, conforme dados expressos na Tabela 5. Para as demais dietas, os valores foram  
209 similares entre si.

210

### 211 **3.4. Perfil de ácidos graxos do músculo *longissimus lumborum***

212 As dietas contendo inclusão de antimicrobiano promotor de crescimento, óleos  
213 essenciais e/ou ácidos orgânicos resultaram em perfil de ácidos graxos similar na carne  
214 suína ( $P > 0,05$ ). Entretanto, a dieta isenta de aditivos apresentou a menor concentração  
215 ( $P = 0,044$ ) de ácido linoleico (C18:2 n-6) e do total de ácidos graxos ômega 6 ( $P =$   
216 0,030), conforme expresso na Tabela 6.

217

### 218 **3.5. Avaliação de Shelf life**

219 Não houve efeito dos tratamentos ( $P > 0,05$ ) sobre a oxidação da carne sob  
220 refrigeração (4°C) por até 72 horas, mas houve piora crescente ( $P < 0,05$ ) em função do  
221 tempo de estocagem, comprovada pela redução linear nos valores de DPPH (Tabela 7) e  
222 ABTS (Tabela 8), bem como pelo aumento linear nos valores de TBARS (Tabela 9).

223

224

225

## 226 **4. Discussão**

227

228 Embora as características quantitativas da carcaça de suínos e o peso relativo de  
229 órgãos sejam diretamente dependentes do desempenho no crescimento animal, e o  
230 crescimento, por sua vez, esteja mais relacionado à genética, nutrição, ambiência e  
231 manejo pré-abate, entre outros fatores, a influência de aditivos em dietas pode representar

232 uma estratégia para modular o desempenho e a deposição de tecidos na carcaça,  
233 justificando o estudo de óleos essenciais e ácidos orgânicos como substitutos de  
234 antibióticos promotores de crescimento para suínos (Lebret, 2008).

235 Ainda assim, a ausência de efeitos ( $P > 0,05$ ) dos tratamentos para as variáveis  
236 quantitativas da carcaça (Tabela 2) e peso relativo de órgãos (Tabela 3) corrobora o  
237 comportamento observado em outro estudo previamente realizado com os mesmos  
238 aditivos, em que não houve efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho  
239 zootécnico, resultando em carcaças homogêneas ao abate.

240 Nesse sentido, ao avaliarem dietas contendo ácido benzoico (4,95 g / kg de dieta),  
241 butirato de sódio (1,47 g / kg) e butirato de sódio revestido com ácido benzoico (0,9 g /  
242 kg revestido 2,1 g / kg) sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade da  
243 carne de suínos, machos e fêmeas de 30 a 90 kg de peso vivo, Morel et al. (2019)  
244 verificaram que os ácidos orgânicos avaliados não alteram a composição de carcaça e a  
245 qualidade da carne de suínos, de ambos os sexos.

246 Em contrapartida, Cheng et al. (2018) avaliaram os efeitos da suplementação de  
247 óleo essencial de orégano (250 mg / kg), rico em carvacrol e timol, sobre o desempenho  
248 e características de carcaça de suínos na fase de crescimento-terminação (30 aos 105 kg).  
249 Os resultados obtidos mostraram que a suplementação do óleo essencial de orégano  
250 aumentou o ganho de peso médio dos animais durante o período total avaliado, além de  
251 reduzir a espessura de toucinho da 10<sup>a</sup> costela.

252 Este estudo não obteve efeitos dos tratamentos ( $P > 0,05$ ) sobre a qualidade da  
253 carne suína (Tabela 4), exceto para a perda de água por cocção no músculo LL, que teve  
254 o maior valor ( $P = 0,027$ ) para o tratamento controle negativo (19,48%) e o menor para  
255 o tratamento com óleos essenciais (14,74%). Resultados semelhantes foram obtidos por  
256 Kołodziej-Skalska et al. (2011), para suínos (30-100 kg) suplementados com 80 mg/kg  
257 de *blend* de óleos essenciais (5,4% de carvacrol, 2% de cinamaldeído e 2,2% de  
258 capsaicina). Os animais apresentaram menor ( $P < 0,05$ ) porcentagem de perda de água  
259 por gotejamento e por cocção no músculo *longissimus dorsi*, além de maior capacidade  
260 de retenção de água, em comparação com o grupo controle (ausência de aditivos).

261 Em contrapartida, Oh et al. (2018) que avaliaram a inclusão de aditivo  
262 microencapsulado contendo óleos essenciais e ácidos orgânicos: ácido cítrico (25%),  
263 sórbico (16,7%), timol (1,7%) e vanilina (1,0%) na alimentação de suínos nas fases de  
264 creche, crescimento e terminação não observaram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) na  
265 espessura de toucinho, profundidade de lombo, porcentagem de carne magra, cor da

266 carne, avaliação sensorial, pH, capacidade de retenção de água e perda de água por  
267 cocção.

268 A redução da oxidação dos lipídios da membrana pode melhorar a integridade das  
269 células musculares e, assim, reduzir o vazamento de fluido e aumentar a capacidade de  
270 retenção de água, (Pettigrew e Esnaola, 2001). O aumento da suculência do músculo pode  
271 ser resultado de uma redução na porcentagem de perda de cozimento em resposta à  
272 suplementação de extratos vegetais. A menor perda de água por gotejamento ou cocção e  
273 a maior capacidade de retenção de água são parâmetros importantes para manutenção dos  
274 atributos de qualidade da carne, afetando a suculência da carne cozida (Kołodziej-Skalska  
275 et al., 2011).

276 A adição de óleos essenciais na alimentação animal pode influenciar no tecido  
277 adiposo do organismo, ativar termogênese e alterar o metabolismo energético (Jiang et  
278 al., 2017). Por serem formados de lipídios, os óleos essenciais podem formar e depositar  
279 gordura no organismo, afetando a qualidade da carne, tornando-a mais susceptível à  
280 oxidação, mas melhorando sua maciez e palatabilidade (Yuan et al., 2016). No presente  
281 estudo, houve maior porcentagem de gordura bruta no músculo LL dos animais  
282 alimentados com óleos essenciais quando comparados aos alimentados com dieta  
283 contendo antibiótico.

284 Em contrapartida, Luo et al. (2020) observaram que a adição de cinamaldeído na  
285 alimentação de suínos em terminação reduziu a gordura intramuscular do músculo  
286 *longissimus dorsi* e a pontuação de marmoreio. Ainda assim, em trabalho previamente  
287 realizado com os mesmos aditivos do presente estudo, houve ausência de efeito ( $P > 0,05$ )  
288 sobre os níveis plasmáticos de colesterol e triglicérides entre os tratamentos, tornando  
289 os resultados inconclusivos quando observado todo o conjunto de dados avaliados.

290 Os ácidos graxos poli-insaturados possuem grande importância na alimentação dos  
291 humanos e animais, por contribuir para o funcionamento do metabolismo e na saúde, além  
292 de prevenir diversas doenças (Delgado-Lista et al., 2012). A nutrição é um fator  
293 importante na deposição de lipídios e os ácidos graxos adicionados na alimentação animal  
294 podem influenciar no perfil de ácidos graxos do tecido adiposo em suínos. A  
295 suplementação de ácidos graxos poli-insaturados na alimentação animal está se tornando  
296 uma prática para melhorar a qualidade nutricional dos lipídios nos produtos de origem  
297 animal, já que são excelentes fontes desses nutrientes na alimentação humana (Belmonte  
298 et al., 2021).

299 Por outro lado, a maior deposição de ácidos graxos poli-insaturados na carne suína  
300 podem aumentar a suscetibilidade à oxidação lipídica, reduzindo a qualidade sensorial,  
301 valor nutricional da carne e a vida de prateleira (Rey Al et al., 2004, Chamorro et al.,  
302 2015). Para contornar esse problema, antioxidantes são utilizados na alimentação de  
303 suínos, inclusive com a utilização de antioxidantes naturais e que possuem capacidade de  
304 persistir na membrana da célula muscular (Brenes et al., 2016, Cheng et al., 2017, Rey  
305 al., 2021).

306 Estudos verificaram que a suplementação dietética de extratos de ervas pode  
307 modificar a composição de ácidos graxos da carne suína, reduzindo a concentração de  
308 ácidos graxos saturados e aumentando a concentração dos insaturados. Resultado que  
309 pode ser explicado pela prevenção da oxidação lipídica dos ácidos graxos insaturados da  
310 carne (Zhou et al., 2013, Hanczakowka et al., 2015, Ahmed et al, 2016), corroborando os  
311 achados do presente estudo, em que a quantidade de ácido linoleico (C 18:2 n-6) e  
312 percentagem total de ômega 6 foram superiores ( $P < 0,05$ ) na carne dos animais que  
313 receberam alguma fonte dos aditivos avaliados, comparado ao controle negativo dos  
314 animais que não receberam nenhum tipo de aditivo na dieta (Tabela 6).

315 A maior porcentagem de ácido linoleico e da concentração total de ácidos graxos  
316 ômega 6 coincidem com o comportamento da perda de água por cocção, que foi maior  
317 para os animais que não receberam aditivos na dieta. Esses parâmetros são importantes  
318 para a aceitação do consumidor, pois além da menor perda de água estar relacionada à  
319 maciez da carne (Kołodziej-Skalska et al., 2011), o maior consumo de ácidos graxos  
320 insaturados promove benefícios na saúde dos consumidores (Delgado-Lista et al., 2012).

321 Suínos modernos, criados em sistemas de produção intensiva, são animais  
322 susceptíveis ao estresse oxidativo, não apenas pelo rápido crescimento dos tecidos e  
323 *turnover* proteico, mas também pelo adensamento, disputas hierárquicas, brigas e  
324 desafios sanitários, fato que pode promover redução no desempenho e na qualidade de  
325 carcaça (Omonijo et al., 2018 , Zhai et al., 2018). Além das enzimas antioxidantes  
326 presentes no organismo animal, a fim de reduzir os danos causados pelo estresse oxidativo  
327 (Mine et al., 2015), compostos fitogênicos possuem efeitos antioxidantes comprovados e  
328 estão sendo utilizados com sucesso na alimentação animal, sendo adicionados à ração  
329 para reduzir a deterioração e melhorar o status antioxidante dos tecidos animais,  
330 prevenindo de danos tanto *in vivo* quanto *post-mortem* (Kołodziej-Skalska et al., 2011,  
331 Zou et al., 2016, Liu et al., 2018).

332 Janz et al. (2007), ao avaliarem a adição de 0,05% de óleos essenciais de alecrim,  
333 alho, orégano e gengibre na alimentação de suínos, observaram que as características de  
334 carcaça e qualidade de carne permaneceram inalteradas pelos tratamentos. A inclusão  
335 dietética do óleo essencial de orégano promoveu tendência a reduzir a oxidação lipídica  
336 da carne suína em comparação ao tratamento controle. A oxidação lipídica não apresentou  
337 diferenças significativas entre os tratamentos, mesmo em condições de iluminação  
338 artificial e em dias adicionais (0, 2 e 4 dias) de armazenamento. Os autores justificaram  
339 que as condições de armazenamento a frio (0–1°C) e nível baixo de ácidos graxos poli-  
340 insaturados nas amostras podem ter limitado a extensão da oxidação lipídica da carne  
341 suína.

342 As propriedades antioxidantes dos óleos essenciais se mostraram eficazes em  
343 reduzir a oxidação lipídica em alimentos de origem animal, problema que ocorre em  
344 grande escala durante o processamento, cozimento e armazenamento refrigerado da carne  
345 suína, e pode afetar a qualidade do produto pela perda da cor, odor e sabor desejáveis, e  
346 encurta o prazo de validade (Yanks e Rouras, 2010, Silva et al., 2021). Resultados  
347 diferentes foram encontrados neste estudo, em que os aditivos não apresentaram efeito ( $P$   
348  $> 0,05$ ) sobre as variáveis antioxidantes DPPH (Tabela 7), ABTS (Tabela 8) e TBARS  
349 (Tabela 9) da carne suína por até 72 horas de armazenamento. O único efeito observado  
350 foi do tempo de armazenamento, que afetou ( $P < 0,05$ ) as variáveis avaliadas, indicando  
351 aumento linear da oxidação lipídica nas amostras. Esse resultado já era esperado, pois a  
352 carne possui ampla composição química e *in natura* apresenta prazo de validade curto,  
353 sendo suscetível às alterações de qualidade, cor, sabor, proliferação de microrganismos e  
354 demais alterações (Doulgeraki et al., 2012).

355 Ainda assim, resultados distintos foram encontrados por Luo et al. (2020), em que  
356 a adição de cinamaldeído (40 e 80 mg / kg de ração) na alimentação de suínos em  
357 terminação reduziu a concentração de TBARS e aumentou a concentração da enzima  
358 glutatona peroxidase. Os autores concluíram que o cinamaldeído dietético pode melhorar  
359 a qualidade da carne de suínos em terminação, por promover maior capacidade  
360 antioxidante.

361 Dietas com óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos para fêmeas suínas em  
362 terminação (75-100kg) apresentaram resultados similares às dietas com antibiótico  
363 promotor de crescimento sobre características de carcaça, peso relativo de órgãos,  
364 qualidade de carne, perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa. De modo geral, esses  
365 resultados permitem inferir que óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos podem substituir

366 antibióticos promotores de crescimento, sem prejuízos às características quantitativas e  
367 qualitativas da carne suína. Ainda assim, novos estudos são necessários para avaliar o  
368 efeito dos aditivos não antibióticos em cenários de desafio sanitário, estresse ambiental e  
369 sob diferentes dosagens na dieta.

370

## 371 **5. Conclusões**

372

373 Nas dosagens avaliadas, os óleos essenciais proporcionam a menor perda de água  
374 por cocção e a maior percentagem de gordura na carne de fêmeas suínas em terminação  
375 (75-100kg), enquanto antibióticos, óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos resultam em  
376 quantidades superiores de ácidos graxos ômega 6.

377

## 378 **Conflito de interesse**

379

380 Os autores declaram que não houve conflito de interesse entre os dados  
381 apresentados e empresas que auxiliaram na pesquisa.

382

## 383 **Agradecimentos**

384

385 Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal  
386 de Nível Superior – CAPES), pela concessão da bolsa de estudos para a conclusão do  
387 doutorado da primeira autora, e à empresa Pancosma Brasil®, pela cooperação na  
388 pesquisa.

389

## 390 **Referências**

391

392 A.O.A.C. Association of Official Agricultural Chemists, 1990. (15th ed.). Official  
393 Methods of the Association of the Agricultural Chemists, Vol. 2.

394

395 Ahmed ST, Mun HS, Islam MM, Ko SY, Yang CJ., 2016. Effects of dietary natural and  
396 fermented herb combination on growth performance, carcass traits and meat quality in  
397 grower-finisher pigs. Meat Sci. 122:7–15.

398

- 399 Belmonte, A. M., Macchioni, P., Minelli, G., Scutaru, C. et al., 2021. Effects of high  
400 linolenic acid diet supplemented with synthetic or natural antioxidant mix on live  
401 performance, carcass traits, meat quality and fatty acid composition of Longissimus  
402 thoracis et lumborum muscle of medium-heavy pigs. *Italian Journal of Food Science*,  
403 33 (2): 117–128.  
404
- 405 Bhavaniramy, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., Vijayakumar, R., Baskaran, D.,  
406 2019. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications,  
407 *Grain & Oil Science and Technology*, v. 2, Issue 2, p. 49-55, ISSN 2590-2598 (DOI:  
408 10.1016/j.gaost.2019.03.001).  
409
- 410 Brenes, A., Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes  
411 of action, *Animal Feed Science and Technology*, v. 158, Issues 1–2, p. 1-14, ISSN 0377-  
412 8401, (DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.03.007).  
413
- 414 Brown, K., Uwiera, R.E.R., Kalmokoff, M.L, Brooks, S.P.J., Inglis, G.D., 2017.  
415 Antimicrobial growth promoter use in livestock: a requirement to understand their modes  
416 of action to develop effective alternatives, *International Journal of Antimicrobial Agents*,  
417 v. 49, p. 12-24, ISSN 0924-8579 (DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2016.08.006).  
418
- 419 Bligh, E. G., & Dyer, W. J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and  
420 purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8), 911-917.  
421
- 422 Bridi, A. M. & Silva, C. A., 2009. *Avaliação da Carne Suína*. Londrina: Midigraft.  
423
- 424 Boccard, R., Buchter, L., Cassels, E. et al. Proceedings for measuring meat quality  
425 characteristics in beef production experiments. Beef Production Program: Report of a  
426 working group in the Commission of the European Communities. 1981.  
427
- 428 Chamorro, A. Viveros, A. Rebolé, B.D. Rica, I. Arija, A. Brenes, 2015. Influence of  
429 dietary enzyme addition on polyphenol utilization and meat lipid oxidation of chicks fed  
430 grape pomace, *Food Research International*, Volume 73, 2015, Pages 197-203, ISSN  
431 0963-9969, (DOI : 10.1016/j.foodres.2014.11.054).

432

433 Cheng, C., Xia, M., Zhang, X., Wang, C., Jiang, S., Peng, J., 2018. Supplementing  
434 Oregano Essential Oil in a Reduced-Protein Diet Improves Growth Performance and  
435 Nutrient Digestibility by Modulating Intestinal Bacteria, Intestinal Morphology, and  
436 Antioxidative Capacity of Growing-Finishing Pigs. *Animals*, v. 8, p. 159, (DOI:  
437 10.3390/ani8090159)

438

439 Cheng, C., Liu, Z., Zhou, Y., Wei, H. et al., 2017. Effect of oregano essential oil  
440 supplementation to a reduced-protein, amino acid-supplemented diet on meat quality,  
441 fatty acid composition, and oxidative stability of Longissimus thoracis muscle in  
442 growing-finishing pigs, *Meat Science*, v. 133, p. 103-109, ISSN 0309-1740, (DOI:  
443 10.1016/j.meatsci.2017.06.011).

444

445 Cho, J. H., Song, M. H., & Kim, I. H., 2014. Effect of microencapsulated *blends* of  
446 organic acids and essential oils supplementation on growth performance and nutrient  
447 digestibility in finishing pigs. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(4), 264-272.

448

449 Delgado-Lista, J., Perez-Martinez, P., Lopez-Miranda, J., & Perez-Jimenez, F., 2012.  
450 Long chain omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: A systematic review. *British*  
451 *Journal of Nutrition*, 107(S2), S201-S213. (DOI:10.1017/S0007114512001596).

452

453 Doulgeraki, A. I., Ercolini, D., Villani, F., & Nychas, G. J. E., 2012. Spoilage microbiota  
454 associated to the storage of raw meat in different conditions. *International journal of food*  
455 *microbiology*, 157(2), 130-141.

456

457 Erel, O., 2004. A novel automated direct measurement method for total antioxidant  
458 capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clinical biochemistry*,  
459 37(4), 277-285.

460

461 Guidoni, A.L. Melhoria de Processos para a tipificação e valorização de carcaças suínas  
462 no Brasil. In: Conferência Internacional virtual sobre a qualidade de carne suína, 1., 2000.  
463 Concórdia: EMBRAPA -CNSA, 2000. p. 221- 234

464

- 465 Hanczakowska E, Świątkiewicz M, Grela ER., 2015. Effect of dietary inclusion of a  
466 herbal extract mixture and different oils on pig performance and meat quality. *Meat Sci.*  
467 108:61–66.
- 468
- 469 Janz, J.A.M., Morel, P.C.H., Wilkinson, B.H.P., Purchas, R.W., 2007. Preliminary  
470 investigation of the effects of low-level dietary inclusion of fragrant essential oils and  
471 oleoresins on pig performance and pork quality, *Meat Science*, Volume 75, Issue 2, Pages  
472 350-355, ISSN 0309-1740, (DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.06.027).
- 473
- 474 Jiang, J., Emont, M.P., Jun, H., Qiao, X., et al., 2017. Cinnamaldehyde induces fat cell-  
475 autonomous thermogenesis and metabolic reprogramming, *Metabolism*, Volume 77,  
476 Pages 58-64, ISSN 0026-0495 (DOI: 10.1016/j.metabol.2017.08.006).
- 477
- 478 Juncher, D., Rønn, B., Mortensen, E., Henckel, P., Karlsson, A., Skibsted, L., &  
479 Bertelsen, G., 2001). Effect of pre-slaughter physiological conditions on the oxidative  
480 stability of colour and lipid during chill storage of pork. *Meat Science*, 58(4), 347-  
481 357.
- 482
- 483 Kołodziej-Skalska, A., Rybarczyk, A., Matysiak, B., Jacyno, E., Pietruszka, A., &  
484 Kawęcka, M., 2011. Effect of dietary plant extracts mixture on pork meat quality. *Acta*  
485 *Agriculturae Scandinavica*, Section A-Animal Science, 61(2), 80-85.
- 486
- 487 Li, W., Shan, F., Sun, S., Corke, H., & Beta, T., 2005. Free radical scavenging properties  
488 and phenolic content of chinese black-grained wheat. *Journal of Agricultural and*  
489 *Food Chemistry*, 53(22), 8533-8536.
- 490
- 491 Liu, Y., Espinosa, C.D., Abelilla, J.J., Casas, G.A. et al., 2018. Non-antibiotic feed  
492 additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition*, v. 4, Issue 2, p. 113-125, ISSN  
493 2405-6545 (DOI: 10.1016/j.aninu.2018.01.007).
- 494
- 495 Li, D. L., Li, X. M., & Wang, B. G., 2009. Natural anthraquinone derivatives from a  
496 marine mangrove plant-derived endophytic fungus *Eurotium rubrum*: structural

- 497 elucidation and DPPH radical scavenging activity. *Journal of microbiology and*  
498 *biotechnology*, 19(7), 675-680.
- 499
- 500 Lebret, B., 2008. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition  
501 and meat quality in pigs. *Animal*, 2(10), 1548-1558.
- 502
- 503 Liu, Y., Espinosa, C.D., Abelilla, J.J., Casas, G.A. et al., 2018. Non-antibiotic feed  
504 additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition*, v. 4, Issue 2, p. 113-125, ISSN  
505 2405-6545 (DOI: 10.1016/j.aninu.2018.01.007).
- 506
- 507 Luo, Q., Li, N., Zheng, Z., Chen, L. et al., 2020. Dietary cinnamaldehyde  
508 supplementation improves the growth performance, oxidative stability, immune function,  
509 and meat quality in finishing pigs, *Livestock Science*, v. 240, n. 104221,  
510 ISSN 1871-1413, (DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104221).
- 511
- 512 Luo, P., Luo, L., Zhao, W., Wang, L., Sun, L., et al., 2020. Dietary thymol  
513 supplementation promotes skeletal muscle fibre type switch in longissimus dorsi of  
514 finishing pigs. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, v. 104(2), p. 570-578.
- 515
- 516 Lückstädt, C., & Mellor, S., 2011. The use of organic acids in animal nutrition, with  
517 special focus on dietary potassium diformate under European and Austral-Asian  
518 conditions. *Recent Adv Anim Nutr Aust*, 18, 123-130.
- 519
- 520 Marques, C. S., Carvalho, S. G., Bertoli, L. D., Villanova, J. C. O., Pinheiro, P. F., Dos  
521 Santos, D. C. M., ... & Bernardes, P. C. (2019).  $\beta$ -Cyclodextrin inclusion complexes with  
522 essential oils: Obtention, characterization, antimicrobial activity and potential application  
523 for food preservative sachets. *Food Research International*, 119, 499-509.
- 524
- 525 Mroz, Z., 2005. Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for  
526 pigs. *Advances in pork production*, 16(1), 169-182.
- 527
- 528 Morel, P.C.H., Chidgey, K.L., Jenkinson, C.M.C., Lizarraga, I., Schreurs, N.M., 2019.  
529 Effect of benzoic acid, sodium butyrate and sodium butyrate coated with benzoic acid on

- 530 growth performance, digestibility, intestinal morphology and meat quality in grower-  
531 finisher pigs, *Livestock Science*, v. 226, p. 107-113, ISSN 1871-1413, (DOI:  
532 10.1016/j.livsci.2019.06.009).
- 533
- 534 Mangalagiri, N.P., Panditi, S.K., Jeevigunta, N. L. L. (2021). Antimicrobial activity of  
535 essential plant oils and their major components, *Heliyon*, v. 7, Issue 4, ISSN 2405-8440  
536 (DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06835).
- 537
- 538 Mine, Y., Young, D., & Yang, C. (2015). Antioxidative stress effect of phosphoserine  
539 dimers is mediated via activation of the Nrf2 signaling pathway. *Molecular nutrition &*  
540 *food research*, 59(2), 303-314.
- 541
- 542 National Research Council - NRC., 2012. Nutrients requirement of swine. (11th ed.).  
543 Washington DC: National Academic Press.
- 544
- 545 Oh, H., HoKim, I., HoSong, M., GiKwak, W., et al., 2018. Effects of microencapsulated  
546 complex of organic acids and essential oils on growth performance, nutrient retention,  
547 blood profiles, fecal microflora, and lean meat percentage in weaning to finishing pigs.  
548 *Canadian Journal of Animal Science*. 99(1): 41-49. (DOI:10.1139/cjas-2018-0006).
- 549
- 550 Omonijo, F. A., Ni, L., Gong, J., Wang, Q., Lahaye, L., & Yang, C., 2018. Essential oils  
551 as alternatives to antibiotics in swine production. *Animal Nutrition*, v. 4, n. 2, p. 126-136.
- 552
- 553 Pettigrew, J. E., & Esnaola, M. A., 2001. Swine nutrition and pork quality: A  
554 review. *Journal of Animal Science*, 79(suppl\_E), E316-E342.
- 555
- 556 Rey, A., López-Bote, C.J., Kerry, J.P., Lynch, P.B., 2004. Modification of lipid  
557 composition and oxidation in porcine muscle and muscle microsomes as affected by  
558 dietary supplementation of n-3 with either n-9 or n-6 fatty acids and  $\alpha$ -tocopheryl  
559 acetate. *Anim Feed Sci Technol* 113: 223– 238.
- 560
- 561 Rey, A., De Cara, J.F. Segura, P., Martí,T., Hechavarría, L.C., 2021. Dietary oleuropein  
562 extract supplementation and its combination with  $\alpha$ -tocopheryl acetate and selenium

563 modifies the free fatty acid profile of pork and improves its stability. *Journal of the*  
564 *Science of Food and Agriculture*, v 101 , issue 6 , p. 2337 - 2344 (DOI:  
565 10.1002/jsfa.10855).

566

567 Statistical Analysis System - SAS., 2001. SAS User's Guide: Estatistics. Eletronic  
568 version 9.1. Cary (CD-ROM).

569

570 Silva, B.D., Bernardes, P.C., Pinheiro, P.F., Fantuzzi, E., Roberto, C. D., 2021.  
571 Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils:  
572 Natural preservative and limitations of use in meat products. *Meat Science*, v. 176,  
573 108463, ISSN 0309-1740 (DOI: 10.1016/j.meatsci.2021.108463).

574

575 Tugnoli, B., Giovagnoni, G., Piva, A., & Grilli, E., 2020. From acidifiers to intestinal  
576 health enhancers: How organic acids can improve growth efficiency of pigs. *Animals*, v.  
577 10, n. 1, p. 134.

578

579 Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary  
580 factors. *The lancet*, 338(8773), 985-992.

581

582 Zhou TX, Zhang ZF, Kim IH., 2013. Effects of dietary *Coptis chinensis* herb extract on  
583 growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics and meat quality in  
584 growing-finishing pigs. *Asian-Aust J Anim Sci*. 26:108–115.

585

586 Zentek, J., Buchheit-Renko, S., Ferrara, F., Vahjen, W., Van Kessel, A. G., & Pieper, R.,  
587 2011. Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-  
588 chain fatty acids in piglets. *Animal Health Research Reviews*, v. 12, n. 1, p. 83-93.

589

590 Zou, Y., Xiang, Q., Wang, J., Wei, H., Peng, Y., 2016. Effects of oregano essential oil  
591 or quercetin supplementation on body weight loss, carcass characteristics, meat quality  
592 and antioxidant status in finishing pigs under transport stress, *Livestock Science*, v. 192,  
593 p. 33-38, ISSN 1871-1413, (DOI: 10.1016/j.livsci.2016.08.005).

594

595 Zhai, H., Liu, H., Wang, S., Wu, J. et al., 2018. Potential of essential oils for poultry and  
596 pigs. *Animal Nutrition*, v. 4, Issue 2, p. 179-186, ISSN 2405-6545 (DOI:  
597 10.1016/j.aninu.2018.01.005).

598 **Tabela 1.** Composição centesimal, química e energética das rações experimentais<sup>1</sup> para  
 599 fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg), contendo diferentes aditivos substitutivos  
 600 ao antibiótico promotor de crescimento.

Ingredientes (g/kg)	Tratamentos <sup>2</sup>				
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.
Virginiamicina (ppm)	-	200	-	-	-
Óleos essenciais (ppm)	-	-	150	-	150
Ácidos orgânicos (ppm)	-	-	-	3000	3000
Milho	80,089	80,089	80,089	80,089	80,089
Farelo de soja	15,782	15,782	15,782	15,782	15,782
Óleo de soja	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368
Calcário	0,643	0,643	0,643	0,643	0,643
Fosfato bicálcico	1,044	1,044	1,044	1,044	1,044
Sal comum	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204
L-lisina HCl (78,4%)	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291
DL-metionina (99,0%)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
L-treonina (98,5%)	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
Premix vitam.-mineral <sup>3</sup>	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Antioxidante <sup>4</sup>	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Virginiamicina	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000
<i>Blend</i> de óleos essenciais	0,000	0,000	0,015	0,000	0,015
<i>Blend</i> de ácidos orgânicos	0,000	0,000	0,000	0,300	0,300
Inerte <sup>5</sup>	0,315	0,313	0,300	0,015	0,000
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada					
EM (Kcal/kg)	3300	3300	3300	3300	3300
EL (Kcal/kg)	2539	2539	2539	2539	2539
PB (g/kg)	137,91	137,91	137,91	137,91	137,91
Ca (g/kg)	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
P disponível (g/kg)	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74
Sódio (g/kg)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potássio (g/kg)	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21
Cloro (g/kg)	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77

Lisina digestível (g/kg)	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70
Met+Cis dig. (g/kg)	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
Metionina dig. (g/kg)	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Treonina dig. (g/kg)	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Triptofano dig. (g/kg)	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Arginina dig. (g/kg)	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76
Valina dig. (g/kg)	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66
Leucina dig. (g/kg)	11,73	11,73	11,73	11,73	11,73
Isoleucina dig. (g/kg)	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84
BED (mEq/kg) <sup>6</sup>	126,79	126,79	126,79	126,79	126,79

601 1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo recomendações do NRC (2012).

602 2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição  
603 de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend*  
604 comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos  
605 (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico,  
606 ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes),  
607 O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina,  
608 carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido  
609 propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido  
610 cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

611 3- Conteúdo/kg: vit. A - 10.000.000 U.I., vit D<sub>3</sub> - 1.500.000 U.I., vit. E - 30.000 U.I., vit B<sub>1</sub> - 392 mg, vit  
612 B<sub>2</sub> - 853 mg, vit. B<sub>6</sub> - 396 mg, vit B<sub>12</sub> - 5.333 mcg, ácido nicotínico - 6.533 mg, ácido pantotênico - 3.166  
613 mg, vit. K<sub>3</sub> - 485 mg, ácido fólico - 106 mg, biotina - 26 mg, ferro - 15 g, cobre - 2.400 mg, cobalto - 27  
614 mg, manganês - 10,40 mg, zinco - 20 g, iodo - 165 mg, selênio - 60 mg e veículo q.s.p. p/ 1000 g/kg.

615 4- BHT (Butil-hidroxi Tolueno).

616 5- Areia fina lavada.

617 6- Balanço eletrolítico da dieta.

**Tabela 2.** Características de carcaça de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Peso final (kg)	99,19	102,01	99,38	101,80	99,99	100,47±3,94	0,62	0,431
Peso ao abate (kg)	96,56	99,47	96,01	98,56	97,96	97,51±5,19	0,82	0,650
Perda por jejum (%)	3,07	2,65	3,39	3,04	2,64	2,96±0,85	0,13	0,368
Rendimento de carcaça quente (%)	82,15	80,59	80,60	80,82	80,56	80,94±1,30	0,20	0,093
Rendimento de carcaça fria (%)	78,97	78,19	77,92	78,24	78,16	78,29±1,39	0,22	0,630
Perda por resfriamento (%)	2,88	2,98	3,33	3,19	2,96	3,072±0,80	0,13	0,562
Rendimento de pernis (%)	22,00	21,36	21,91	21,38	21,34	21,60±0,99	0,16	0,494
Comprimento de carcaça (cm)	96,88	99,06	99,00	96,31	97,06	97,66±3,99	0,63	0,521
Espessura de toucinho (cm)	1,28	1,30	1,38	1,29	1,38	1,33±0,28	0,04	0,912
Profundidade de músculo (cm)	6,54	6,77	6,51	6,85	6,84	6,70±0,40	0,06	0,271
Rendimento de carne magra (%)	59,08	59,19	58,47	59,38	58,84	58,99±1,74	0,28	0,861

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 3.** Peso relativo de órgãos e de gordura abdominal de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Coração (%)	0,424	0,392	0,435	0,422	0,423	0,410±0,038	0,005	0,113
Baço (%)	0,194	0,181	0,207	0,184	0,195	0,193±0,046	0,006	0,817
Fígado (%)	1,699	1,739	1,703	1,704	1,729	1,715±0,214	0,033	0,997
Rins (%)	0,414	0,408	0,406	0,392	0,375	0,397±0,052	0,032	0,689
Gordura abdominal (%)	1,427	1,306	1,288	1,236	1,317	1,319±0,240	0,038	0,630

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes ), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 4.** Características qualitativas do músculo *longissimus lumborum* de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P- valor <sup>4</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
pH 45 min	5,92	6,08	6,13	6,09	6,23	6,09±0,30	0,05	0,352
pH 24 h	5,44	5,42	5,44	5,55	5,54	5,48±0,12	0,02	0,141
Perda por gotejamento (%)	5,08	5,82	4,85	4,62	3,88	5,85±0,69	0,07	0,268
Perda por descongelamento (%)	4,24	4,29	3,12	4,25	3,34	3,86±0,97	0,08	0,611
Perda por cocção (%)	19,48 <sup>a</sup>	16,68 <sup>ab</sup>	14,74 <sup>b</sup>	17,76 <sup>ab</sup>	14,86 <sup>b</sup>	16,70±0,16	0,03	0,027
Capacidade de retenção de água (%)	66,23	63,78	64,68	62,42	64,01	64,23±4,15	0,65	0,476
Força de cisalhamento (N)	40,41	43,52	44,91	47,99	44,77	44,33±10,57	1,67	0,712
Minolta L	56,68	57,78	55,51	56,47	55,53	56,39±2,92	0,46	0,517
Minolta a	8,18	7,71	7,19	7,37	6,84	7,45±1,82	0,29	0,640
Minolta b	2,40	2,65	2,05	2,27	1,77	2,23±0,16	0,02	0,619

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 5.** Composição centesimal do músculo *longissimus lumborum* grelhado de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis <sup>2</sup>	Tratamentos <sup>3</sup>					Média	EPM <sup>4</sup>	P- valor <sup>5</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Matéria seca (%)	30,05	28,81	29,24	29,15	29,19	29,29 ± 1,19	0,19	0,337
Matéria mineral (%)	1,24	1,31	1,34	1,42	1,28	1,32 ± 0,25	0,04	0,304
Gordura bruta (%)	16,16 <sup>ab</sup>	14,18 <sup>b</sup>	19,38 <sup>a</sup>	15,24 <sup>ab</sup>	16,20 <sup>ab</sup>	16,23 ± 3,33	0,53	0,049
Proteína bruta (%)	24,03	23,63	24,20	23,94	23,99	23,96 ± 1,02	0,16	0,847
Relação gordura:proteína	0,67	0,61	0,81	0,64	0,68	0,68 ± 0,15	0,02	0,096
Energia bruta (kcal/kg)	5729,11	5657,33	5721,92	5720,57	5688,15	5703,42 ± 113,79	17,99	0,691

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Baseado numa escala de 9 pontos (1: não gostei extremamente, 9: gostei extremamente).

3- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

4- EPM: Erro padrão da média.

5- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 6.** Perfil de ácidos graxos do músculo *longissimus lumborum* grelhado de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) alimentadas com dietas<sup>1</sup> contendo diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento.

Variáveis <sup>2</sup>	Tratamentos <sup>3</sup>					Média	EPM <sup>4</sup>	P- valor <sup>5</sup>
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			
Ácidos graxos saturados (%)								
C10:0, ácido cáprico	0,000	0,197	0,000	0,020	0,010	0,04 ± 0,19	0,03	0,640
C12:0, ácido láurico	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,01 ± 0,01	0,01	0,183
C16:0, ácido palmítico	22,490	20,489	22,011	20,179	18,259	20,72 ± 10,52	1,66	0,793
C17:0, ácido agárico	2,994	2,711	3,571	3,560	2,921	3,16 ± 1,10	0,17	0,317
C18:0, ácido esteárico	10,620	11,767	11,764	11,457	12,064	11,54 ± 2,01	0,32	0,553
C20:0, ácido araquídico	0,000	0,000	0,033	0,000	0,000	0,01 ± 0,03	0,01	0,170
Ácidos graxos monoinsaturados (%)								
C14:1 n-9, ácido miristoleico	1,451	1,376	0,973	1,126	0,974	1,17 ± 0,62	0,10	0,500
C16:1 n-7, ácido palmitolênico	0,000	4,091	3,106	4,949	6,641	3,74 ± 8,90	1,41	0,862
C16:1 n-9, ácido palmitolênico	0,000	0,000	6,606	0,000	0,000	1,47 ± 8,81	1,39	0,413
C17:1 n-9, ácido 8-hexadecenóico	0,042	0,560	0,000	0,000	0,669	0,25 ± 0,99	0,16	0,542
C18:1 n-7, ácido cis-vacênico	58,540	52,963	46,098	42,380	52,821	50,44 ± 15,39	2,43	0,331
C18:1 n-9, ácido oleico	0,000	0,000	0,000	10,414	0,000	2,02 ± 7,84	1,24	0,170
Ácidos graxos polinsaturados (%)								
C18:2 n-6, ácido linoleico	2,777 <sup>b</sup>	4,921 <sup>a</sup>	4,900 <sup>a</sup>	5,249 <sup>a</sup>	4,759 <sup>a</sup>	4,53 ± 1,59	0,25	0,044

C18:3 n-3, ácido $\alpha$ -linolênico	0,986	0,837	0,691	0,451	0,624	0,72 $\pm$ 0,94	0,15	0,855
C18:3 n-6, ácido $\mu$ -linolênico	0,000	0,000	0,000	0,021	0,026	0,01 $\pm$ 0,03	0,01	0,449
C20:2 n-6, ácido 11,14-eicosadiênico	0,000	0,027	0,040	0,054	0,044	0,03 $\pm$ 0,08	0,01	0,728
C20:3 n-3, ácido eicosatrienoico	0,099	0,063	0,187	0,065	0,153	0,12 $\pm$ 0,16	0,02	0,511
C20:4 n-6, ácido araquidônico	0,000	0,000	0,020	0,041	0,024	0,02 $\pm$ 0,05	0,01	0,558
C22:4 n-6, ácido docosatetraenoico	0,000	0,000	0,000	0,024	0,013	0,01 $\pm$ 0,02	0,01	0,258
<b>Ácidos graxos totais</b>								
Saturados - AGS (%)	36,101	35,163	37,378	35,226	33,254	35,48 $\pm$ 12,25	1,94	0,977
Insaturados - AGI (%)	63,899	64,837	62,623	64,774	66,746	64,52 $\pm$ 12,25	1,94	0,977
Monoinsaturados - AGMI (%)	60,037	58,990	56,784	58,866	61,104	59,09 $\pm$ 12,71	2,00	0,974
Polinsaturados - AGPI (%)	3,860	5,847	5,839	5,906	5,641	5,43 $\pm$ 1,53	0,24	0,059
Ômega 3 – N3 (%)	1,084	0,900	0,876	0,514	0,777	0,83 $\pm$ 0,95	0,15	0,820
Ômega 6 – N6 (%)	2,777 <sup>b</sup>	4,949 <sup>a</sup>	4,961 <sup>a</sup>	5,390 <sup>a</sup>	4,866 <sup>a</sup>	4,60 $\pm$ 1,57	0,25	0,030
N6:N3	5,033	4,363	6,997	6,490	3,976	5,43 $\pm$ 4,26	0,67	0,531
AGMI:AGPI	0,117	0,187	0,171	0,221	0,219	0,18 $\pm$ 0,11	0,02	0,457

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Baseado numa escala de 9 pontos (1: não gostei extremamente, 9: gostei extremamente).

3- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

4- EPM: Erro padrão da média.

5- P-valor inferior a 0,05 indica diferença entre as médias de uma mesma variável, pelo teste de Student-Neuman-Keuls (SNK).

**Tabela 7.** Efeito de diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento na dieta<sup>1</sup> de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) sobre o percentual de sequestro (%) do radical DPPH no músculo *longissimus lumborum* em diferentes períodos de estocagem (4°C).

Período (horas)	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P-valor		
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			Trat X Período	Tratamento	Período
0	17,72	18,01	18,56	17,80	20,20	18,46±1,62	0,41			
24	16,90	17,18	17,43	16,64	18,57	17,34±1,84	0,61	0,991	0,215	0,015 <sup>4</sup>
48	15,77	16,88	16,84	16,38	17,21	16,62±2,15	0,34			
72	15,69	15,82	16,61	15,62	16,98	16,14±2,43	0,22			
Média	16,52±3,32	16,97±3,09	17,36±3,97	16,61±3,08	18,20±4,06					
EPM <sup>3</sup>	0,59	0,55	0,54	0,52	0,89					

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- Efeito Linear:  $Y = 18,293 - 0,032X$  ( $R^2=0,96$ )

**Tabela 8.** Efeito de diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento na dieta<sup>1</sup> de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) sobre o percentual de sequestro (%) do radical ABTS no músculo *longissimus lumborum* em diferentes períodos de estocagem (4°C).

Período (horas)	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P-valor		
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			Trat X	Tratamento	Período
0	58,09	59,12	60,97	58,38	61,14	59,54±3,82	1,08			
24	57,19	58,38	60,16	56,62	59,90	58,45±3,53	1,19	0,989	0,372	0,012 <sup>4</sup>
48	55,78	56,21	58,35	55,46	58,77	56,92±4,00	1,11			
72	54,40	54,26	57,06	53,94	57,91	55,52±4,46	1,18			
Média	56,36±7,31	56,99±9,93	59,14±7,97	56,10±8,46	59,43±6,33					
EPM <sup>3</sup>	01,29	1,75	1,41	1,49	1,12					

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- Efeito Linear:  $Y = 59,646 - 0,0566X$  ( $R^2=0,97$ )

**Tabela 9.** Efeito de diferentes aditivos substitutivos ao antibiótico promotor de crescimento na dieta<sup>1</sup> de fêmeas suínas em terminação (75 aos 100kg) sobre a geração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico – TBARS (mg MDA Eq/kg) no músculo *longissimus lumborum* em diferentes períodos de estocagem (4°C).

Período (horas)	Tratamentos <sup>2</sup>					Média	EPM <sup>3</sup>	P-valor		
	Controle (-)	Controle (+)	O.E.	A.O.	O.E. + A.O.			Trat X Período	Tratamento	Período
0	0,65	0,57	0,60	0,65	0,61	0,62±0,031	0,005			
24	0,76	0,75	0,75	0,75	0,71	0,75±0,030	0,005	0,991	0,793	0,020 <sup>4</sup>
48	0,77	0,77	0,76	0,79	0,79	0,78±0,037	0,007			
72	0,85	0,80	0,78	0,86	0,87	0,83±0,033	0,005			
Média	0,76±0,052	0,72±0,049	0,72±0,041	0,76±0,053	0,74±0,052					
EPM <sup>3</sup>	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007					

1- As rações foram formuladas para atender as exigências da fase, seguindo as recomendações NRC (2012).

2- Controle (-): Dieta sem adição de antibiótico ou aditivos substitutivos, Controle (+): Dieta com adição de antibiótico (200ppm de Virginiamicina), O.E.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído), A.O.: Dieta com adição de ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes), O.E. + A.O.: Dieta com adição de óleos essenciais (150 ppm de *blend* comercial à base de capsaicina, carvacrol e cinamaldeído) associado a ácidos orgânicos (3000 ppm de *blend* comercial à base de ácido propiônico, ácido acético, ácido benzoico, ácido caprílico, ácido láurico, ácido sórbico, ácido cáprico, ácido cítrico, ácido fórmico, formiato de amônio e excipientes).

3- EPM: Erro padrão da média.

4- Efeito Linear:  $Y = 0,646 + 0,0027X$  ( $R^2 = 0,90$ )

## V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos trabalhos apresentam efeitos benéficos dos óleos essenciais e ácidos orgânicos como aditivos alternativos aos antibióticos promotores de desempenho. Porém, no presente trabalho as dosagens utilizadas de óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos foram semelhantes aos resultados encontrados com a utilização dos antibióticos promotores de crescimento para as variáveis de desempenho, parâmetros sanguíneos e resposta imunológica de fêmeas suínas em terminação. A defesa antioxidante do fígado apresentou-se superior nas fêmeas que receberam alguma fonte de aditivos quando comparadas ao controle negativo, composta por uma dieta sem qualquer aditivo.

Para as características de carcaça e qualidade de carne eram esperados efeito superiores em função do uso de aditivos alternativos, principalmente os óleos essenciais. Pesquisas realizadas anteriormente demonstram efeitos antioxidantes de alguns óleos essenciais sobre a qualidade de carne, com a redução da oxidação lipídica, maior capacidade de retenção de água no gotejamento, congelamento e cocção e maior vida de prateleira, parâmetros importantes para maior aceitação da carne por parte dos consumidores. No presente estudo, as dietas com óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos tiveram efeitos semelhantes aos antibióticos, com destaque para a percentagem de ácido linoleico (ômega 6) e para perda de água na cocção, que apresentaram resultados superiores para fêmeas suínas que receberam aditivos, antibiótico ou não, comparados com as que não receberam nenhuma fonte na dieta.

## VI –IMPLICAÇÕES

Os antibióticos como promotores de desempenho na alimentação de suínos estão se tornando restritos, principalmente pela exigência dos consumidores e a preocupação com a saúde humana. Uso de aditivos alternativos já é uma realidade na produção animal, principalmente na suinocultura. Os estudos com óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos são amplos e apresentam resultados divergentes, pela quantidade de produtos e fatores que influenciam na produção animal.

A realização de mais pesquisas e a mensuração de outros parâmetros são importantes para obter resultados mais conclusivos, como a avaliação dos óleos essenciais e/ou ácidos orgânicos em animais machos e fêmeas, diferentes fases de produção e no ciclo completo, diferentes dosagens e combinações dos produtos, indução de protocolos de desafio sanitário e/ou imunológico para os animais, avaliação de parâmetros morfológicos do trato digestório dos animais, análises de outras enzimas antioxidantes no fígado e sangue dos animais, entre outras variáveis.