

Estratégias para redução de *Campylobacter* termotolerantes em frangos
Strategies for the reduction of *Campylobacter* thermotolerants in broilers
Estrategias para la reducción de termotolerantes de *Campylobacter* en pollos

Recebido: 17/12/2019 | Revisado: 26/01/2020 | Aceito: 12/02/2020 | Publicado: 18/02/2020

Luíza Toffano Seidel Calazans

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4188-1241>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: luiza_calazans@hotmail.com

Maria Auxiliadora Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8373-1671>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: maa@ufg.br

Bruna Aparecida Souza Machado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1655-0325>

Centro Universitário SENAI, Bahia

E-mail: brunam@fieb.org.br

Cíntia Silva Minafra-Rezende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0727-5651>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: cintia.minafra@ufg.br

Resumo

Campylobacter termotolerantes relacionam-se a um grupo de patógenos que são veiculados por alimentos e atualmente considerados como os principais causadores de doenças gastrintestinais de ocorrência global e com alta frequência de resistência a antimicrobianos. Pelo exposto, a presente revisão tem por objetivo discorrer sobre alternativas para o controle e redução do microrganismo em frangos, abordando ações de biossegurança e estratégias nutricionais. Desta forma, é possível elencar medidas referentes ao plano geral de manejo dos frangos desde o alojamento até o transporte para abatedouros, bem como componentes biológicos e/ou químicos associados à dieta das aves para que minimizem contaminação e, por decorrência, a disseminação da bactéria durante as operações de abate, a veiculação dos patógenos por alimentos e o risco à saúde pública.

Palavras-chave: Aves de corte; Bioseguridade; *Campylobacter*.

Abstract

Thermotolerant *Campylobacter* is related to a group of foodborne pathogens that are currently considered to be the main causes of globally occurring gastrointestinal diseases with high frequency of antimicrobial resistance. Therefore, this review aims to discuss alternatives for the control and reduction of microorganism in broiler, like biosecurity actions and nutritional strategies. Thus, it is possible to list feasible measures relating to the overall management plan for chickens from housing to transport to slaughterhouses, as well as biological and / or chemical components associated with the broiler's feed so that they minimize contamination and, as a result, the spread of the bacteria during slaughter operations, the transmission of pathogens by food and the risk to public health.

Keywords: Poultry; Biosecurity; *Campylobacter*.

Resumen

Campylobacter termotolerantes están relacionados con un grupo de patógenos que son transportados por los alimentos y actualmente considerados como las principales causas de enfermedades gastrointestinales de ocurrencia mundial y con alta frecuencia de resistencia a los antimicrobianos. Em vista de lo anterior, esta revisión tiene como objetivo discutir alternativas para al control y la reducción de microorganismos em los pollos, abordando las acciones de bioseguridad y las estrategias nutricionales. De esta manera, es posible enumerar medidas que se refieren al plan general de manejo de pollos desde el alojamiento hasta el transporte a los mataderos, así como los componentes biológicos y / o químicos asociados con la dieta de las aves para minimizar la contaminación y, como resultado, la propagación de la bacteria. durante las operaciones de sacrificio, la transmisión de patógenos por alimentos y el riesgo para la salud pública.

Palabras clave: Aves de corral; Bioseguridad; *Campylobacter*.

1. Introdução

Campilobacteriose é considerada uma importante gastroenterite que acomete os humanos, configurando entre as principais causas globais de doenças diarreicas, cuja a incidência e a prevalência vêm aumentando nos últimos dez anos (Center of Disease Control [CDC], 2017; European Food Safety Authority [EFSA], 2017; Kaakoush, Castaño-Rodríguez,

Mitchell, & Man, 2015; WHO, 2018). *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*, *Campylobacter lari* e *Campylobacter upsaliensis* são as espécies zoonóticas classificadas como termotolerantes e associadas à veiculação alimentar (World Health Organization [WHO], 2001).

Estas bactérias são Gram-negativas, não formadoras de esporos, com formato em S ou espirais (0,2-0,8 µm de largura e 0,5-5 m de comprimento), com flagelos polares únicos em uma ou ambas as extremidades, o que possibilita motilidade semelhante a um saca-rolhas. Não fermentam nem oxidam carboidratos, multiplicam-se em temperatura de 42 °C e exigem atmosfera microaerófila (World Organisation for Animal Health [OIE], 2017).

As principais fontes de infecção em seres humanos são os alimentos contaminados, entre eles, o leite não pasteurizado, a água e as carnes contaminadas, destacando-se a carne de frango (Hofreuter, 2014; Kaakoush et al., 2015; Sibanda et al., 2018). Essas bactérias são consideradas comensais do trato gastrintestinal de frangos de corte e estabelecem colonização persistente sem que o animal apresente sintomatologia clínica visível (Dhillon et al., 2006; Joris Robyn, Rasschaert, Pasmans, & Heyndrickx, 2015; Williams, Sait, Trantham, Cogan, & Humphrey, 2013), aumentando a possibilidade de ocorrência de contaminação cruzada entre carcaças e ambiente, nas áreas de abate e processamento (Dhillon et al., 2006).

Desta forma, a redução da colonização intestinal por *Campylobacter* em frango é importante estratégia para reduzir o patógeno em abatedouros e o risco para desencadeamento da doença pelo consumo de carne contaminada (Meunier, Guyard-Nicodeme, Dory, & Chemaly, 2016).

A adoção de medidas de biosseguridade visa evitar a introdução dessa bactéria nas áreas de produção e conseqüentemente a infecção dos animais, uma vez que estes patógenos disseminam-se de maneira muito rápida entre as aves de um mesmo lote e entre lotes contaminados e suscetíveis (Ellis-Iversen et al., 2012; Rosenquist, Nielsen, Sommer, Norrung, & Christensen, 2003). Por outro lado, as estratégias nutricionais como o uso de substâncias na água ou rações como ácidos graxos e óleos essenciais, ou microrganismos, como combinações probióticas e até bacteriocinas, capazes de inibir o crescimento ou colonização por *Campylobacter* (Meunier et al., 2016).

2. Metodologia

Neste trabalho, apresentam-se os resultados considerando as buscas feitas nas seguintes bases:

1. Scielo, Elsevier e Scopus
2. Sites de organizações (CDC, OIE, WHO) relacionadas a regularização/ou pesquisa relacionados ao assunto desta pesquisa e citados na Referência;

O estudo foi baseado na revisão de literatura que abrangeu o tema Estratégias para redução de *Campylobacter* termotolerante em frangos de corte, em português e inglês. Foram pesquisados os descritores: “Thermotolerant campylobacter” e “biosafety strategies”. Esta pesquisa contou com o acesso a artigos na íntegra, das diferentes bases do Scielo, Elsevier e Scopus e foi realizada entre os meses de julho a setembro de 2019.

Critérios de inclusão e exclusão dos resultados – (a) O estudo deve apresentar uma iniciativa relacionada ao assunto “Redução de *Campylobacter* termotolerante em frango de corte”, contemplando pelo menos uma das questões de pesquisa ou dos objetivos deste artigo; (b) Somente estudos publicados entre o período de 2000 e 2019 serão considerados; (c) O artigo selecionado deve estar disponível na web ou impresso, se a fonte for livro impresso; e (d) O estudo deve estar escrito em Português ou Inglês; (e) não foram incluídos na pesquisa patentes e citações.

Para selecionar um conjunto inicial de estudos, os títulos de todos os artigos obtidos foram lidos e confrontados contra os critérios de inclusão e exclusão (etapa 1). Os artigos selecionados foram lidos os resumos e novamente confrontados contra os critérios de inclusão e exclusão (etapa 2). Os artigos selecionados, nessa etapa, foram lidos totalmente e novamente confrontados contra os critérios de inclusão e exclusão (etapa 3).

Com relação aos sites de organizações foram identificados no sumário os itens relacionados a questões ou objetivos da pesquisa. Foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão. Após essa seleção foram lidos integralmente os itens selecionados.

Como resultado as buscas retornaram 189 resultados. Dos 189 resultados, somente 160 estavam disponíveis. Assim sendo, para a primeira etapa selecionaram-se estes trabalhos. Para a segunda etapa, foram lidos todos os resumos e confrontados com os critérios de inclusão e exclusão, e o resultado dessa etapa foi à seleção de 70 trabalhos. Na terceira etapa foram lidos totalmente os trabalhos e selecionados 62 trabalhos.

A avaliação da qualidade dos artigos foi feita de forma a verificar a abordagem do tema e sua validação frente à contextualização ou resultados.

3. Resultados e discussão

Biosseguridade

Campylobacter está presente no ambiente e dessa forma pode ser introduzido nas instalações avícolas através de diferentes rotas facilitadas pelas falhas na biosseguridade dos galpões (Ellis-Iversen et al., 2012; Georgiev, Beauvais, & Guitian, 2017). Uma das rotas refere-se à entrada de insetos como as moscas, que atuam como vetor mecânico desse patógeno (Ellis-Iversen et al., 2012; Nichols, 2005; Shane, Montrose, & Harrington, 1985). O aumento desses insetos no verão é considerado uma das possíveis justificativas para a alta prevalência de *Campylobacter* nos plantéis nesse período (Meunier et al., 2016).

Estudos realizados na Dinamarca por Hald, Sommer, & Skovgård (2007) demonstraram que intervenções como o uso de telas de proteção contra insetos reduziram em 51,4% a prevalência de lotes de aves *Campylobacter* positivos durante o período do verão. Roedores também foram identificados como possíveis carreadores e reservatórios de *Campylobacter* (Allain et al., 2014). A principal medida para evitar a atração desses animais bem como sua permanência nas áreas de produção seria a higienização das áreas externas dos galpões e correto armazenamento da ração (DEFRA, 2009).

Outro exemplo de possível rota de manutenção desse patógeno dentro da granja é a água contaminada de que se acumula em frestas, reforçando a transmissão horizontal especialmente durante os períodos chuvosos (Messens, Herman, De Zutter, & Heyndrickx, 2009; Newell et al., 2011). Em diferentes estudos, cepas bacterianas isoladas de poças antes da introdução de animais nos galpões e cepas isoladas a partir dos lotes de aves posteriormente introduzidos apresentaram o mesmo genótipo (Bull et al., 2006; Messens et al., 2009) e salientando a importância da drenagem (Messens et al., 2009).

Outra possível rota de contaminação relaciona-se ao vestuário, comportamento da equipe de captura das aves, manuseio das caixas de transporte, veículos que têm acesso às granjas (Allen et al., 2008; Patriarchi, Fox, Maunsell, Fanning, & Bolton, 2011; Ridley et al., 2011). Estudos realizados Slader et al. (2002) indicaram que as caixas de transporte permanecem contaminadas por esse patógeno, mesmo depois de passarem pelo processo de lavagem.

A presença de outros animais carreadores desse microrganismo também é importante fator de risco para a disseminação de *Campylobacter* dentro do fluxo constante dos lotes de frango de corte (Oporto, Esteban, Aduriz, Juste, & Hurtado, 2007).

As medidas de biossegurança para reduzir as contaminações por *Campylobacter* dentro dos lotes podem ser aplicadas em diferentes fases da produção e fica evidente a necessidade de abordagens de biossegurança bem planejadas (Georgiev et al., 2017; Meunier et al., 2016).

No entanto, considerando a multiplicidade de fatores envolvidos na transmissão e contaminação por *Campylobacter*, medidas de biossegurança isoladas tornam-se ineficientes. Sendo necessário dessa forma outras estratégias para controle e redução desse microrganismo nos frangos de corte (Smialek, Burchardt, & Koncicki, 2018).

Estratégias nutricionais

As estratégias nutricionais consistem no uso de compostos ou microrganismos administrados via água ou ração aos frangos de corte com potencial antimicrobiano, mais especificamente anti-*Campylobacter* (Meunier et al., 2016). Dessa forma foram descritos exemplos de ácidos orgânicos e óleos essenciais já estudados que apresentaram respostas diferentes para *Campylobacter* termotolerantes.

Ácidos orgânicos

Diversos estudos foram realizados acerca do potencial dos ácidos orgânicos (ácido caprílico, ácido butírico, ácido láctico e ácido fórmico) como aditivos em água potável e ração para redução de *Campylobacter* e outros microrganismos intestinais de frangos de corte (Chaveerach, Keuzenkamp, Lipman, & Van Knapen, 2004; Hilmarsson, Thormar, Thrainsson, Gunnarsson, & Dadadottir, 2006; Solis de Los Santos et al., 2008a; Solis de los Santos et al., 2008b; Van Deun, Haesebrouck, Van Immerseel, Ducatelle, & Pasmans, 2008; Van Immerseel et al., 2004).

Embora os mecanismos de ação não sejam totalmente elucidados, eles possuem capacidade bacteriostática e bactericida dependente do perfil fisiológico do organismo e das características físico-químicas do ambiente externo (Ricke, 2003). Devido à natureza ácida fraca da maioria destes compostos, o pH externo influencia diretamente sua eficácia, pois afeta a concentração de ácido não dissolvido formado. Por sua vez formas indissociadas de

ácidos orgânicos podem penetrar facilmente na membrana lipídica da célula bacteriana e quando internalizadas, associam-se a íons e prótons (Michael & Matthew, 2007). As concentrações bactericidas de ácidos orgânicos podem contribuir para incapacidade de manter o pH interno, seguido pela desnaturação das proteínas sensíveis ao ácido e do DNA (Thompson & Hinton, 1996).

Diferentes estratégias de utilização de ácidos orgânicos têm sido investigadas devido ao seu impacto na colonização por *Campylobacter* em aves comerciais. Walugembe et al. (2015) demonstraram que a diminuição da concentração de ácido butírico em pintos alimentados com a dieta rica em fibras resultou no aumento da quantidade intestinal de *Campylobacter jejuni* demonstrando dessa forma uma relação direta entre ácidos orgânicos de cadeia curta e esses microrganismos.

Solis de los Santos et al. (2008) demonstraram que doses de ácido caprílico adicionadas à ração têm o potencial de reduzir a carga de *Campylobacter* em pintos. Acredita-se que seu potencial antimicrobiano se deva a alterações no meio e na microbiota intestinal. Além desses compostos, emulsões concentradas do 1-monoglicérido do ácido caprílico (monocaprino) também demonstraram potencial antimicrobiano contra *Campylobacter* (Thormar, Hilmarsson, & Bergsson, 2006).

Chaveerach et al. (2004) realizaram experimento no qual testaram o potencial antimicrobiano da adição de ácidos orgânicos na água fornecida aos animais na granja além de analisar possíveis lesões causadas em trato intestinal desses animais pela alteração de pH. Esse estudo demonstrou efeito positivo na redução da contaminação por *Campylobacter* em pintos jovens visto que em todas as amostras encontrou-se menor quantidade de enterobactérias na água potável acidificada em comparação com a água potável normal.

Óleos essenciais

Óleos essenciais são compostos obtidos por destilação ou extração por solvente de plantas aromáticas, ervas ou especiarias. Eles se destacam entre os compostos obtidos a partir das plantas devido ao seu potencial antimicrobiano e propriedades promotoras de crescimento. Em sua composição têm-se vários componentes ativos que em condições naturais são utilizados principalmente para proteger as plantas de danos causados por insetos e bactérias (Yang, Iji, & Choct, 2009).

O mecanismo de ação dos óleos essenciais é baseado na sua composição química, cada óleo pode apresentar mais de um composto químico com potencial antimicrobiano (Burt, 2004; Diaz-Sanchez, D'Souza, Biswas, & Hanning, 2015; Lambert, Skandamis, Coote, & Nychas, 2001).

Diversos compostos obtidos como tymol, cavracol e eugenol foram testados quanto ao seu potencial anti-*Campylobacter*. Eles apresentaram bons resultados *in vitro* em diversos estudos mas as razões pelas quais os mesmos resultados não foram obtidos em experimentos *in vivo* são incertas (Arsi et al., 2014; Kelly et al., 2017; Kollanoor Johny, Darre, Donoghue, Donoghue, & Venkitanarayanan, 2010; Navarro, Stanley, Cusack, & Sultanbawa, 2015). Possíveis razões seriam a absorção desses compostos antes da sua chegada ao ceco, interações alimentares ou intestinais ou ainda interações com outros microrganismos intestinais (Arsi et al., 2014).

Kollanoor Johny et al. (2010) realizaram estudo experimental *in vitro* com os compostos timol, carvracol e eugenol obtidos a partir de óleo de cravo buscando detectar seu potencial antibacteriano contra *Campylobacter jejuni*. Os resultados obtidos demonstraram que esses compostos são potenciais redutores de colonização desses microrganismos em ceco de frangos.

Probióticos

O uso de probióticos como cepas de *Enterococcus faecium* e *Lactobacillus* ampara a competição entre bactérias pela colonização do intestino (Dec, Nowaczek, Urban-Chmiel, Stepien-Pysniak, & Wernicki, 2018; Letnicka, Karaffova, Levkut, Revajova, & Herich, 2017). A resposta imune aviária pode ser modulada com o uso de uma combinação de probióticos testada (*Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*, *Bifidobacterium animalis* e *Lactobacillus reuteri*), criando dessa forma mecanismos para a redução de patógenos (Stringfellow et al., 2011). São vantagens a facilidade de administração desses probióticos, o baixo custo de produção e a persistência desses microrganismos no organismo do animal por longos períodos (Dec et al., 2018).

Willis & Reid (2008) demonstraram que *Campylobacter jejuni* estava presente em menor concentração em frangos de corte alimentados com dieta padrão suplementada com formulação probiótica contendo $1,04 \times 10^8$ CFU por grama dos microrganismos *Lactobacillus*

acidophilus, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium thermophilus* e *Enterococcus faecium*. Embora o grupo suplementado com probióticos tivesse um nível mais baixo de *Campylobacter jejuni*, não eram livres desse patógeno, o que sugere que a composição probiótica testada, isoladamente, não é capaz de reduzir a quantidade microbiana intestinal a padrões aceitáveis.

O estudo realizado por Baffoni et al. (2017) demonstrou maior potencial da utilização simbiótica de *Bifido bacterium longum* microencapsulado até o 14º dia de vida de frangos de corte objetivando a redução de *Campylobacter jejuni*. Isso se deve à microbiota intestinal neste período ainda estar em desenvolvimento e consequentemente mais propícia a mudanças. Uma cepa desse mesmo microrganismo, isolada de intestino humano, demonstrou grande potencial antimicrobiano contra cepas de *Campylobacter* tanto *in vitro* quanto *in vivo* (Santini et al., 2010).

Smialek et al. (2018) comprovaram a eficiência de um probiótico comercial que consistia em cepas *Lactococcus lactis*, *Carnobacterium divergens*, *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae*. Esse probiótico foi capaz de diminuir a extensão da invasão de *Campylobacter* no trato gastrointestinal das aves e, consequentemente, diminuir a contaminação ambiental, contribuindo para melhores parâmetros higiênicos das carcaças de aves analisadas.

No entanto, nem todos os probióticos mostraram-se eficazes na redução da colonização intestinal por *Campylobacter*. J. Robyn, Rasschaert, Hermans, Pasmans, & Heyndrickx (2013) por exemplo, demonstraram que a cepa MB5259 de *Enterococcus faecalis* não foi capaz de diminuir a colonização por *Campylobacter* mesmo com a administração de doses diárias elevadas (10^8 UFC). A eficácia dos probióticos é variável entre estudos, mas eles apresentam, de maneira geral, estratégia potencial para reduzir a colonização intestinal por *Campylobacter* em frangos de corte (Meunier et al., 2016).

Bacteriocinas

O uso de bacteriocinas vem sendo estudado e sugerido como medidas de controle de *Campylobacter* dentro dos galpões de produção avícola (Hansson, Sandberg, Habib, Lowman, & Engvall, 2018). Bacteriocinas são peptídeos sintetizados por ribossomos que apresentam atividade antimicrobiana e são produzidos por certas bactérias. Elas apresentam potencial antimicrobiano diverso e podem ser selecionadas contra ampla variedade de microrganismos ou contra um patógeno específico, sem alterar a microbiota natural da ave. O mecanismo de

ação da maioria dessas bacteriocinas se dá pela formação de poros na membrana externa de bactérias, permitindo a entrada de íons inorgânicos, alterando a estrutura e síntese das paredes celulares, levando, em ambos os casos, à morte bacteriana (Svetoch & Stern, 2010).

Estudos relataram que espécies bacterianas presentes em frangos de corte, incluindo *Lactobacillus salivarius* (Svetoch et al., 2011), *Bacillus circulans*, *Paenibacillus polymyxa* (Svetoch et al., 2005), *Enterococcus faecium* (Svetoch et al., 2008) e *Lactobacillus sake* (Holck, Axelsson, Huhne, & Krockel, 1994) produzem bacteriocinas que são ativas contra *Campylobacter jejuni*. Algumas bacteriocinas possuem propriedades essenciais para utilização dessas substâncias *in vivo*, como por exemplo, a tolerância ao calor e ao baixo pH e atoxicidade para células eucarióticas. Essas propriedades possibilitam que a administração oral de bacteriocinas semi-purificadas visando controlar agentes patogênicos possa ser realizada a partir da sua incorporação em alimentos ou água (Lagha et al., 2017).

Messaoudi et al. (2012) purificaram e caracterizaram uma bacteriocina produzida por *Lactobacillus salivarius* SMXD51 ativa contra patógenos veiculados por alimentos, que apresentou potencial antimicrobiano contra *Campylobacter*. Há potencial para o desenvolvimento de novas tecnologias aliadas ao uso dessas substâncias (Hansson et al., 2018).

Considerações finais

A maioria dos estudos encontrados demonstraram que é possível reduzir a quantidade de *Campylobacter* no trato gastrointestinal de frangos de corte. As estratégias apresentadas mostraram-se eficientes de forma isolada, mas potencializada se associadas. Medidas de biossegurança são eficientes na redução dos índices de contaminação nas granjas, entretanto isoladamente não são capazes de eliminar a bactéria dos plantéis, assim como as medidas de nutrição são capazes de fortalecer o sistema imunológico dos animais e tem se mostrado eficientes em reduzir a quantidade intestinal dessa bactéria, mas não em eliminar totalmente esse patógeno das granjas.

Deve ser lembrado que a fase de produção pré-abate não é a única etapa na qual devem ser tomadas medidas para redução de *Campylobacter* em frangos de corte e conseqüentemente reduzir o número de casos de campilobacteriose humana. As etapas operacionais de abate desses animais são de extrema importância para a segurança microbiológica do alimento produzido e devem também ser levadas em consideração.

Mais estudos e pesquisas são necessárias afim de aprofundar o conhecimento sobre os diversos aditivos nutricionais principalmente em experimentos *in vivo*. Além disso, sugere-se estudos sobre a combinação de estratégias em diferentes níveis de produção afim de otimizar a escolha de medidas a serem tomadas para redução e controle desse patógeno em frangos de corte.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa, nível mestrado ao primeiro autor.

Referências

Allain, V., Chemaly, M., Laisney, M. J., Rouxel, S., Quesne, S., & Le Bouquin, S. (2014). Prevalence of and risk factors for *Campylobacter* colonisation in broiler flocks at the end of the rearing period in France. *Br Poult Sci*, 55(4), 452-459.

Allen, V. M., Weaver, H., Ridley, A. M., Harris, J. A., Sharma, M., Emery, J., et al. (2008). Sources and spread of thermophilic *Campylobacter* spp. during partial depopulation of broiler chicken flocks. *J Food Prot*, 71(2), 264-270.

Arsi, K., Donoghue, A. M., Venkitanarayanan, K., Kollanoor-Johny, A., Fanatico, A. C., Blore, P. J., et al. (2014). The Efficacy of the natural plant extracts, thymol and carvacrol against *campylobacter* colonization in broiler chickens. *Journal of Food Safety*, 34(4), 321-325.

Baffoni, L., Gaggia, F., Garofolo, G., Di Serafino, G., Buglione, E., Di Giannatale, E., et al. (2017). Evidence of *Campylobacter jejuni* reduction in broilers with early synbiotic administration. *Int J Food Microbiol*, 251, 41-47.

Bull, S. A., Allen, V. M., Domingue, G., Jørgensen, F., Frost, J. A., Ure, R., et al. (2006). Sources of *Campylobacter* spp. Colonizing Housed Broiler Flocks during Rearing *Appl Environ Microbiol* (Vol. 72, pp. 645-652).

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods--a review. *Int J Food Microbiol*, 94(3), 223-253.

CDC. (2017). *Foodborne Diseases Active Surveillance Network (FoodNet): FoodNet 2015 Surveillance Report (Final Data)*. Atlanta, Georgia: U.S. Department of Health and Human Services.

Chaveerach, P., Keuzenkamp, D. A., Lipman, L. J., & Van Knapen, F. (2004). Effect of organic acids in drinking water for young broilers on *Campylobacter* infection, volatile fatty acid production, gut microflora and histological cell changes. *Poult Sci*, 83(3), 330-334.

Dec, M., Nowaczek, A., Urban-Chmiel, R., Stepień-Pysniak, D., & Wernicki, A. (2018). Probiotic potential of *Lactobacillus* isolates of chicken origin with anti-*Campylobacter* activity. *J Vet Med Sci*, 80(8), 1195-1203.

DEFRA. (2009). *Code of Practice for the prevention and control of rodent infestations on poultry farms*. London.

Dhillon, A. S., Shivaprasad, H. L., Schaberg, D., Wier, F., Weber, S., & Bandli, D. (2006). *Campylobacter jejuni* infection in broiler chickens. *Avian Dis*, 50(1), 55-58.

Diaz-Sanchez, S., D'Souza, D., Biswas, D., & Hanning, I. (2015). Botanical alternatives to antibiotics for use in organic poultry production. *Poult Sci*, 94(6), 1419-1430.

EFSA. (2017). The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2016. *EFSA Journal*, 13 - 20.

Ellis-Iversen, J., Ridley, A., Morris, V., Sowa, A., Harris, J., Atterbury, R., et al. (2012). Persistent environmental reservoirs on farms as risk factors for *Campylobacter* in commercial poultry. *Epidemiol Infect*, 140(5), 916-924.

Georgiev, M., Beauvais, W., & Guitian, J. (2017). Effect of enhanced biosecurity and selected on-farm factors on *Campylobacter* colonization of chicken broilers. *Epidemiol Infect*, 145(3), 553-567.

Hald, B., Sommer, H. M., & Skovgård, H. (2007). Use of Fly Screens to Reduce *Campylobacter* spp. Introduction in Broiler Houses *Emerg Infect Dis* (Vol. 13, pp. 1951-1953).

Hansson, I., Sandberg, M., Habib, I., Lowman, R., & Engvall, E. O. (2018). Knowledge gaps in control of *Campylobacter* for prevention of campylobacteriosis. *Transbound Emerg Dis*, 65 Suppl 1, 30-48.

Hilmarsson, H., Thormar, H., Thrainsson, J. H., Gunnarsson, E., & Dadadottir, S. (2006). Effect of glycerol monocaprinate (monocaprin) on broiler chickens: an attempt at reducing intestinal *Campylobacter* infection. *Poult Sci*, 85(4), 588-592.

Hofreuter, D. (2014). Defining the metabolic requirements for the growth and colonization capacity of *Campylobacter jejuni*. *Front Cell Infect Microbiol*, 4, 137.

Holck, A. L., Axelsson, L., Huhne, K., & Krockel, L. (1994). Purification and cloning of sakacin 674, a bacteriocin from *Lactobacillus sake* Lb674. *FEMS Microbiol Lett*, 115(2-3), 143-149.

Kaakoush, N. O., Castaño-Rodríguez, N., Mitchell, H. M., & Man, S. M. (2015). Global Epidemiology of *Campylobacter* Infection. *Clin Microbiol Rev*, 28(3), 687-720.

Kelly, C., Gundogdu, O., Pircalabioru, G., Cean, A., Scates, P., Linton, M., et al. (2017). The In Vitro and In Vivo Effect of Carvacrol in Preventing *Campylobacter* Infection, Colonization and in Improving Productivity of Chicken Broilers. *Foodborne Pathog Dis*, 14(6), 341-349.

Kollanoor Johny, A., Darre, M. J., Donoghue, A. M., Donoghue, D. J., & Venkitanarayanan, K. (2010). Antibacterial effect of trans-cinnamaldehyde, eugenol, carvacrol, and thymol on *Salmonella* Enteritidis and *Campylobacter jejuni* in chicken cecal contents in vitro. *The Journal of Applied Poultry Research*, 19(3), 237-244.

Lambert, R. J., Skandamis, P. N., Coote, P. J., & Nychas, G. J. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *J Appl Microbiol*, *91*(3), 453-462.

Letnicka, A., Karaffova, V., Levkut, M., Revajova, V., & Herich, R. (2017). Influence of oral application of *Enterococcus faecium* AL41 on TGF-beta4 and IL-17 expression and immunocompetent cell distribution in chickens challenged with *Campylobacter jejuni*. *Acta Vet Hung*, *65*(3), 317-326.

Messaoudi, S., Kergourlay, G., Dalgalarondo, M., Choiset, Y., Ferchichi, M., Prevost, H., et al. (2012). Purification and characterization of a new bacteriocin active against *Campylobacter* produced by *Lactobacillus salivarius* SMXD51. *Food Microbiol*, *32*(1), 129-134.

Messens, W., Herman, L., De Zutter, L., & Heyndrickx, M. (2009). Multiple typing for the epidemiological study of contamination of broilers with thermotolerant *Campylobacter*. *Vet Microbiol*, *138*(1-2), 120-131.

Meunier, M., Guyard-Nicodeme, M., Dory, D., & Chemaly, M. (2016). Control strategies against *Campylobacter* at the poultry production level: biosecurity measures, feed additives and vaccination. *J Appl Microbiol*, *120*(5), 1139-1173.

Michael, D. P., & Matthew, T. T. (2007). Chemical Preservatives and Natural Antimicrobial Compounds *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers* (3 ed., pp. 713-745).

Navarro, M., Stanley, R., Cusack, A., & Sultanbawa, Y. (2015). Combinations of plant-derived compounds against *Campylobacter* in vitro. *The Journal of Applied Poultry Research*, *24*(3), 352-363.

Newell, D. G., Elvers, K. T., Dopfer, D., Hansson, I., Jones, P., James, S., et al. (2011). Biosecurity-based interventions and strategies to reduce *Campylobacter* spp. on poultry farms. *Appl Environ Microbiol*, *77*(24), 8605-8614.

- Nichols, G. L. (2005). Fly transmission of Campylobacter. *Emerg Infect Dis*, 11(3), 361-364.
- OIE - World Organization for Animal Health. (2017). Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals. Available from: <http://www.oie.int/manual-of-diagnostic-tests-and-vaccines-for-terrestrial-animals/>.
- Oporto, B., Esteban, J. I., Aduriz, G., Juste, R. A., & Hurtado, A. (2007). Prevalence and strain diversity of thermophilic campylobacters in cattle, sheep and swine farms. *J Appl Microbiol*, 103(4), 977-984.
- Patriarchi, A., Fox, A., Maunsell, B., Fanning, S., & Bolton, D. (2011). Molecular characterization and environmental mapping of Campylobacter isolates in a subset of intensive poultry flocks in Ireland. *Foodborne Pathog Dis*, 8(1), 99-108.
- Ricke, S. C. (2003). Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poult Sci*, 82(4), 632-639.
- Ridley, A., Morris, V., Gittins, J., Cawthraw, S., Harris, J., Edge, S., et al. (2011). Potential sources of Campylobacter infection on chicken farms: contamination and control of broiler-harvesting equipment, vehicles and personnel. *J Appl Microbiol*, 111(1), 233-244.
- Robyn, J., Rasschaert, G., Hermans, D., Pasmans, F., & Heyndrickx, M. (2013). In vivo broiler experiments to assess anti-Campylobacter jejuni activity of a live Enterococcus faecalis strain. *Poult Sci*, 92(1), 265-271.
- Robyn, J., Rasschaert, G., Pasmans, F., & Heyndrickx, M. (2015). Thermotolerant Campylobacter during Broiler Rearing: Risk Factors and Intervention *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14.
- Rosenquist, H., Nielsen, N. L., Sommer, H. M., Norrung, B., & Christensen, B. B. (2003). Quantitative risk assessment of human campylobacteriosis associated with thermophilic Campylobacter species in chickens. *Int J Food Microbiol*, 83(1), 87-103.

Santini, C., Baffoni, L., Gaggia, F., Granata, M., Gasbarri, R., Di Gioia, D., et al. (2010). Characterization of probiotic strains: an application as feed additives in poultry against *Campylobacter jejuni*. *Int J Food Microbiol*, 141 Suppl 1, S98-108.

Shane, S. M., Montrose, M. S., & Harrington, K. S. (1985). Transmission of *Campylobacter jejuni* by the housefly (*Musca domestica*). *Avian Dis*, 29(2), 384-391.

Sibanda, N., McKenna, A., Richmond, A., Ricke, S. C., Callaway, T., Stratakos, A. C., et al. (2018). A Review of the Effect of Management Practices on *Campylobacter* Prevalence in Poultry Farms. *Front Microbiol*, 9, 2002.

Slader, J., Domingue, G., Jorgensen, F., McAlpine, K., Owen, R. J., Bolton, F. J., et al. (2002). Impact of transport crate reuse and of catching and processing on *Campylobacter* and *Salmonella* contamination of broiler chickens. *Appl Environ Microbiol*, 68(2), 713-719.

Smialek, M., Burchardt, S., & Koncicki, A. (2018). The influence of probiotic supplementation in broiler chickens on population and carcass contamination with *Campylobacter* spp. - Field study. *Res Vet Sci*, 118, 312-316.

Solis de Los Santos, F., Donoghue, A. M., Venkitanarayanan, K., Dirain, M. L., Reyes-Herrera, I., Blore, P. J., et al. (2008)a. Caprylic acid supplemented in feed reduces enteric *Campylobacter jejuni* colonization in ten-day-old broiler chickens. *Poult Sci*, 87(4), 800-804.

Solis de los Santos, F., Donoghue, A. M., Venkitanarayanan, K., Reyes-Herrera, I., Metcalf, J. H., Dirain, M. L., et al. (2008)b. Therapeutic supplementation of caprylic acid in feed reduces *Campylobacter jejuni* colonization in broiler chicks. *Appl Environ Microbiol*, 74(14), 4564-4566.

Stringfellow, K., Caldwell, D., Lee, J., Mohnl, M., Beltran, R., Schatzmayr, G., et al. (2011). Evaluation of probiotic administration on the immune response of coccidiosis-vaccinated broilers. *Poult Sci*, 90(8), 1652-1658.

Svetoch, E. A., Eruslanov, B. V., Levchuk, V. P., Perelygin, V. V., Mitsevich, E. V., Mitsevich, I. P., et al. (2011). Isolation of *Lactobacillus salivarius* 1077 (NRRL B-50053) and

characterization of its bacteriocin, including the antimicrobial activity spectrum. *Appl Environ Microbiol*, 77(8), 2749-2754.

Svetoch, E. A., Eruslanov, B. V., Perelygin, V. V., Mitsevich, E. V., Mitsevich, I. P., Borzenkov, V. N., et al. (2008). Diverse antimicrobial killing by Enterococcus faecium E 50-52 bacteriocin. *J Agric Food Chem*, 56(6), 1942-1948.

Svetoch, E. A., & Stern, N. J. (2010). Bacteriocins to control Campylobacter spp. in poultry-- A review. *Poult Sci*, 89(8), 1763-1768.

Svetoch, E. A., Stern, N. J., Eruslanov, B. V., Kovalev, Y. N., Volodina, L. I., Perelygin, V. V., et al. (2005). Isolation of Bacillus circulans and Paenibacillus polymyxa strains inhibitory to Campylobacter jejuni and characterization of associated bacteriocins. *J Food Prot*, 68(1), 11-17.

Thompson, J. L., & Hinton, M. (1996). Effect of short-chain fatty acids on the size of enteric bacteria. *Lett Appl Microbiol*, 22(6), 408-412.

Thormar, H., Hilmarsson, H., & Bergsson, G. (2006). Stable concentrated emulsions of the 1-monoglyceride of capric acid (monocaprin) with microbicidal activities against the food-borne bacteria Campylobacter jejuni, Salmonella spp., and Escherichia coli. *Appl Environ Microbiol*, 72(1), 522-526.

Van Deun, K., Haesebrouck, F., Van Immerseel, F., Ducatelle, R., & Pasmans, F. (2008). Short-chain fatty acids and L-lactate as feed additives to control Campylobacter jejuni infections in broilers. *Avian Pathol*, 37(4), 379-383.

Van Immerseel, F., De Buck, J., Boyen, F., Bohez, L., Pasmans, F., Volf, J., et al. (2004). Medium-chain fatty acids decrease colonization and invasion through hilA suppression shortly after infection of chickens with Salmonella enterica serovar Enteritidis. *Appl Environ Microbiol*, 70(6), 3582-3587.

Walugembe, M., Hsieh, J. C., Koszewski, N. J., Lamont, S. J., Persia, M. E., & Rothschild, M. F. (2015). Effects of dietary fiber on cecal short-chain fatty acid and cecal microbiota of broiler and laying-hen chicks. *Poult Sci*, 94(10), 2351-2359.

WHO. (2001). *WHO Consultation on the Increasing Incidence of Human Campylobacteriosis. The increasing incidence of human campylobacteriosis report and proceedings of a WHO consultation of experts, Copenhagen, Denmark, 21-25 November 2000*. Retrieved from <http://apps.who.int/iris/handle/10665/67767>.

WHO. (2018). Campylobacter - Key facts. Retrieved 23-10-2018

Williams, L. K., Sait, L. C., Trantham, E. K., Cogan, T. A., & Humphrey, T. J. (2013). Campylobacter infection has different outcomes in fast- and slow-growing broiler chickens. *Avian Dis*, 57(2), 238-241.

Willis, W. L., & Reid, L. (2008). Investigating the effects of dietary probiotic feeding regimens on broiler chicken production and Campylobacter jejuni presence. *Poult Sci*, 87(4), 606-611.

Yang, Y., Iji, P. A., & Choct, M. (2009). Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *World's Poultry Science Journal*, 65, 97-114.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Luíza Toffano Seidel Calazans – 50%

Maria Auxiliadora Andrade – 10%

Bruna Aparecida Souza Machado – 10%

Cíntia Silva Minafra-Rezende – 30%