

TÓPICOS EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

VOLUME II

**WESCLEN VILAR
NOGUEIRA**
ORG.



2021

Wesclen Vilar Nogueira
Organizador

TÓPICOS EM CIÊNCIA
DOS ALIMENTOS
VOLUME II



Pantanal Editora

2021

Copyright® Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. Imagens de capa e contra-capas: Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome	Instituição
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos	OAB/PB
Profa. Msc. Adriana Flávia Neu	Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois	UO (Cuba)
Prof. Dr. Antonio Gasparetto	Júnior – IF SUDESTE MG
Profa. Msc. Aris Verdecia Peña	Facultad de Medicina (Cuba)
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia	ISCM (Cuba)
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva	UFESSPA
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo	UEA
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu	UNEMAT
Prof. Dr. Carlos Nick	UFV
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia	AJES
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos	UFGD
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva	UEMS
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos	IFPA
Prof. Msc. David Chacon Alvarez	UNICENTRO
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira	IFMT
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira	UFMG
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão	URCA
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves	ISEPAM-FAETEC
Prof. Me. Ernane Rosa Martins	IFG
Prof. Dr. Fábio Steiner	UEMS
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza	UFF
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez	(Colômbia)
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles	UNAM (Peru)
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira	IFRR
Prof. Msc. Javier Revilla Armesto	UCG (México)
Prof. Msc. João Camilo Sevilla	Mun. Rio de Janeiro
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales	UNMSM (Peru)
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski	UFMT
Prof. Msc. Lucas R. Oliveira	Mun. de Chap. do Sul
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela	IFPR
Prof. Dr. Leandris Argentele-Martínez	Tec-NM (México)
Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan	Consultório em Santa Maria
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann	UFJF
Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior	UEG
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos	FAQ
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla	UNAM (Peru)
Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira	SEDUC/PA
Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira	IFPA
Profa. Dra. Patrícia Maurer	UNIPAMPA
Profa. Msc. Queila Pahim da Silva	IFB
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty	UO (Cuba)
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke	UFMS
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva	UFPI
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo	UEMA
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca	UFPI
Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira	FURG
Profa. Dra. Yilan Fung Boix	UO (Cuba)
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme	UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

T673 Tópicos em ciência dos alimentos [livro eletrônico] : volume II / Organizador
Wesclen Vilar Nogueira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2021.
81p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-88319-69-7

DOI <https://doi.org/10.46420/9786588319697>

1. Alimentos – Análise. 2. Tecnologia de alimentos. I. Nogueira, Wesclen
Vilar.

CDD 664.07

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



Pantanal Editora

Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

A economia mundial provoca com frequência grandes mudanças nos setores produtivos de alimentos. Desta forma, desafios diários são impostos para que o processamento de alimentos contemple as exigências dos consumidores e legislação vigente. Assim, conhecer alguns pontos que podem interferir ou contribuir para a produção de alimentos é de extrema importância.

Neste sentido, o segundo volume do e-book *Tópicos em Ciência dos Alimentos* aborda pontos importantes para produção de alimentos como: ocorrência de contaminantes em bebidas, determinação de metabólitos secundários de plantas e bioacessibilidade de compostos. Além disso, relata algumas alternativas que contribuem para o aumento da produção de alimentos (e.g. aditivos e melhoramento genético).

O conteúdo abordado demonstra a multidisciplinaridade da área de Ciência dos Alimentos sobre diferentes aspectos e realidades, de modo a suprir a escassez de material na literatura sobre os assuntos muitas vezes desconhecidos. Além disso, contribui para o acesso ao conhecimento em uma linguagem contextualizada e de fácil compreensão aos leitores. Assim, espero que os temas sejam de grande proveito e ofereçam subsídios teórico-metodológicos para profissionais da área de Ciência dos Alimentos e áreas afins.

O organizador


SUMÁRIO

Apresentação	4
Capítulo I	6
Micotoxinas em cervejas: ocorrência e risco de exposição para população brasileira	6
Capítulo II	20
Determinação de compostos fenólicos em frutas e tendências na avaliação dos seus teores bioacessíveis: Uma revisão	20
Capítulo III	41
A importância do melhoramento genético de tilápia na produção de alimentos	41
Capítulo IV	55
A dinâmica do resíduo de ractopamina na produção de suínos: farinha de carne e ossos, tecidos e urina	55
Capítulo V	71
Mitigação de contaminantes em alimentos	71
Índice Remissivo	81

Micotoxinas em cervejas: ocorrência e risco de exposição para população brasileira

Recebido em: 28/04/2021

Aceito em: 01/05/2021

 10.46420/9786588319697cap1

Wesclen Vilar Nogueira^{1*} 

Rafaela Xavier Giacomini²

Sabrina de Oliveira Garcia³

Juliane Lima da Silva⁴

Yorrana L. M. Costa⁵ 

Jaqueline Garda Buffon⁶ 

INTRODUÇÃO

A cerveja é a segunda bebida alcoólica mais consumida no mundo, representando 34,3% do total de álcool consumido (WHO, 2018). Dentre os países, o Brasil se destaca por ser o terceiro maior produtor a nível mundial, com produção de 14 bilhões de litros ao ano (CERVBRASIL, 2020) e consumo anual correspondendo a 50,5 L (STATISTA, 2020). A cerveja é uma bebida alcoólica fermentada obtida de cereais maltados, água, lúpulo e levedura (Harrison et al., 2017). Porém, outros cereais, denominados adjuntos cervejeiros (e.g. trigo, milho e arroz), podem ser empregados na elaboração da bebida (Farber et al., 2019). Estudos demonstraram que os insumos cervejeiros (e.g. cereais maltados e adjuntos) são frequentemente contaminados por micotoxinas (Blajet-Kosicka et al., 2014; Tarazona et al., 2020; Xu et al., 2019).

As micotoxinas são metabólitos secundários, produzidos por fungos filamentosos toxigênicos quando em condições de estresse, que podem ocasionar efeito tóxico à saúde humana e animal (Bennett et al., 2003). Algumas micotoxinas apresentam estabilidade térmica a altas temperaturas (150 °C) e resistência ao frio, além de serem incolores, inodoras e não alterarem o sabor dos alimentos (Channaiah, 2019). Essas características permitem que esses metabólitos persistam nos alimentos, inclusive na cerveja, mesmo após as diferentes etapas dos processos produtivos (Odhav et al., 2002; Medina et al., 2006; Rubert et al., 2013; Bauer et al., 2016; Piacentini et al., 2017).

Desta forma, nesse capítulo foram descritas informações sobre a ocorrência de micotoxinas em cervejas. Além disso, considerando as menores e maiores níveis de incidência para cada micotoxina, determinou-se o risco de exposição para população brasileira.

^{1,2,3,4,5,6} Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Química e Alimentos - EQA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos – PPGECA, Rio Grande, RS, Brasil.

* Autor correspondente: wesclenvilar@gmail.com

MICOTOXINAS

Os fungos se proliferam em diversos cereais e grãos, principalmente no milho, trigo, cevada, sorgo, aveia e arroz, onde geralmente encontram substrato altamente nutritivo para o seu desenvolvimento (Kirinčić et al., 2015). A produção de micotoxinas ocorre quando os fungos são submetidos a condições de estresse. Nos grãos armazenados, a contaminação com fungos toxigênicos e a produção de micotoxinas são resultados da interação complexa entre umidade, temperatura, substrato, concentração de oxigênio e dióxido de carbono, presença de insetos e fungos (Shwab et al., 2008). Os principais gêneros fúngicos produtores de micotoxinas durante o armazenamento são: *Aspergillus*, *Claviceps* e *Penicillium*.

Nas condições de campo, o estresse pode ocorrer por condições climáticas, pragas, entre outros, que também resultam em perda de vigor da planta, predispondo-a a colonização de fungos toxigênicos (Magan et al., 2007). O gênero *Fusarium* que, geralmente infecta os grãos na lavoura, são fitopatógenos que necessitam de alta umidade, em torno de 20% e temperatura amena. Apesar da menor incidência, é possível o aparecimento de micotoxinas produzidas por algumas espécies de *Fusarium* na fase da pós-colheita (Villa et al., 2009; Munawar et al., 2019).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), é estimado que 25% da produção mundial anual de grãos e cereais estão contaminados por micotoxinas, gerando assim riscos à saúde humana e animal (FAO, 2002). Entretanto, estudos de longo prazo a nível mundial reportam que aproximadamente 70% dos alimentos podem estar contaminados com pelo menos uma micotoxina (Egbuta et al., 2016; Kosicki et al., 2016; Majeed et al., 2018). As perdas econômicas associadas a este tipo de contaminação em matérias-primas correspondem a bilhões de dólares anuais (Wu, 2007). A contaminação mundial de alimentos com micotoxinas é um problema significativo devido aos danos ocasionados à saúde de animais e humanos (Ji et al., 2016). Desta forma, diversos países estabeleceram legislações referentes aos níveis desses metabólitos em alimentos destinados ao consumo humano e animal, visando regulamentar o controle dos níveis de micotoxinas.

LEGISLAÇÃO PARA MICOTOXINAS EM ALIMENTOS DESTINADOS A ELABORAÇÃO DE CERVEJAS

Devido ao alto consumo e relatos de incidência de contaminantes bem como sintomas observados após consumo, a contaminação inevitável por micotoxinas gera um problema de para todos os consumidores de cerveja quanto ao consumo de um alimento seguro. Algumas micotoxinas podem apresentar efeitos crônicos mesmo quando o indivíduo é exposto a concentrações muito baixas desses contaminantes (Iamanaka et al., 2010). Desta maneira, para garantir a segurança de alimentos consumidos,

órgãos mundiais determinam, através de regulamentos sanitários, os níveis aceitáveis (ausência de risco à saúde) destes contaminantes em diversos alimentos.

Quadro 1. Limite máximo tolerado (LMT) para micotoxinas em alimentos.

Micotoxinas	Alimento	LMT (µg/kg)	Fonte
Aflatoxinas B1, B2, G1 e G2	Cereais e produtos de cereais, exceto milho e derivados, incluindo cevada malteada.	5	Brasil (2011)
	Milho, milho em grão (inteiro, partido, amassado, moído), farinhas ou sêmolas de milho.	20	
Fumonisinias (B1 + B2)	Milho em grão para posterior processamento.	5000	
	Farinha de milho, creme de milho, fubá, flocos, canjica, canjiquinha.	1500	
	Amido de milho e outros produtos à base de milho.	1000	
Ocratoxina A	Cereais para posterior processamento, incluindo grão de cevada.	20	
	Cereais e produtos de cereais, incluindo cevada malteada.	10	
Desoxinivalenol (DON)	Trigo e milho em grãos para posterior processamento.	3000	Brasil (2017)
	Trigo integral, trigo para quibe, farinha de trigo integral, farelo de trigo, farelo de arroz e grão de cevada.	1000	
	Farinha de trigo, massas, crackers, biscoitos de água e sal, e produtos de panificação, cereais e produtos de cereais exceto trigo e incluindo cevada malteada.	750	
Zearalenona	Milho em grão e trigo para posterior processamento.	40	
	Farinha de trigo, massas, crackers e produtos de panificação, cereais e produtos de cereais exceto trigo e incluindo cevada malteada.	100	

A nível global, a Comissão do Codex Alimentarius, formada pela FAO e a Organização Mundial da Saúde (WHO, do inglês *World Health Organization*), é o principal órgão regulamentador para os níveis de contaminação de alimentos e ração animal (Codex Alimentarius, 1995). Contudo existem outros órgãos, em diferentes países, que também delimitam os níveis de contaminação destas substâncias. Na Europa, Estados Unidos da América, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, Japão e China o controle dos níveis admissíveis de micotoxinas em alimentos e ração animal são realizados pela Comissão Europeia (EC, do

inglês *European Commission*) (EC, 2006), pela Administração de Alimentos e Medicamentos (FDA, do inglês *Food and Drug Administration*) (FDA, 2020), pela Agência Canadense de Inspeção de Alimentos (CFIA, do inglês *Canadian Food Inspection Agency*) (CFIA, 2017), pelo Código de Padrões Alimentares da Austrália na Nova Zelândia (FSANZ, do inglês *Australia New Zealand Food Standards Code*) (FSANZ, 2017), pelo Centro de Inspeção de Alimentos e Materiais Agrícolas (FAMIC, do inglês *Food and Agricultural Materials Inspection Center*) (FAMIC, 2019) e Normas nacionais de segurança alimentar da China (GB, do inglês *China National Food Safety Standards*) (GB, 2017), respectivamente. Para os países que compõem o Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), são aplicados os limites descritos na Resolução N° 25 (MERCOSUL, 2002).

No Brasil, os limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em cervejas não são descritos, apenas para as principais matérias-primas utilizadas no processo produtivo. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da RDC n° 7 e 138 (BRASIL, 2011; 2017) estabelece esses limites máximos tolerados (LMT) para as principais matérias-primas (Quadro 1). De acordo com a resolução, em casos de produtos não legislados, estes devem considerar os limites estabelecidos para as matérias-primas utilizadas, considerando as proporções relativas, concentração, transformação e diluições destas durante o processamento. Assim, a realização de estudos de ocorrência dessas micotoxinas em insumos cervejeiros e também em cervejas é necessário para que a eficácia das legislações vigentes seja avaliada (Tittlemier et al., 2019).

OCORRÊNCIA DE MICOTOXINAS EM CERVEJAS

Os primeiros relatos de ocorrência de micotoxinas em cerveja datam de 1977 na República da Zâmbia, onde foi verificada ocorrência de ZEN com concentração média de $920 \mu\text{g L}^{-1}$ em cerveja comercial e artesanal (Lovelace et al., 1977). Desde então, diversos estudos relatam níveis de diferentes micotoxinas em amostras de cerveja consumidas no mundo (Tabela 1), onde o porcentual de amostras contaminadas com micotoxina pode variar de 0 (Lago et al., 2021) a 100% (Piacentini et al., 2015). Logo, pela constante ocorrência em níveis relativamente altos (Bertuzzi et al., 2018; Bryła et al., 2018; Bogdanova et al., 2018; Chilaka et al., 2018; Nigussie et al., 2018; Pascari et al., 2018; Campone et al., 2020; Rausch et al., 2021), estudos focando na determinação desses compostos na cerveja são fundamentais para auxiliar os órgãos responsáveis na implementação de legislações referente a presença de micotoxinas na bebida.

Tabela 1. Ocorrência de micotoxinas em cervejas.

Países	Micotoxinas	NA	NAP	CMC ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Fonte
Alemanha	DON		1	16	
	DON-3G		37	2,5 – 14	
	HT-2		9	2,2 - 3,5	
	OTA	53	1	0,053	
	T-2		2	0,61 - 0,62	
	TeA		1	29	
	TEM		1	0,28	
	ZEN		10	0,25 - 4,5	
Tanzânia	AFB ₁		1	0,044	
	DON-3G	2	1	4,0	
	FB ₁		1	3,7	
Argentina e Chile	AFB ₁	7	1	0,077	
	DON-3G		2	5,6 – 13	
Rússia e Camboja	AFB ₁		1	0,042	Rausch et al. (2021)
	3-ADON		1	6,3	
	DON		2	12 – 22	
	DON-3G		8	3,6 – 38	
	HT-2	10	2	2 - 2,4	
	OTA		3	0,051 - 0,072	
	T-2		6	0,61 - 2,9	
	TeA		6	46 – 104	
TEM		5	0,39 - 0,87		
Bósnia, Herzegovina, Turquia, Bulgária, Holanda, Bélgica, Dinamarca e República Tcheca	AFB ₁		1	0,062	
	DON-3G		7	3,1 - 8,8	
	FB ₁		3	1,0 - 2,6	
	HT-2	15	2	2,0 - 3,0	
	OTA		2	0,11 - 0,30	
	T-2		2	0,68 - 0,99	
	TeA		4	22 – 58	
	TEM		3	0,21 - 0,42	
Itália	FB ₁	19	8	2,9 - 12,3	
	FB ₂		1	0,7	
Escócia	FB ₁	5	1	4,5	Campone et al. (2020)
Reino Unido	FB ₁	5	2	5,9 - 6,6	
	FB ₂		1	0,7	
Bélgica	FB ₁	10	1	0,8	
Eslovênia	FB ₁	3	2	2,1 - 3,2	
Polônia	FB ₁	2	1	1,4	
México	FB ₁	1	1	0,6	
Polândia	NIV		53	0,5 - 7,6	Bryla et al. (2018)
	DON	100	86	1 - 73,6	
	DON-3G		67	2 - 35,8	
Espanha, Alemanha, França, Bélgica, Escócia, Holanda, República Tcheca, Argentina e México	DON		4	20,97 - 43,74	Pascari et al., (2018)
	DON-3G		4	11,94 - 14	
	ZEN	64	12	8,24 - 62,96	
	HT-2		1	23,72	
Argentina e México	FB ₁		1	32,78	Bogdanova et al. (2018)
Letônia	DON	100	51	8,46 – 248	

	AFB ₁		2	0,1 - 0,19	
	HT-2		52	0,5 - 4,9	
	FB ₁		24	6,2 - 48,7	
	T-2		38	0,56 - 5,13	
	STC		7	0,07 - 0,27	
	FB ₂		23	5,02 - 40,5	
Itália	OTA		38	0,007 - 0,07	
	DON	83	21	8,6 - 99	Bertuzzi et al. (2018)
	STC		23	0,001 - 0,018	
Etiópia	AFB ₁		2	11,25 - 11,57	
	AFB ₂	18	4	1,22 - 1,44	Nigussie et al. (2018)
	AFG ₂		6	1,73 - 2,71	
Nigéria	FB ₁		20	63 - 316	
	FB ₂		12	44 - 203	
	HFB ₁		10	57 - 152	
	DON		50	61 - 255	
	15-ADON		3	24 - 36	
	3-ADON	99	4	17 - 37	Chilaka et al. (2018)
	DON-3G		14	18 - 53	
	ZEN		6	22 - 88	
	ZEN-14G		1	27	
	α -ZEL		5	18 - 71	
β -ZEL		5	74 - 107		
Brasil	DON	38	16	159 - 648	Barbosa et al. (2020)
	FB ₁	114	56	201,70 - 1568,62	Piacentini et al. (2017)
	DON	17	17	221 - 501	Piacentini et al. (2015)
	FB ₁	8	8	105 - 285	
	FB ₁	58	25	1,2 - 40	Kawashima et al. (2007)
	OTA	123	5	1,03 - 18	
	DON	72	4	50 - 336	Garda et al. (2004)
T-2	72	3	114 - 249		

NA = número de amostras, NAP = número de amostras positivas, CMC = concentração de micotoxinas na cerveja, AFB₁ = aflatoxina B₁, AFB₂ = aflatoxina B₂, AFG₂ = aflatoxina G₂, DON = deoxinivalenol, DON-3G = deoxinivalenol-3-glicoside, FB₁ = fumonisina B₁, FB₂ = fumonisina B₂, HFB₁ = fumonisina B₁ hidrolisada, HT-2 = toxina HT-2, OTA = ocratoxina A, T-2 = toxina T-2, TeA = ácido tenuazonico, TEN = tentoxina, ZEN = zearalenona, NIV = nivalenol, STC = esterigmatocistina, ZEN-14-G = zearalenona-14-glicoside, 3-ADON = 3-acetildeoxinivalenol, 15-ADON = 15-acetildeoxinivalenol, α -ZEL = α -zearalenol, β -ZEL = β -zearalenol.

COMPOSIÇÃO DA CERVEJA E SEU IMPACTO NA SAÚDE HUMANA

A cerveja, embora não possa ser classificada como uma importante fonte nutricional, possui em sua composição macro e micronutrientes com efeitos fisiológicos no corpo humano (González-Sanjosé et al., 2017). Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, do inglês *United States Department of Agriculture*), 100 g de cerveja contém em média 43 kcal, composta por 92 g de água, 0,5 g de proteínas, 3,6 g de carboidratos, 4 g de etanol, 4 mg de cálcio, 0,02 mg de ferro, 6 mg de magnésio, 14 mg de fósforo, 27 mg de potássio, 4 mg de sódio, 0,01 mg de zinco, 0,005 mg de cobre, 0,6 μ g de selênio, 0,005 mg de tiamina (vitamina B₁), 0,025 mg de riboflavina (vitamina B₂), 0,513 mg de niacina (vitamina

B3), 0,046 mg de piridoxina (vitamina B6), 10,1 mg de colina (vitamina B8), 0,02 µg de cobalamina (vitamina B12) e 6 µg de ácido fólico, entre outros constituintes como aminoácidos, compostos fenólicos e polifenóis (USDA, 2020). Segundo Gaetano et al. (2016) e Poli et al. (2013) o consumo moderado de cerveja (1 copo para mulheres e 2 copos para homens, cada copo equivale a 12 g de etanol) reduz o risco de doenças cardiovasculares.

No entanto, esta bebida também é descrita por conter compostos antinutricionais e contaminantes que ocasionam diversos problemas à saúde humana, como nitrosaminas (Fan et al., 2018), carbamato de etila (Li et al., 2017), amina biogênica (Lorenková et al., 2020), micotoxinas (Bauer et al., 2016), metais tóxicos (Pohl, 2009), entre outros. A cerveja não é considerada uma matriz ideal para o crescimento de microrganismos por conter diversos inibidores, como os compostos do lúpulo (α e β -ácidos), álcool, dióxido de carbono e dióxido de enxofre, poucos nutrientes, oxigênio e baixo pH. Porém, o processo cervejeiro apresenta alguns riscos relativos à segurança microbiológica devido a possibilidade de contaminação por bactérias e fungos toxigênicos. Além disso, é frequentemente relatada a contaminação das matérias-primas cervejeiras por micotoxinas (Bamforth, 2006; Davies, 2006).

As principais micotoxinas estudadas devido aos riscos que oferecem à saúde de humanos e animais são as aflatoxinas - AFs, fumonisinas - FBs, ocratoxina A - OTA, desoxinivalenol - DON e zearalenona - ZEN, pois causam efeitos crônicos. Dentre as AFs, a aflatoxina B₁ (AFB₁) é considerada a micotoxina mais tóxica apresentando potencial carcinogênico para animais e humanos (IARC, 2002). A OTA é considerada uma das micotoxinas mais importantes (Schmidt-Heydt et al., 2012), apresentando efeito nefrotóxicos, teratogênicos (Tiemann et al., 2009) e carcinogênicos (Nogueira et al., 2006).

As FBs, apresentam potencial tóxico através da inibição da ceramida sintetase, enzima responsável pela síntese de esfingolípídios (Claudino-Silva et al., 2018). Já a ZEN, apresenta baixa toxicidade para animais, entretanto apresenta risco para humanos e animais devido sua forte atividade estrogênica, apresentando ação relacionada ao controle da ovulação. Desta forma, por possuir semelhança química com a estrutura do hormônio estrogênico 17- β -estradiol (Zinedine et al., 2007), pode se ligar tanto aos receptores de estrogênio alfa como beta, agindo como um disruptor endócrino (Kowalska et al., 2018). Além desses efeitos, a ZEN apresenta efeito imunossupressor e teratogênico (Bennett et al., 2003).

Além dessas, destacam-se os diversos compostos da classe dos tricotecenos, com destaque para nivalenol (NIV), deoxinivalenol (DON) e toxina T-2 (Pestka, 2007). Esses metabólitos podem ocasionar distúrbio do trato gastrointestinal de animais (Forsythe, 2013), além de efeitos imunotóxicos (Iqbal et al., 2014). Os tricotecenos ainda são considerados potentes inibidores da síntese proteica em eucarióticos, interferindo nas fases de iniciação, alongação e terminação, fator de pré-disposição a diversas doenças (Pestka, 2007).

ESTIMATIVA DO RISCO DE EXPOSIÇÃO

A avaliação dos riscos à saúde associados ao consumo de cerveja e exposição a micotoxinas é essencial para apoiar as ações destinadas a garantir um suprimento seguro dessa bebida a população. A ingestão diária (ID) geralmente é calculada como $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso corporal por dia para cada micotoxina (Piacentini et al., 2015; Pietsch, 2019; Marimón-Sibaja et al., 2021). Desta forma, a ID foi estimada assumindo os menores níveis de contaminação como ingestão mínima e os maiores como ingestão máxima para cada micotoxina ocorrente nos estudos desenvolvidos no Brasil conforme reportados na Tabela 1. Para os cálculos foi estabelecido uma massa corporal média para adultos de 72 kg para homens e 60 kg para mulheres, com base nos dados para população brasileira estabelecidos por Adair et al. (2013) e consumo médio de cerveja de 50,5 L anual, 0,14 L dia⁻¹ (Statista, 2020). A ID foi estimada através da Equação 1.

$$\text{ID } \mu\text{g}/\text{kg}*\text{dia} = \frac{\text{ingestão de cerveja } \left(\frac{\text{mL}}{\text{dia}}\right) \times \text{micotoxina na cerveja } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}\right)}{\text{massa corporal (kg)}} \quad (1)$$

Tabela 2 resume a ingestão diária (ID) de micotoxinas estimada em termos de concentração mínima e máxima para a população adulta no Brasil. Os valores de ID estimados para população brasileira foram superiores aos recomendados como seguros pela EC (2006) e FAO (2001) para FB₁, DON, T-2 (tricotecenos do grupo A), FB₁ e OTA, com destaque para mulheres. Os valores recomendados pela EC (2006) e FAO (2001) indicam níveis de ingestão diária de 2; 1; 0,06 e 0,017 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso corporal dia⁻¹ para FB₁, DON, T-2 (tricotecenos do grupo A), FB₁ e OTA, respectivamente.

Ao considerar a média de consumo de cerveja per capita no Brasil ao ano, pode-se evidenciar que a população está exposta a níveis superiores aos considerados seguros para saúde humana conforme recomenda a EC (2006) e FAO (2001). Isso evidencia a necessidade de investigação quanto a ocorrência de micotoxinas em cerveja, bem como a necessidade de estudo sobre a bioacessibilidade e biodisponibilidade desses metabolitos para humanos.

Para fumonisinas, uma atenção especial deve ser dada devido a sua classificação pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC, do inglês *International Agency for Research on Cancer*) (IARC, 2002), grupo 2B como possivelmente cancerígeno para humanos e animais (IARC, 2002). Essa micotoxina pode ter origem nas matérias-primas utilizadas para na produção de cerveja e por apresentar estabilidade térmica e relativa solubilidade em água (Inoue et al., 2013), justificando a sua ocorrência (Piacentini et al., 2017), bem como o risco estimado para homens e mulheres que consomem a bebida no Brasil. As fumonisinas, apresentam ação relacionada a interferência da biossíntese de esfingolipídios e receptores de superfície celular. Também pode interferir na regulação dos fatores de crescimento, bombas de íons, e

outros sistemas vitais para o funcionamento e sobrevivência da célula. Além disso, apresentam potencial imunossupressores, podendo aumentar a susceptibilidade às outras enfermidades (Gonçalves et al., 2017).

Tabela 2. Estimativa da Ingestão diária (ID) de micotoxinas para população brasileira pelo consumo de cerveja.

Ingestão	Micotoxina	ID $\mu\text{g kg}^{-1}$ peso corporal dia^{-1}	
		Homens	Mulheres
Mínima	DON	0,0972	0,1166
	FB ₁	0,0023	0,0028
	OTA	0,0020	0,0024
	T-2	0,2216	0,2660
Máxima	DON	1,2600	1,5120
	FB ₁	3,0500	3,6601
	OTA	0,0350	0,0420
	T-2	0,4841	0,5810

CONCLUSÃO

Os dados apresentados demonstraram a ocorrência de micotoxinas em cervejas consumidas pela população brasileira. A alta incidência de micotoxinas em matérias-primas representa uma preocupação devido a transferência vertical no processo cervejeiro. Além disso, a estimativa da ID de micotoxinas como DON, OTA, toxina T2 e FB₁ para a população brasileira a partir do consumo de cerveja expõe que os valores estimados são superiores aos recomendados como seguro para o consumo diário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adair LS et al. (2013). Associations of linear growth and relative weight gain during early life with adult health and human capital in countries of low and middle income: findings from five birth cohort studies. *The Lancet*, 382(9891): 525-534.
- Associação Brasileira da Indústria da Cerveja - CERVBRAZIL. Anuário 2019 e Dados do setor cervejeiro nacional. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2021.
- Australia New Zealand Food Standards Code – FSANZ (2017). Schedule 19, Maximum levels of contaminants and natural toxicants. Prepared by Food Standards Australia New Zealand on 13 April 2017. Australian Government, Federal Register of Legislation. Disponível em: <<https://www.legislation.gov.au/Details/F2017C00333>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2021.
- Bamforth CW (2006). *Brewing: New technologies*. [s.l.] Woodhead Publishing Limited.

- Barbosa AC et al. (2020). Development and validation of an analytical method for the extraction, identification, and quantification of multi-mycotoxins in beer using a modified QuEChERS procedure and UHPLC-MS/MS. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 1(1): 1-14.
- Bauer JI et al. (2016). Investigations on the occurrence of mycotoxins in beer. *Food Control*, 63(1): 135-139.
- Bennett JW et al. (2003). Mycotoxins. *Clinical microbiology reviews*, 16(3): 497-516.
- Bertuzzi T et al. (2018). Known and emerging mycotoxins in small- and large-scale brewed beer. *Beverages*, 4(2): 1-8.
- Blajet-Kosicka A et al. (2014) Co-occurrence and evaluation of mycotoxins in organic and conventional rye grain and products. *Food Control*, 38(1): 61-66.
- Bogdanova E et al. (2018). Occurrence and risk assessment of mycotoxins, acrylamide, and furan in Latvian beer. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 11(2): 126-137.
- Brasil. Resolução RDC n ° 7, de 18 de fevereiro de 2011. características sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 37, p. 72, 22 fev. 2011.*
- Brasil. Resolução RDC n ° 138, de 8 de fevereiro de 2017. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 138, p. 1-3, 8 fev. 2017.*
- Bryla M. et al. (2018). Co-occurrence of nivalenol, deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside in beer samples. *Food Control*, 92(1): 319-24.
- Canadian Food Inspection Agency - CFIA (2020). RG-8 Regulatory Guidance: Contaminants in Feed (formerly RG-1, Chapter 7), Section 1: Mycotoxins in livestock feed. Date modified: october, 2017. Disponível em: <<https://www.inspection.gc.ca/animal-health/livestock-feeds/regulatory-guidance/rg-8/eng/1347383943203/1347384015909?chap=0#c1>>. Acesso em: 17 de março de 2021.
- Campone L et al. (2020). Determination of mycotoxins in beer by multi heart-cutting two-dimensional liquid chromatography tandem mass spectrometry method. *Food Chemistry*, 318(1): 126496.
- Channaiah LH (2019). An overview of mycotoxicosis and human's health concerns: a mini-review. *Health Perspect*, 107(3): 469-472.
- Chilaka CA et al. (2018). Quantification of Fusarium mycotoxins in Nigerian traditional beers and spices using a multi-mycotoxin LC-MS/MS method. *Food Control*, 87(1): 203-210.
- China Food Safety National Standard – GB (2017). National food safety standards -Limited edition of mycotoxins in food, China Food Safety National Standard GB 2761-2017. Released March 17, 2017, implemented September 17, 2017. Disponível em:

- <<https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GB2761-2017>>. Acesso em: fevereiro de 2021.
- Claudino-Silva SC et al. (2018). Fumonisin B1 + B2 change the expression of genes in apoptosis balance in Nile tilapia fingerlings. *Aquaculture*, 488(1): 155-160.
- Codex Alimentarius (1995). Codex general standard for contaminants and toxins in food and feed. Roma: Codex Standard. 225p.
- Davies N (2006). Malt and malt products. Bamforth C (org.). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 68-101p.
- De Gaetano G et al. (2016). Effects of moderate beer consumption on health and disease: A consensus document. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 26(6): 443-467.
- Egbuta MA et al. (2016). Comparative analysis of mycotoxigenic fungi and mycotoxins contaminating soya bean seeds and processed soya bean from Nigerian markets. *Advances in Microbiology*, 6(1): 1130-1139.
- EC - European Commission (2006). Commission Regulation (EC) n° 401/2006 of 23 february 2006, Laying down the methods of sampling and analysis for the official control of the levels of mycotoxins in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 70(1): 12-34.
- Fan CC et al. (2018). N-nitrosamines in drinking water and beer: Detection and risk assessment. *Chemosphere*, 200(1): 48-56.
- Farber M et al. (2019). *Mastering Brewing Science: Quality and Production*. 1 ed. Nova Jersey: Wiley. 592p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2001). Safety evaluation of certain mycotoxins in food. 1 ed. FAO, Rome. 712p.
- FAO - Food and Agriculture Organization (2002). Manual on the application of the HACCP system in mycotoxin prevention and control. 1 ed. Roma: FAO. 124p.
- FDA - Food and Drug Administration (2020). Natural Toxins. U.S. Food and Drug Administration. Disponível em: <<https://www.fda.gov/food/guidance-documents-regulatory-information-topic-food-and-dietary-supplements/chemical-metals-natural-toxins-pesticides-guidance-documents-regulations>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.
- FAMIC - Food and Agricultural Materials Inspection Centre (2019). Regulation value of pesticides, heavy metals and mycotoxins (administrative guideline) (Revised in nov. 17, 2019). Food and Agricultural Materials Inspection Centre. Disponível em: <http://www.famic.go.jp/ffis/feed/r_safety/r_feeds_safety22.html>. Acesso em: 16 de janeiro de 2021.
- Garda J et al. (2004). Determinação de tricotecenos em cerveja e avaliação de incidência no produto comercializado no Rio Grande Do Sul. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 24(4): 657-663.

- Garcia SO et al. (2020). Peroxidase as a simultaneous degradation agent of ochratoxin A and zearalenone applied to model solution and beer. *Food Research International*, 131(1): 109039.
- González-Sanjosé ML et al. (2017). Beer and its role in human health. Frias J et al. (org.) Massachusetts: Academic Press. 365-384p.
- Gonçalves B et al. (2017). Mycotoxins: a review about the main diseases triggered in human and animal organisms. *Revista de Saúde da Faciplac*, 4(1): 1-12.
- Harrison MA et al. (2017). Beer/Brewing. Reference Module in Life Sciences (org.). Amsterdã: Elsevier. 467-477p.
- Iamanaka BT et al. (2010). Mycotoxins in foods. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 7(1):138-161.
- Inoue et al. (2013). Fate of mycotoxins during beer brewing and fermentation. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 77(7): 1410-1415.
- IARC - International Agency for Research on Cancer (2002). Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon: IARCpress. 601p.
- Iqbal SZ et al. (2014). Natural incidence of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in chicken meat and eggs. *Food Control*, 43(1): 98-103.
- Ji C et al. (2016). Review on biological degradation of aflatoxin, zearalenone and deoxynivalenol. *Animal Nutrition*, 2(3): 127-133.
- Kawashima LM et al. (2007). Fumonisin B1 and ochratoxin A in beers made in Brazil Fumonisin B1 e ocratoxina A em cervejas fabricadas no Brasil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(2): 317-323.
- Kirinčič S et al. (2015). Mycotoxins in cereals and cereal products in Slovenia – Official control of foods in the years 2008–2012. *Food Control*, 50(1): 157-165.
- Kowalska K et al (2018). Estrogen receptor α is crucial in zearalenone-induced invasion and migration of prostate cancer cells. *Toxins*, 28(1): 1-15.
- Lago LO et al. (2021). QuEChERS-LC-QTOFMS for the simultaneous determination of legislated and emerging mycotoxins in malted barley and beer using matrix-matched calibration as a solution to the commercial unavailability of internal standards for some mycotoxins. *Food Chemistry*, 345(1): 128744.
- Li G et al. (2017). A survey of ethyl carbamate in beer from Chinese market. *Food Control*, 79(1): 254-257.
- Lorencová E et al. (2020). Biogenic amines occurrence in beers produced in Czech microbreweries. *Food Control*, 1(1): 107335.
- Magan N et al. (2007). Post-harvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*, 119(2): 131-39.


- Majeed S (2018). Multiple mycotoxins in rice: occurrence and health risk assessment in children and adults of Punjab, Pakistan. *Toxins*, 10(1): 1-30.
- Marimón-Sibaja KV (2021). Dietary exposure assessment of aflatoxin M1 in milk and dairy products of Latin America. *Food Reviews International*, 1(1): 1-14.
- Marin S. et al. (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60(1): 218-237.
- Medina A et al. (2006). New method for determination of ochratoxin A in beer using zinc acetate and solid-phase extraction silica cartridges. *Journal of chromatography. A*, 1121(2): 178-83.
- MERCOSUL - Mercado Comum do Sul (2002). Reglamento técnico MERCOSUR sobre límites máximos de aflatoxinas admisibles en leche, maní y maíz. GMC/RES. N° 25/02. Disponível em: <https://www.mercosur.int/>. Acesso em 30 de janeiro de 2021.
- Munawar H et al. (2019). Utilization of synthetic antibody for fumonisin determination in feed and food. *Wartazoa*: 29(2): 51-60.
- Nigussie A et al. (2018). Level of aflatoxins in industrially brewed local and imported beers collected from Ethiopia market. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1): 1453317.
- Nogueira S et al. (2006). Ochratoxin A prevalence in food and consequent food safety problems. *Revista da Sociedade Portuguesa de Ciências da Nutrição e Alimentação*, 12(1) 69-75.
- Odhav B et al. (2002). Mycotoxins in South African traditionally brewed beers. *Food Additives and Contaminants*, 19(1): 55-61.
- Pascari X et al. (2018). Survey of mycotoxins in beer and exposure assessment through the consumption of commercially available beer in Lleida, Spain. *LWT - Food Science and Technology*, 92(1): 87-91.
- Pestka J (2007). Deoxynivalenol: Toxicity, mechanisms and animal health risks. *Animal Feed Science and Technology*, 137(1): 283-298.
- Piacentini KC et al. (2015). Quality and occurrence of deoxynivalenol and fumonisins in craft beer. *Food Control*, 50(1): 925-929.
- Piacentini KC et al. (2017). Mycotoxin analysis of industrial beers from Brazil: The influence of fumonisin B1 and deoxynivalenol in beer quality. *Food Chemistry*, 218(1): 64-69.
- Pietsch C (2019). Food safety: the risk of mycotoxin contamination in fish. Sabuncuoglu S (org.). *Mycotoxins and food safety*. Turquia: Intech Open, 1(1): 1-25.
- Pohl P (2009). Metals in beer. Preedy VR (org.). Massachusetts: Academic Press. 349-358p.
- Poli A et al. (2013). Moderate alcohol use and health: A consensus document. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 23(6): 487-504.

- Rausch AK et al. (2021). Development and validation of a liquid chromatography tandem mass spectrometry multi-method for the determination of 41 free and modified mycotoxins in beer. *Food Chemistry*, 338(1): 127801.
- Rubert J et al. (2013). Mass spectrometry strategies for mycotoxins analysis in European beers. *Food Control*, 30(1): 122-128.
- Schmidt-Heydt M et al. (2012). The biosynthesis of ochratoxin A by *Penicillium* as one mechanism for adaptation to NaCl rich foods. *Food Microbiology*, 29(1): 233-241.
- Shwab EK et al. (2008). Regulation of secondary metabolite production in filamentous ascomycetes. *Mycological Research*, 112(2): 225-230.
- STATISTA. Global beer production 1998-2018. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.
- Tarazona A et al. (2020). Study on mycotoxin contamination of maize kernels in Spain. *Food Control*, 118(1): 107370.
- Tiemann U (2009). The mycotoxins alternariol and alternariol methyl ether negatively affect progesterone synthesis in porcine granulosa cells in vitro. *Toxicology Letters*, 186(1) 139-145.
- Tittlemier SA et al. (2019). Developments in mycotoxin analysis: an update for 2017-2018. *World Mycotoxin Journal* 12(1): 3-29.
- USDA - United States Department of Agriculture (2020). Beer. National Nutrient Database for Standard Reference. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/789593/nutrients>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2020.
- Villa P et al. (2009). Aflatoxin B1 and ochratoxin A in breakfast cereals from athens market: occurrence and risk assessment. *Food Control*, 20(1): 455-461.
- WHO - World Health Organization (2018). Global status report on alcohol and health 2018. In *World Health Organization*, 2018. Disponível em:<<https://www.who.int/publications/i/item/9789241565639>> Acessado em 14 de fevereiro de 2021.
- Wu F (2007). Measuring the economic impacts of *Fusarium* toxins in animal feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 137(4): 363-374.
- Xu W et al. (2019). Co-occurrence of multi-mycotoxins in wheat grains harvested in Anhui province, China. *Food Control*, 96(1): 180-185.
- Zinedine A et al. (2007). Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology*, 45(1): 1-18.


Determinação de compostos fenólicos em frutas e tendências na avaliação dos seus teores bioacessíveis: Uma revisão

Recebido em: 07/05/2021

Aceito em: 11/05/2021

 10.46420/9786588319697cap2

Priscila Tessmer Scaglioni^{1,2,3*} 

Nádia Carbonera³ 

INTRODUÇÃO

No *ranking* mundial de produção de frutas, o Brasil encontra-se na terceira colocação, perdendo apenas para China e Índia. Dados de 2019 apontam que a fruticultura abrange em torno de 3 milhões de hectares no Brasil, gerando pelo menos 6 milhões de empregos diretos. O país foca a sua produção no mercado interno, exportando apenas cerca de 3% da produção. A produção anual fica em torno de 37 milhões de toneladas. Considerando a vasta extensão territorial do país, há uma grande diversidade na produção de frutas do Brasil, já que as lavouras estão espalhadas por todas as regiões do país (ABRAFRUTAS, 2019). Além disso, a crescente procura da população por um estilo de vida saudável e uma dieta balanceada, aliada a qualidade das frutas brasileiras, vem impulsionando o setor.

Uma alimentação variada é importante para garantir o suprimento dos diversos constituintes dos alimentos, e neste contexto, frutas e hortaliças apresentam características atrativas por serem boas fontes de energia, e ainda apresentarem-se como fonte de diversos compostos minoritários na dieta, como vitaminas, fibras, minerais e compostos antioxidantes, como os compostos fenólicos (Yahia et al., 1992).

Os compostos fenólicos compõem uma classe de moléculas, oriundas do metabolismo secundário de plantas, que apresentam diversas ações benéficas para os vegetais e para os indivíduos que os consomem, tais como, comprovada atividade antioxidante, antifúngica, antimicotoxigênica, anti-inflamatória e anticarcinogênica (Giada, 2013; Scaglioni et al., 2018, 2019). Dentre os alimentos fontes de compostos fenólicos, as frutas apresentam destaque quanto a concentração total destes metabólitos, principalmente uva, pêssigo, mirtilo, pitanga, maçã, laranja, amora-preta, morango e cereja (Araújo, 2019; Feitosa, 2017).

¹ Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Bioprospecção, Universidade Federal de Pelotas, 96160-000, Capão do Leão, RS, Brasil.

² Centro de Ciências da Natureza, Universidade Federal de São Carlos - Campus Lagoa do Sino, 18290000, Buri, SP, Brasil.

³ Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Tecnologia de Frutas e Hortaliças, Universidade Federal de Pelotas, 96160-000, Capão do Leão, RS, Brasil.

* Autora correspondente: priscilascaglioni@gmail.com

Apesar de inúmeros estudos determinarem a concentração de compostos fenólicos presentes em frutas, esta concentração pode não refletir a fração bioacessível destes compostos ao organismo humano após a ingestão de tal alimento. Isso se deve ao fato de que fatores como a estrutura química, métodos de transformação, aditivos alimentares, drogas coadministradas, frequência de administração, bem como gênero e perfil genético individual, podem influenciar a fração bioacessível dos compostos fenólicos, bem como sua bioatividade (Feitosa, 2017). Como definição, tem-se que a fração bioacessível é aquela fração do composto liberada da matriz no trato gastrointestinal, enquanto que a fração biodisponível é posteriormente absorvida durante a digestão, podendo gerar moléculas metabolicamente ativas (Versantvoort et al., 2004), ou seja, os compostos serão capazes de exercer sua bioatividade, que se refere à propriedade inerente a alguns compostos de participarem em reações bioquímicas específicas (Feitosa, 2017). Embora a biodisponibilidade oral de antioxidantes naturais, tais como os polifenóis, seja relativamente baixa, há evidências de que eles mantenham sua atividade biológica mesmo em baixas concentrações biodisponíveis (Velderrain-Rodríguez et al., 2017), além disso, essa baixa biodisponibilidade pode também ser melhorada/ampliada por intermédio de modificações químicas e/ou estratégias biotecnológicas.

Além dos conhecidos benefícios dos compostos fenólicos para a saúde, relacionados à sua capacidade de modificar fatores subjacentes do metabolismo, como o estresse oxidativo e inflamatório (Giada, 2013), recentemente o potencial dos compostos fenólicos de exercerem efeitos semelhantes aos prebióticos também tem sido estudado, fato que destaca a interação entre os polifenóis da dieta e a microbiota intestinal e sugere que esses compostos podem fornecer diversos efeitos bioativos e/ou promover uma microbiota intestinal funcional (Tomás-Barberán et al., 2016). Neste contexto, estudos sobre a bioacessibilidade de compostos fenólicos auxiliam a compreender as implicações fisiológicas destes compostos, que pode depender da forma e da quantidade consumida, e da sua transformação através do processamento de alimentos, onde o potencial para interações entre os compostos fenólicos e outros constituintes podem afetar a estabilidade e os perfis biodisponíveis finais (Debelo et al., 2020).

Este capítulo aborda aspectos fundamentais quanto as características gerais dos compostos fenólicos e define diversos conceitos no contexto da ciência de alimentos, tendo como objetivo compilar informações presentes na literatura sobre a concentração destes compostos presente inicialmente em frutas, bem como quanto a concentração que está bioacessível ao organismo humano a partir do consumo destas matrizes. Existem centenas de artigos que relacionam estes aspectos e que foram publicados em periódicos internacionais nos últimos anos, entretanto, a fim de discutir as principais tendências atuais, esta revisão considerou manuscritos de elevado impacto publicados durante o ano de 2020.

COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos são substâncias aromáticas hidroxiladas, com grande diversidade estrutural, variando de uma simples molécula a polímeros, todos altamente instáveis e rapidamente transformados em diversos produtos oriundos de reações observadas quando as células vegetais são danificadas, por exemplo, durante o processamento (Araújo, 2019). É notável em muitos estudos de propriedades antioxidantes que a responsabilidade satisfatória de extratos e frações ocorra em função da presença e quantidade de compostos fenólicos tendo em vista que os grupos hidroxilas ligados ao anel aromático são suscetíveis de sofrer homólise da ligação O-H, formando um radical aromático estabilizado por ressonância e liberando um H· (radicalar) capaz de reduzir radicais livres (Rad·) e prevenir os processos de oxidação (Figura 1) (Feitosa, 2017). Desta forma, embora não sejam considerados nutrientes essenciais, a ingestão regular de alimentos e bebidas ricos em compostos fenólicos tem sido amplamente recomendada, tendo em vista a associação positiva destes compostos com a redução de doenças degenerativas (Giada, 2013).

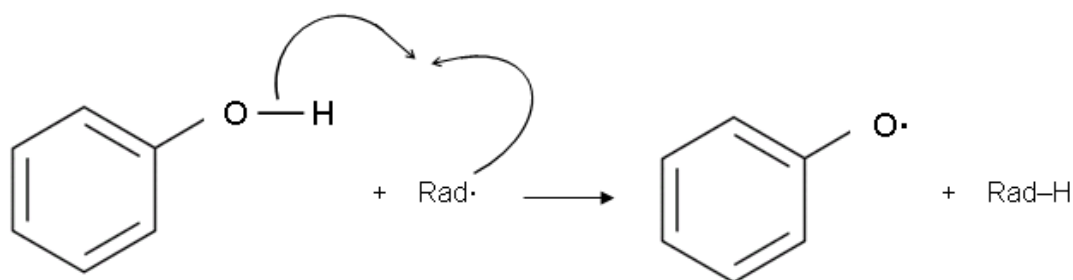


Figura 1. Sequestro de radicais por fenol. Fonte: Feitosa (2017).

Os compostos fenólicos resultam do metabolismo secundário das plantas, ou seja, não participam diretamente do crescimento e desenvolvimento do vegetal. As suas principais funções estão envolvidas no mecanismo de crescimento vegetal, pigmentação, como agente antimicrobiano, remoção de radicais livres formados durante a fotossíntese, absorção de luz e atração de polinizadores (Soto-Hernández, 2019).

Mais de oito mil tipos de compostos fenólicos são conhecidos, o que torna a distinção entre as moléculas uma tarefa difícil, contudo, a classificação dos compostos fenólicos em classes e subclasses facilita este entendimento (Figura 2).

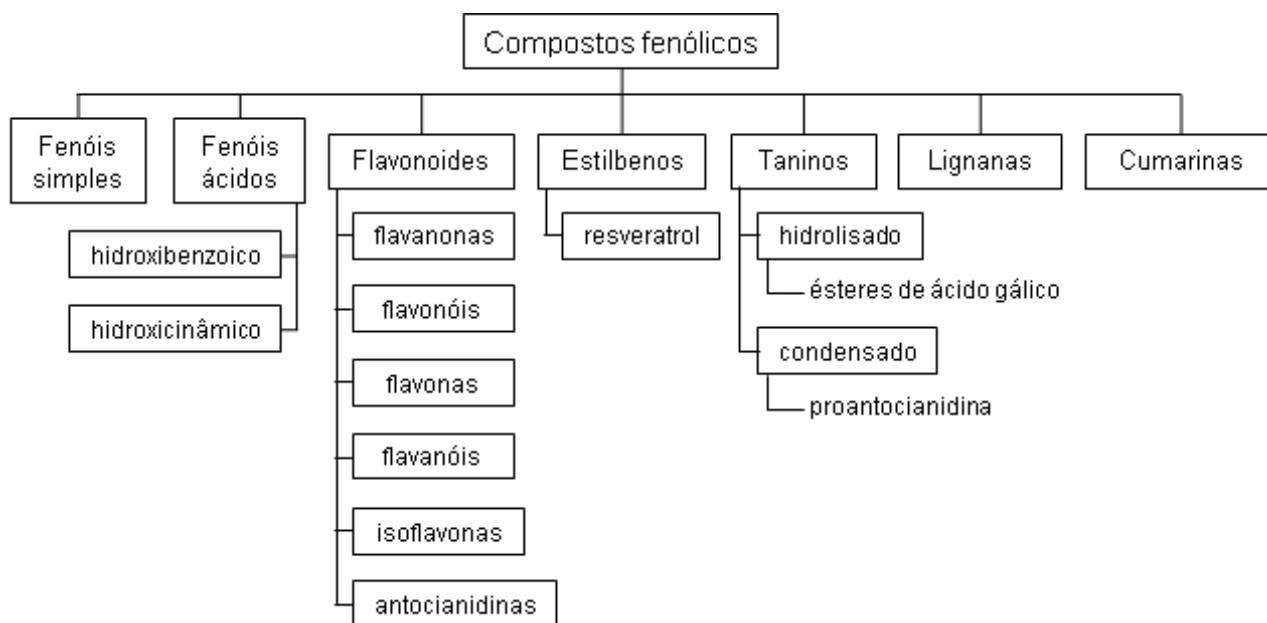


Figura 2. Classes e subclasses dos compostos fenólicos. Fonte: Araújo (2019).

Geralmente os compostos fenólicos são encontrados conjugados com açúcares e ácidos orgânicos, sendo classificados principalmente em: flavonoides e não flavonoides. Todos os flavonoides possuem estrutura básica contendo dois anéis benzeno ligados ao anel heterocíclico pirano. Em contraste, os não flavonoides incluem grupos de compostos mais heterogêneos, encontrados em grande quantidade e em diversas formas químicas, incluindo os fenóis simples, fenóis ácidos, cumarinas, estilbenos, lignanas e taninos (Giada, 2013). Os compostos fenólicos mais comuns de ocorrência em alimentos são os flavonoides e os fenóis ácidos (Araújo, 2019).

Compostos fenólicos em frutas

As frutas, juntamente com hortaliças, café, chá e vinho tinto, constituem as principais fontes de compostos fenólicos na dieta humana. Alguns fenóis, como a quercetina, podem ser encontrados em todos os tipos de produtos oriundos de vegetais, enquanto outros são específicos para certos tipos de alimentos, como as flavanonas em frutas cítricas e a floridizina em maçã (Araújo, 2019; Bílková et al., 2020). Fatores ambientais (tipo de solo, exposição ao sol e frequência de chuva) ou práticas agrônômicas (cultivo em estufas, cultivo hidropônico, número de frutas/árvores, etc.) são os principais fatores na concentração de substâncias fenólicas nos alimentos. Em geral, a concentração de fenóis ácidos diminui durante o amadurecimento, enquanto que as antocianinas aumentam (Soto-Hernández, 2019).

A presença de compostos fenólicos em frutas traz diversos benefícios para quem consome habitualmente estas matérias-primas alimentares, tendo em vista que a bioatividade comprovada destes compostos sugere que alimentos que os contenham possam ser classificados como “funcionais”. Segundo

a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), tem-se por definição que alimentos funcionais são aqueles que produzem efeitos metabólicos ou fisiológicos através da atuação de um nutriente ou não nutriente no crescimento, desenvolvimento, manutenção e em outras funções normais do organismo humano (ANVISA, 1999).

Além disso, os compostos fenólicos em frutas contribuem com a cor e sabor, e o teor destes compostos pode variar em uma ampla faixa. De forma geral, o ácido cafeico, tanto na forma livre ou esterificado, é o composto fenólico mais abundante, representando entre 75 e 100% do teor total de ácido hidrocínâmico em frutas, este fenol ácido pode ser encontrado em todas as partes das frutas, embora a concentração mais elevada esteja presente na parte externa (Araújo, 2019). Demais derivados do ácido hidrocínâmico, como os ácidos p-cumárico, ferúlico e sináptico, são frequentemente encontrados na forma de ésteres com o ácido quínico em frutas como damasco, ameixa e cereja (Bílková et al., 2020; Schmidt et al., 2020; Wani et al., 2020). Os flavonóis glicosídicos também estão vastamente presentes em frutas, contudo se acumulam nas folhas e na casca, em razão de sua biossíntese ser estimulada pela luz (Soto-Hernández, 2019). A casca de frutas cítricas possui elevada quantidade de flavonas polimetoxiladas, enquanto que as frutas cítricas apresentam elevada concentração de flavanonas (hesperidina e naringenina), o que as confere sabor amargo (Alam et al., 2014).

A fim de exemplificação, a Tabela 1 apresenta alguns dos principais resultados de estudos que determinaram diferentes compostos fenólicos em diversas frutas, através destes resultados, nota-se a variedade de composição de fenóis que pode ser encontrada em frutas, tanto em relação às concentrações destes compostos, quanto à identificação das moléculas. É importante destacar que a utilização de instrumentação analítica sofisticada auxilia na detecção e identificação de diversas estruturas químicas e também garante a maior confiabilidade e exatidão dos resultados. Além disso, existe uma tendência à procura de novas fontes de compostos fenólicos, neste sentido, pesquisas utilizando frutas regionais ou de consumo ainda não estabelecido pela população, têm se tornado assunto de interesse na área de ciência e tecnologia de alimentos. Por exemplo, a baga do espinheiro, que apresenta composição de fenólicos solúveis e insolúveis-ligados que pode contribuir para a formulação de suplementos dietéticos, entretanto, a forma de consumo da fruta influencia na disponibilização dos compostos, enquanto os fenólicos solúveis podem ser adquiridos quando se ingere chá ou suco natural da fruta, os insolúveis-ligados podem ser obtidos quando se consome as frutas frescas ou algum produto derivado que utiliza a polpa (Lou et al., 2020).

Tabela 1. Concentração de compostos fenólicos em frutas. Fonte: dados coletados pelos autores.

Fruta	Composto Fenólico	Concentração (mg kg ⁻¹)	Método analítico	Referência
Damasco	Ácido clorogênico	36,1 ± 0,33 a 42,6 ± 0,14	Cromatografia líquida de alta eficiência com detector ultravioleta (CLAE-UV)	Wani et al. (2020)
	Ácido neoclorogênico	27,8 ± 0,43 a 32,1 ± 0,23		
	Catequina	16,4 ± 0,34 a 20,1 ± 0,11		
	Kaempferol	14,6 ± 0,36 a 17,6 ± 0,16		
	Quercetina	14,2 ± 0,29 a 19,5 ± 0,67		
	Procianidina B2	28,1 ± 0,40 a 32,7 ± 0,46		
Framboesa	Antocianinas	1730 ± 30	Cromatografia líquida de ultra alta eficiência com detector de arranjo de diodos e espectrômetro de massas (CLUAE-DAD-EM)	Piechowiak et al. (2020)
	Elagitaninos	16920 ± 220		
	Flavonóis	900 ± 40		
	Proantocianidinas	440 ± 10		
Bagas de espinheiro (<i>Crataegus pinnatifida</i>)	Fenóis ácidos	36,97 ± 2,81 a 281,94 ± 4,73	CLAE acoplada a espectrometria de massas sequencial por fonte de ionização por <i>electrospray</i> (CLAE-ESI-EM/EM)	Lou et al. (2020)
	Flavonoides	8,94 ± 0,38 a 422,08 ± 4,47		
	Procianidinas	1,03 ± 0,02 a 243,51 ± 6,58		
Polpa de açaí	Fenóis totais	858 ± 9 a 921 ± 7	Espectrofotometria	Rossetto et al. (2020)
	Flavonoides	280 ± 5 a 317 ± 6		
Morango	Fenóis totais	11500 ± 800 a 16100 ± 1570	Espectrofotometria e reações colorimétricas (proposição de método)	Azeem et al. (2020)
Romã		10400 ± 200 a 13100 ± 100		
Ameixa vermelha		3800 ± 180 a 4200 ± 200		
Uva vermelha		2600 ± 250 a 3100 ± 100		
Uva preta		1600 ± 100 a 3000 ± 160		
Kiwi		2800 ± 110 a 3600 ± 270		
Framboesa		18200 ± 550 a 19700 ± 1490		
Laranja		770 ± 40 a 1000 ± 70		
Goiaba		1960 ± 60 a 2040 ± 100		
Maçã vermelha		2300 ± 90 a 2600 ± 240		
Pêra		920 ± 50 a 1000 ± 600		
Toranja		1270 ± 110 a 1620 ± 130		
Feijoa - <i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret	Fenóis totais	4182,31 a 11447,71	CLAE-ESI-EM/EM e CLAE-DAD-EM/EM	Schmidt et al. (2020)
	Ác. hidroxibenzoico total	1594,4 a 5398,61		
	Flavonol total	270,48 a 546,26		
	Ác. hidroxicinâmico total	456,79 a 1346,27		
	Fenóis totais	10177,40 a 13486,24		

Cereja-do-Rio-Grande - <i>Eugenia involucrata</i> DC.	Antocianinas totais	6710,82 a 8789,32		
	Flavonol total	573,81 a 1011,51		
	Ác. hidroxicinâmico total	107,33 a 218,06		
Maçãs	Ácido clorogênico	1,4 ± 0,3 a 99,6 ± 3,0	CLAE-UV	Bílková et al. (2020)
	Epicatequina	0,8 ± 0,2 a 21,3 ± 3,2		
	Rutina	0,5 ± 0,1 a 16,8 ± 1,2		
	Quercetina	2,2 ± 0,3 a 24,0 ± 3,1		
	Florizina	0,7 ± 0,1 a 13,6 ± 0,4		
Mirtilo	Fenóis totais	1120 ± 20	Espectrofotometria	Martín-Gómez et al. (2020)
	Antocianinas totais	27,4 ± 0,32		
Araçá amarelo	Fenóis totais	2345,4 ± 63,2	LC-DAD-ESI-EM/EM	Mallmann et al. (2020)
Araçá vermelho		2488,7 ± 80,2		

Ainda sobre estudos envolvendo fontes pouco conhecidas de compostos fenólicos, pesquisadores avaliaram as frutas denominadas feijoa e cereja-do-Rio-Grande, e estas foram consideradas pelos autores como sendo excelentes fontes de compostos fenólicos com atividade antioxidante contra os radicais •OH, •ROO⁻ e ABTS. Os autores mencionam que a compreensão da composição bioativa das frutas nativas pode estimular sua maior aceitabilidade e utilização como recurso de compostos com atividade antioxidante, bem como estimular o consumo ou aplicação destas frutas para fins nutracêuticos, além de contribuir com a conservação da biodiversidade da flora nativa brasileira e melhorar a renda das populações locais (Schmidt et al., 2020).

Quanto aos estudos envolvendo frutas amplamente consumidas pela população, Wani et al. (2020) verificaram a concentração de compostos fenólicos em damascos, encontrando valores que variaram de 14,2 a 42,6 mg kg⁻¹ para os diferentes compostos estudados, os autores relatam que os resultados encontrados são decorrentes de um efeito cumulativo de vários fatores, tendo em vista que o conteúdo fenólico depende da composição genética da planta e também pode sofrer degradação quanto à oxidação, clivagem ou mediada pela enzima polifenol oxidase (PPO). Neste contexto, a secagem fornece condições mais adequadas para reações de degradação, como a disponibilidade de oxigênio e aumento da temperatura, enquanto o congelamento ajuda na manutenção do conteúdo fitoquímico de frutas frescas. Quanto a influência de enzimas na concentração de compostos fenólicos em frutas, Piechowiak et al. (2020), em estudo com framboesa, constataram que a tanino acil hidrolase (TAH) catalisa a hidrólise de ligações éster em taninos hidrolisáveis em ácido gálico e glicose. O ácido gálico formado pode descarboxilar em pirogalol com a participação do descarboxilato de galato (GDC). Por sua vez, o pirogalol e outros polifenóis podem ser oxidados pela PPO em quininas, que não apresentam potencial antioxidante.

Um estudo envolvendo a determinação de compostos fenólicos em diversos cultivares de maçãs armazenadas sob diferentes disponibilidades de oxigênio mostrou que a maioria das variedades armazenadas por curto período (3 meses) sob refrigeração (1,2 – 1,6 °C, 87 – 91% de umidade) ou sob condições ultrabaixas de oxigênio (< 2% O₂ + <1% CO₂ em nitrogênio, 1,5 – 2,0 °C, 99% de umidade) não apresentou diferença estatística no teor de fenólicos. Entretanto o estudo comprovou os benefícios das condições de armazenamento sob condições ultrabaixas de oxigênio para cultivares destinadas a um armazenamento mais longo (7 meses) (Bílková et al., 2020).

O processo de secagem de frutas também pode interferir na quantidade de compostos bioativos presentes na matriz, neste contexto, estudo conduzido por Martín-Gómez et al. (2020) avaliou o efeito da secagem convectiva de mirtilo a 30, 40 e 50 °C na concentração de fenóis e antocianinas. O aumento da temperatura de secagem aumentou os teores de fenólicos totais e de antocianinas. A atividade antioxidante, avaliada pelos métodos DPPH e ABTS, também aumentou com a temperatura de secagem. Segundo os autores, este aumento dos compostos fenólicos e antocianinas pode ser devido ao fato de que uma temperatura mais alta causa uma maior difusão dos componentes presentes na pele para a polpa de mirtilo devido aos danos celulares na pele causados pela alta temperatura. Além disso, pode ocorrer a liberação de compostos fenólicos ligados e a degradação parcial da lignina, levando à liberação de derivados fenólicos. Também é importante destacar a ocorrência do processo de concentração devido à evaporação da água. No estudo mencionado, como o processo de secagem ocorreu em temperatura moderada, as reações de degradação térmica das antocianinas não são muito favorecidas. Por outro lado, as antocianinas também são degradadas enzimaticamente na presença da PPO, essa enzima produz a oxidação dos compostos fenólicos e pode diminuir sua atividade com o aumento da temperatura. Entretanto, existe um equilíbrio entre os mecanismos que aumentam e os que diminuem a concentração de antocianinas, resultando em impactos variáveis.

Trabalhos na interface entre diferentes áreas também avaliam a concentração de compostos fenólicos em frutas, como é o caso de Rossetto et al. (2020), que estudaram a polpa de açaí e, além de verificar que esta apresenta elevado potencial para a obtenção de compostos fenólicos, também foi realizada uma avaliação quanto aos parâmetros de bioadsorção empregando *Saccharomyces cerevisiae* como bioadsorvente de compostos fenólicos, o que resultou em uma levedura residual rica em compostos bioativos (relacionados a atividade antioxidante), os autores sugerem que esta biomassa pode ter aplicações nas indústrias de alimentos, farmacêutica e de rações animais. Neste sentido, verifica-se a importância de se utilizar determinadas matrizes alimentares (tais como as frutas) como subsídio para formulação de novos produtos que contenham elevado conteúdo fenólico.

Novos métodos analíticos para a determinação de compostos fenólicos em frutas também são constantemente propostos na literatura visando melhorar a performance de detecção ou até mesmo

reduzir custos de análise. Neste sentido, Azeem et al. (2020) propuseram um método baseado em reações colorimétricas empregando imagem digital. Os pontos colorimétricos são formados pela reação de aminobenzenos diazotizados (ácido sulfanílico, sulfanilamida ou anilina) com os compostos fenólicos, formando um corante azo. O sistema de captura da imagem pode ser utilizado em telefones celulares ou câmeras digitais. A correlação dos resultados obtidos pelo novo método com os resultados obtidos pelo ensaio de Folin-Ciocalteu foi significativa (coeficiente de Pearson, $R = 0,970-0,991$). Desta forma o método desenvolvido se mostrou rápido, de baixo custo, versátil, robusto, portátil e muito interessante para análises *in situ*. Além disso, os autores também avaliaram a influência da ecologia nas concentrações dos compostos fenólicos totais em diversas frutas, por meio da comparação dos resultados obtidos para uma amostra idêntica provinda de diferentes origens, foi verificado que a produção dos compostos fenólicos é amplamente afetada por fatores ambientais, como temperatura média, precipitação e teor de nutrientes do solo.

As técnicas de determinação de compostos fenólicos também apresentam evolução constante no quesito de instrumentação analítica, equipamentos que utilizam a cromatografia líquida acoplada a diferentes detectores são vastamente empregados a fim de determinar o maior número de compostos no menor tempo possível e ainda garantindo a confiabilidade dos resultados, conforme verificado pelos exemplos da Tabela 1. Neste sentido, Mallmann et al. (2020) utilizaram a técnica de cromatografia líquida com detector de arranjo de diodos acoplada a espectrometria de massa sequencial com fonte de ionização por eletrospray (LC-DAD-ESI-EM/EM) a fim de caracterizar de forma abrangente os compostos fenólicos não extraíveis e extraíveis em genótipos de araçá vermelho e amarelo. Os resultados mostraram um total de 45 e 43 compostos fenólicos na fração não extraível e 51 e 50 compostos na fração extraível do araçá vermelho e amarelo, respectivamente. O ácido gálico e o ácido elágico foram os únicos compostos encontrados em ambas as frações. A fração não extraível representou cerca de 35% (m/m) do conteúdo fenólico total e foi caracterizada por uma abundância de ácidos fenólicos, enquanto a fração extraível mostrou-se rica em flavonoides. Embora a fração não extraível representasse um terço do total de compostos fenólicos encontrados no araçá, sua capacidade antioxidante (contra o radical peroxil) foi 50% maior do que a fração extraível. Os resultados mostraram que o araçá apresenta grande diversidade e concentração relativamente elevada de compostos fenólicos de baixo peso molecular com alta capacidade antioxidante

BIOACESSIBILIDADE E BIODISPONIBILIDADE

A biodisponibilidade está relacionada com a bioacessibilidade do composto de interesse. A biodisponibilidade apresenta muitas interpretações dependendo da área de pesquisa. Nas ciências da saúde humana, como as ciências da nutrição, a biodisponibilidade é definida como a proporção do nutriente ou

composto bioativo digerido e usado ou armazenado para funções fisiológicas (Benito et al., 1998). Em geral, o termo biodisponibilidade inclui absorção, metabolismo, distribuição no corpo e bioatividade (Fernández-García et al., 2009; Schumann et al., 1997). Outra definição aceita na área de ciência de alimentos diz respeito à “biodisponibilidade oral”, definida como a fração da dose externa do composto que atingiu a exposição interna. A dose externa representa a quantidade total do composto ingerido. A exposição é considerada "interna" quando o composto é absorvido no trato gastrointestinal e transportado através do fígado para a circulação sistêmica (Macrae et al., 1993; Versantvoort et al., 2004). De acordo com Versantvoort et al. (2004), a biodisponibilidade oral consiste em três processos apresentados esquematicamente na Figura 3. Primeiro, o composto é mobilizado de sua matriz alimentar para os sucos do trato gastrointestinal – esse processo é denominado bioacessibilidade. Os compostos mobilizados são subsequentemente transportados através do epitélio intestinal para a veia porta. Esta fração passa pelo fígado sem ser metabolizada e atinge a circulação sistêmica. Conseqüentemente, a fração biodisponível (F) é o produto das frações bioacessível (F_B), absorvida (F_A) e metabolizada (F_H).

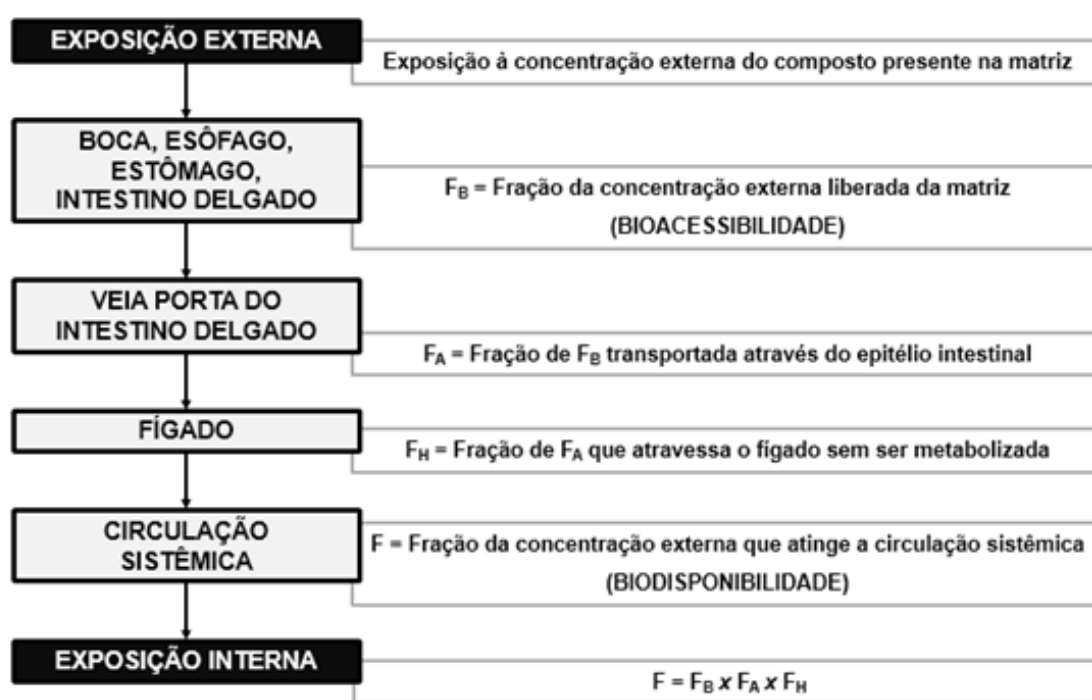


Figura 3. Representação esquemática dos processos que determinam a biodisponibilidade oral. Fonte: Adaptado de Versantvoort et al. (2004).

Após a ingestão de alimentos contendo o composto de interesse, apenas moléculas liberadas da matriz alimentar no intestino delgado através do trato gastrointestinal são consideradas disponíveis para absorção intestinal. A matriz alimentar pode afetar diretamente a concentração do composto na fração liberada no fluido digestivo. Estudos considerando o modelo de digestão *in vitro* mostraram que uma fração

considerável de compostos fenólicos permanece na matriz alimentar durante a digestão (Alminger et al., 2014; Seraglio et al., 2017). Portanto, a matriz alimentar pode diminuir a fração bioacessível, ou seja, $FB < 1$, e conseqüentemente, a exposição interna é reduzida. O transporte através do epitélio intestinal e o metabolismo no fígado dependem predominantemente das propriedades específicas do composto (como peso molecular, lipofilicidade, afinidade pela P450) (Alminger et al., 2014).

Fração bioacessível e biodisponível de compostos fenólicos oriundos de frutas

A literatura científica apresenta vasta quantidade de estudos que determinam a concentração de compostos fenólicos em frutas, entretanto, nos últimos anos, o número de estudos envolvendo a bioacessibilidade ou biodisponibilidade destes compostos tem aumentado significativamente, para isso, diversas estratégias são utilizadas, neste sentido, estudos que versam sobre a bioacessibilidade ou biodisponibilidade de compostos fenólicos presentes em frutas estão brevemente descritos no presente tópico.

Balasoorya et al. (2020) avaliaram a bioacessibilidade de micronutrientes em morangos frescos (MF) e congelados (MC) cultivados em condições ambiente (400 ppm de CO_2 , 25 °C) (CA) e condições elevadas (950 ppm de CO_2 , 30 °C) (CE) com simulação do sistema gastrointestinal em jejum (SGIJ) ou alimentado (SGIA). Os autores verificaram que mais de 65% dos compostos fenólicos detectados foram liberados no fluido digestivo, sendo que o percentual mais alto foi de 98%, referente ao ácido ferúlico em sistema gastrointestinal alimentado a partir de morangos frescos cultivados em condições ambientais. Em geral, as amostras de morango liberaram maiores quantidades de polifenóis quando no estado alimentado comparativamente ao estado em jejum, os autores justificam que este aumento da concentração de sais biliares durante o estado alimentado facilita a solubilidade de compostos bioativos (Van-de-Wiele et al., 2007). As concentrações de polifenóis individuais na fração bioacessível foram significativamente maiores ($p \leq 0,05$) em morangos frescos cultivados em condições de crescimento elevado em comparação com frutas cultivadas em condições ambiente de crescimento. O Pelargonidina-3-glicosídeo apresentou o menor percentual de bioacessibilidade em todos os tratamentos (de 66 a 89%) quando comparado com os outros compostos fenólicos avaliados no estudo (de 70 a 98%). No entanto, os mesmos dados revelaram também que as quantidades de Pelargonidina-3-glicosídeo prontamente disponíveis foram as mais altas (de 55 a 200 $mg\ kg^{-1}$) em comparação com outros polifenóis, tais como Pelargonidina-3-rutinosídeo, p-cumárico, ferúlico, quercitina e p-cumariol (de 1,8 a 25,6 $mg\ kg^{-1}$). Fato que demonstra a importância em se considerar não apenas o percentual bioacessível, mas também a concentração que este percentual representa.

Carvalho et al. (2020) avaliaram o efeito do ultrassom de alta potência (0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 $J\ cm^{-3}$) na bioacessibilidade de compostos bioativos dos sucos de açaí (*Euterpe precatoria*). Foi verificado que a

concentração de antocianinas monoméricas e a atividade antioxidante aumentou com o emprego da maior densidade de potência ultrassônica estudada ($3,6 \text{ J cm}^{-3}$), estes resultados foram confirmados pela estatística multivariada envolvendo a Análise de Componentes Principais (ACP). Os autores sugerem que o ultrassom permitiu a liberação de novas substâncias aromáticas, e por esse motivo, a tecnologia de ultrassom pode ser considerada uma alternativa de pré-tratamento para sucos de frutas, melhorando a bioacessibilidade e a concentração de compostos bioativos. A literatura reporta que o processamento de alimentos por ultrassom favorece a ruptura da membrana das células do suco vegetal, liberando compostos bioativos intracelulares. Além disso, o processo de ultrassom aumenta a viscosidade/textura dos sucos de frutas, dificultando a reação das enzimas digestivas com os compostos bioativos que se tornam mais biodisponíveis (Campoli et al., 2018). Entretanto, durante o processo de digestão, a concentração inicial de compostos bioativos pode ser reduzida devido ao pH adverso e às condições enzimáticas. Para o açaí, foi observada uma redução considerável dos níveis de antocianinas durante a fase gástrica (com redução média de 48%), com manutenção das concentrações durante a fase enteral (com redução média de 7,3%). As antocianinas tendem a ser mais estáveis em pH neutro e básico (Pérez-Vicente et al., 2002), corroborando com a estabilidade das antocianinas durante a fase enteral.

Cervantes et al. (2020) utilizaram morango, framboesa e mirtilo como modelos experimentais para avaliar o efeito das condições da digestão *in vitro* na liberação de compostos fenólicos totais, flavonoides totais e antocianinas totais através da determinação da bioacessibilidade e da biodisponibilidade. Foi verificada uma proporção variada de cada grupo de compostos nas frações bioacessíveis e biodisponíveis, em comparação com os extratos hidrometanólicos das frutas. Essas diferenças representaram um aumento na proporção de fenólicos não flavonoides no morango, e uma diminuição nas antocianinas e um aumento nos flavonoides não antocianínicos no mirtilo após a digestão. Por outro lado, nenhum efeito da digestão foi encontrado nas proporções polifenólicas da framboesa. É importante destacar que a biodisponibilidade antioxidante total no morango foi $\sim 1,2$ e $\sim 2,5$ vezes maior do que no mirtilo e framboesa, respectivamente, sendo que o perfil antioxidante biodisponível no morango e no mirtilo foi consistente com seus perfis de bioacessibilidade. No entanto, a proporção biodisponível de flavonoides não antocianínicos na framboesa foi aumentada enquanto as antocianinas diminuíram. A literatura reporta que esses resultados mostraram a diferença de digestibilidade entre as frutas silvestres nas condições gastrointestinais simuladas, que pode estar relacionada à natureza da sua matriz alimentar, ou seja, teor de açúcares, fibras dietéticas, lipídios e proteínas, bem como ao seu perfil químico de compostos específicos com caráter antioxidante (Ariza et al., 2018). A estrutura da matriz alimentar determina o destino de cada composto polifenólico durante o processo de digestão: eles podem ser liberados como estão inicialmente presentes, podem ser modificados por ligação a outras moléculas ou transformados/degradados em outros grupos químicos com propriedades diferentes (Tagliacozzi et al., 2010). Neste sentido, a menor

bioacessibilidade antioxidante observada na framboesa em comparação com mirtilo e morango pode ser atribuída ao seu maior teor de fibra alimentar.

Fernández-Jalao et al. (2020) objetivaram avaliar o efeito do processamento de alta pressão (PAP: 400 MPa, 35°C, 5 min) na fase oral, gástrica e intestinal, e fração bioacessível de flavonóis, ácidos hidroxicinâmicos, flavan-3-óis, dihidrocalcona e compostos fenólicos totais em maçãs não tratadas e tratadas com PAP. Com este estudo se verificou que a concentração de todos os compostos fenólicos diminuiu durante a simulação da digestão gastrointestinal por modelo dinâmico *in vitro*, sendo que esta redução foi observada em maçãs não tratadas e tratadas com o processamento de alta pressão. Em consequência desta diminuição, também ocorreu redução na capacidade antioxidante (%DPPH, %ABTS⁺, compostos fenólicos totais por Folin-Ciocalteu e FRAP), efeito sobre a capacidade inibitória da lipoxigenase (LOX) e atividade da xantina oxidase (XO) também foi observado. A digestão gastrointestinal dinâmica aumentou a liberação de quercetina-aglicona e levou a uma baixa bioacessibilidade de quercetina-glicosídeos (~10%). A maçã tratada com alta pressão, em comparação com a maçã não tratada, apresentou maior índice de recuperação para os ácidos hidroxicinâmicos (~67% e 52%) e maior bioacessibilidade para os ácidos hidroxicinâmicos (40% e 31%) e dihidrocalconas (30% e 19,5%). A fração bioacessível da maçã tratada com alta pressão demonstrou elevada capacidade antioxidante no conteúdo não digerido: 24% (%DPPH), 14% (%ABTS⁺), 86% (compostos fenólicos totais), 48% (FRAP) e 68% e 100% das capacidades inibitórias de XO e LOX.

Considerando o contexto dos alimentos funcionais, o estudo de Fernández-Jalao et al. (2020) supramencionado fornece informações relevantes para o uso de modelos dinâmicos gastrointestinais em vez dos modelos estáticos, mais frequentemente empregados para obter dados mais exatos sobre a bioacessibilidade de compostos fenólicos. Os resultados obtidos por estes ensaios fornecem informações fidedignas para a indústria de alimentos funcionais sobre as quantidades que devem ser consumidas de um determinado alimento ou ingrediente funcional para atingir o efeito biológico desejado. O apelo de estudos como este se torna ainda maior quando se considera que o consumidor está disposto a pagar pelo maior valor agregado de alimentos ou ingredientes funcionais que representem uma melhoria substancial em termos de qualidade de vida e saúde. Portanto, as indústrias de alimentos funcionais devem utilizar métodos validados para garantir que os compostos bioativos presentes no alimento ou ingrediente funcional sejam eficazes e realizem a ação biológica para a qual foram destinados.

Kayacan et al. (2020) avaliaram diferentes métodos de secagem (secagem com ar quente; por infravermelho; à vácuo por ultrassom; e liofilização) de caqui, com o intuito de verificar a influência destes processos no teor e na bioacessibilidade (pós digestão gástrica; fração dialisável da digestão intestinal; e fração não dialisável da digestão intestinal) de compostos fenólicos totais presentes nos frutos. Os autores verificaram que todos os processos de secagem avaliados levaram a um aumento significativo ($p < 0,05$)

na bioacessibilidade dos compostos fenólicos totais, bem como nas suas capacidades antioxidantes. Este aumento pode ser explicado pelo aumento da liberação de compostos fenólicos naturalmente ligados, devido ao tratamento térmico durante o processo de secagem, tendo em vista que a literatura indica que o tratamento térmico pode causar a quebra da matriz vegetal com o consequente aumento da liberação de compostos (Dewanto et al., 2002). A secagem com ar quente e por infravermelho resultaram em maior bioacessibilidade comparativamente aos outros métodos de secagem, este fato pode ser devido a uma carga térmica mais alta durante o processo de secagem. É válido destacar que a liofilização é considerada o melhor método de secagem porque produz alimentos desidratados de alta qualidade sensorial e nutricional e fornece menor encolhimento e maior capacidade de reidratação. No entanto, não é vastamente utilizado porque é um processo demorado, de elevado custo e que exige conhecimento técnico mais sofisticado para sua aplicação (Wojdyło et al., 2016). No contexto da tecnologia de frutas e hortaliças, os métodos de secagem inovadores devem ser aplicados visando aumentar as taxas de transferência de calor e massa, e reduzir a degradação de compostos bioativos e a ocorrência de compostos indesejáveis, além de apresentar baixo custo e ser de fácil aplicação.

Outro apelo que pode ser dado aos estudos que determinam a bioacessibilidade de compostos fenólicos está relacionado a frutos ainda pouco conhecidos quanto a composição e benefícios à saúde. Neste contexto, Oliveira et al. (2020) trabalharam com juá proveniente de diferentes localidades do território brasileiro (Mata Paraibana, Borborema, Agreste e Sertão Paraibano). Os autores avaliaram as características morfológicas dos frutos, a composição nutricional, o conteúdo e a bioacessibilidade de compostos fenólicos e a atividade antioxidante equivalente a estes compostos. A bioacessibilidade da catequina, epicatequina, galato de epicatequina, galato de epigallocatequina, procianidina e ácido sirínico variou entre as frutas de diferentes regiões (de 2,4 a 127,6 mg kg⁻¹). Os frutos do Sertão Paraibano apresentaram o maior conteúdo fenólico na fração bioacessível e a maior atividade antioxidante em todos os ensaios, indicando que esta localidade apresenta maior potencial para este tipo de cultivo. Como principal conclusão deste estudo, os autores salientam que o juá pode ser considerada uma fruta que fornece concentrações promissoras de flavonoides bioacessíveis. Além disso, a correlação entre os resultados obtidos pelos autores sugere que o teor de fibras dos frutos pode afetar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos. Na matriz alimentar, os compostos fenólicos podem se ligar às superfícies das fibras por um fenômeno de superfície, as fibras criam cavidades ou poros em sua estrutura, e os compostos fenólicos podem penetrar nesses poros (Jakobek et al., 2019). No entanto, esse fenômeno é influenciado pelo tamanho dos fenólicos, sendo que moléculas maiores que os poros seriam amplamente excluídas (Renard et al., 2017).

Ainda quanto aos resultados obtidos por Oliveira et al. (2020), os autores estimaram as frações dialisadas e não dialisadas dos compostos fenólicos após a simulação da digestão. Embora os compostos

detectados na fração não dialisada não estejam disponíveis para absorção, uma vez que não passam pela barreira intestinal, esses compostos podem ser “transportados” pelas fibras e atingir o cólon, onde podem ser liberados pela ação de bactérias com benefícios específicos para a saúde (Jakobek et al., 2019). A fração não dialisada do juá apresentou o maior teor de compostos fenólicos, principalmente o galato de epigallocatequina (~76%). Esse fato pode ser explicado pelas alterações químicas que ocorrem devido à ruptura de ligações induzida por ambientes ácidos ou alcalinos, liberando flavonóis durante a digestão *in vitro*.

Além da matriz da própria fruta em que os compostos fenólicos se encontram, a mistura da matriz com outros ingredientes também pode interferir na bioacessibilidade destes compostos. Neste sentido, Quan et al. (2020) avaliaram o efeito de diferentes processamentos (homogeneização à alta pressão e processamento térmico) e da adição de leite (desnatado, integral, e bebida de soja) na bioacessibilidade *in vitro* (digestão gástrica e pancreática) de compostos fenólicos presentes em suco de pomelo e em suco de kiwi. Sabe-se que o leite bovino é uma fonte rica em proteínas, gorduras e vitaminas, assim como a bebida de soja. Sendo que os diferentes efeitos dessas matrizes na fração bioacessível são provavelmente causados por diferentes interações proteína-polifenol, que podem impedir a liberação e solubilização de compostos fenólicos ou proteger os fenólicos da degradação durante a digestão (Rodríguez-Roque et al., 2014). Após a condução dos experimentos, os autores verificaram que tanto o método de processamento quanto a matriz de leite tiveram diferentes efeitos na bioacessibilidade e nos teores de compostos fenólicos nos sucos de pomelo e de kiwi. O tratamento térmico e o processamento de homogeneização à alta pressão aumentaram o conteúdo de compostos individuais e, conseqüentemente, de fenólicos totais, segundo os autores, este aumento se deve à danificação das paredes celulares e subsequente liberação dos compostos fenólicos. Entretanto, os métodos de processamento não melhoraram e até apresentaram efeitos negativos na bioacessibilidade de fenólicos totais provenientes dos sucos. Em relação às matrizes de leite, embora os leites desnatado e integral não tenham apresentado efeitos significativos nos teores dos compostos fenólicos, estas matrizes aumentaram a bioacessibilidade fenólica de 21,6% para 37,8% e de 60,1% para 63,3%, respectivamente, enquanto que a bebida de soja apresentou um efeito negativo significativo na bioacessibilidade dos fenólicos presentes no suco de pomelo. Os resultados deste estudo destacam a importância da bioacessibilidade de fenólicos provenientes de frutas e os benefícios para a saúde dos sucos de frutas por meio da otimização da tecnologia de processamento e do uso da matriz de leite na indústria de alimentos.

Apesar da maioria dos estudos encontrados na literatura utilizarem modelos experimentais *in vitro* que simulam a digestão até a etapa que fornece resultados de bioacessibilidade, existe uma tendência em utilizar modelos experimentais que forneçam resultados mais completos sobre o comportamento dos compostos de interesse após a simulação da ingestão, neste sentido, Quatrin et al. (2020) propuseram o

emprego de um modelo experimental estático de digestão gastrointestinal *in vitro* associado a um ensaio de fermentação colônica utilizando fezes humanas, a fim de elucidar o catabolismo e a bioacessibilidade de polifenóis provenientes da casca de jaboticaba em pó. Os autores verificaram a produção de catabólitos polifenólicos bioativos que podem atuar como antioxidantes e, com a fibra alimentar da casca da jaboticaba, melhorar o metabolismo da microbiota intestinal. Os polifenóis da casca da jaboticaba apresentaram maior estabilidade em condições salivares e gástricas do que em condições intestinais. Os principais polifenóis da casca de jaboticaba, antocianinas (18130 mg kg^{-1}) e taninos hidrolisáveis (13050 mg kg^{-1}), foram notavelmente degradados nas condições intestinais, enquanto os ácidos gálico e elágico aumentaram devido à hidrólise parcial e liberação da matriz da fruta. Apesar de sua baixa bioacessibilidade (1,3%), as antocianinas foram os polifenóis mais abundantes encontrados na fração intestinal bioacessível. Além disso, a fração intestinal bioacessível da casca de jaboticaba também se mostrou rica em ácido elágico e taninos hidrolisáveis (1788 mg kg^{-1}). Grande quantidade de elagitaninos e antocianinas da casca de jaboticaba não é bioacessível e permanece no intestino, produzindo inúmeros metabólitos fenólicos durante a fermentação fecal, cujo aumento foi paralelo ao aumento de ácidos graxos de cadeia curta e diminuição da viabilidade de bactérias patogênicas (Enterobactérias). Esses mecanismos podem enfatizar os efeitos benéficos da casca de jaboticaba para a saúde, que já foram amplamente demonstrados em modelos animais. Embora a casca da jaboticaba concentre a maioria dos compostos bioativos da fruta e possa ser explorada para o desenvolvimento de suplementos dietéticos e ingredientes funcionais alimentares, a ingestão da fruta inteira como parte de uma dieta saudável pode ser particularmente benéfica, pois a casca representa 30% do peso da fruta.

Em contrapartida, produtos derivados de frutas amplamente consumidos no Brasil e no mundo também despertam interesse da comunidade científica, neste sentido, o suco de laranja foi estudado por Stinco et al. (2020) quanto ao efeito de diferentes processamentos na bioacessibilidade *in vitro* de flavonoides, sendo eles: homogeneização à alta pressão (150 MPa); pasteurização a $92 \text{ }^\circ\text{C}$ por 30 s; pasteurização a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ por 15 s; e centrifugação com a fração da polpa homogeneizada a 150 MPa, reconstituída com a fração soro e pasteurizada a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ por 15 s. No geral, tanto a concentração inicial quanto a bioacessibilidade de flavonas e flavanonas não foram significativamente afetada pelos tratamentos de pasteurização e de homogeneização a 150 MPa, mantendo a média de concentração inicial de 18,36 e $276,18 \text{ mg kg}^{-1}$ para as flavonas e flavanonas, respectivamente, enquanto que o percentual de bioacessibilidade variou de 5,7 a 8,2% para as flavonas, e de 6,2 a 9,7% para as flavanonas. Os resultados sugeriram que, após a homogeneização da polpa, esses compostos não foram protegidos por componentes da parede celular que poderiam melhorar a extração dos flavonoides e, portanto, sua bioacessibilidade. Diversos estudos relatam que o processamento de alimentos vegetais pode influenciar a bioacessibilidade

de compostos fenólicos, principalmente por meio de alterações na estrutura da parede celular (Dutra et al., 2017).

Por fim, o estudo conduzido por Tomas et al. (2020) teve como objetivo investigar a modulação do perfil de polifenóis de purês de amora-preta por fibras dietéticas solúveis (5 ou 10% de inulina ou pectina), durante um processo simulado de digestão gastrointestinal *in vitro* e fermentação no intestino grosso. A fermentação *in vitro* no intestino grosso após a digestão gastrointestinal *in vitro* revelou que o maior nível de inclusão (10% m/m) de fibras dietéticas solúveis foi eficaz na modulação da bioaccessibilidade de algumas classes fenólicas (principalmente ácidos fenólicos, lignanas e flavonas). As antocianinas que atingiram o intestino grosso promoveram a formação de compostos de baixo peso molecular, como 4-vinilfenol, ácido benzoico e tirosol, juntamente com outros ácidos fenólicos (ácidos ferúlico e gálico). O aumento dos metabólitos fenólicos, provavelmente possuindo potencial antioxidante, torna a amora-preta adicionada de fibras solúveis um alimento funcional potencial. Resultados como este possibilitam investigar a interação entre a microbiota intestinal e o purê de frutas adicionado de fibra solúvel, avaliando a possível modulação da comunidade microbiana do intestino grosso. Essa modulação pode surgir diretamente da interação com as fibras solúveis, bem como indiretamente resultante da disponibilidade dos compostos fenólicos relacionados.

CONCLUSÃO

A importância da ingestão de compostos fenólicos a partir da dieta humana é evidente devido aos inúmeros benefícios acarretados ao organismo, neste sentido, o conhecimento da fração bioacessível e/ou biodisponível dos compostos fenólicos a partir da ingestão de diferentes frutas se torna primordial a fim de se aprimorar o conhecimento quanto aos efeitos deste consumo. Além disso, o emprego de diferentes tecnologias durante o processamento dos frutos pode ocasionar alterações nas frações bioacessíveis destes compostos. Sendo assim, o presente capítulo abordou as principais tendências e inovações no que diz respeito à diferentes frutas que disponibilizam estes compostos, bem como a importância de validação dos métodos analíticos, e o efeito de diferentes processamentos nos teores bioacessíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFRUTAS – Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Os rumos da produção de frutas no Brasil. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2019/11/04/os-rumos-da-producao-de-frutas-no-brasil/>. Acesso em: 02/04/2021.

Alam MS et al. (2014). Effect of citrus flavonoids, naringin and naringenin, on metabolic syndrome and their mechanisms of action. *Advances in nutrition*, 5(4): 404-417.

- Alminger M et al. (2014). *In Vitro* Models for Studying Secondary Plant Metabolite Digestion and Bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4): 413-36.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 19, de 30 de abril de 1999. Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e/ou de saúde em sua rotulagem. Diário Oficial da União, 03 de maio de 1999. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-no-19-de-30-de-abril-de-1999.pdf/view>. Acesso em: 02/04/2021.
- Araújo JMA (2019). *Química de alimentos: teoria e prática*. 7. ed., Viçosa: Ed. UFV. 666p.
- Ariza MT et al. (2018). Bioaccessibility and potential bioavailability of phenolic compounds from achenes as a new target for strawberry breeding programs. *Food Chemistry*, 248: 155-165.
- Azeem SMA et al. (2020). Analysis of total phenolic compounds in tea and fruits using diazotized aminobenzenes colorimetric spots. *Food Chemistry*, 332: 127392.
- Balasoorya H et al. (2020). Bioaccessibility of micronutrients in fresh and frozen strawberry fruits grown under elevated carbon dioxide and temperature. *Food Chemistry*, 30: 125662.
- Benito P et al. (1998). Iron absorption and bioavailability: An updated review. *Nutrition Research*, 18(3): 581-603.
- Bílková A et al. (2020). Content of major phenolic compounds in apples: Benefits of ultra-low oxygen conditions in long-term storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92: 103587.
- Campoli SS et al. (2018). Ultrasound processing of guava juice: Effect on structure, physical properties and lycopene *in vitro* accessibility. *Food Chemistry*, 268: 594-601.
- Carvalho LMS et al. (2020). Improvement of the bioaccessibility of bioactive compounds from Amazon fruits treated using high energy ultrasound. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 67: 105148.
- Cervantes L et al. (2020). Bioavailability of phenolic compounds in strawberry, raspberry and blueberry: Insights for breeding programs. *Food Bioscience*, 37: 100680.
- Debelo H et al. (2020). Processing influences on food polyphenol profiles and biological activity. *Current Opinion in Food Science*, 32: 90-102.
- Dewanto V et al. (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17): 4959-4964.
- Dutra RLT et al. (2017). Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 100: 650-657.
- Feitosa CM (2017). *Antioxidantes: aspectos químicos, farmacológicos e terapêuticos*. Campinas: Ed. Átomo. 210p.

- Fernández-García E et al. (2009). *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research*, 29(11): 751-60.
- Fernández-Jalao I et al. (2020). Impact of an *in vitro* dynamic gastrointestinal digestion on phenolic compounds and antioxidant capacity of apple treated by high-pressure processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66: 102486.
- Giada MLR (2013). *Food Phenolic Compounds: Main Classes, Sources and Their Antioxidant Power, Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases - A Role for Antioxidants*, Morales-González, J.A. IntechOpen.
- Jakobek L et al. (2019). Non-covalent dietary fiber -Polyphenol interactions and their influence on polyphenol bioaccessibility. *Trends in Food Science & Technology*, 83: 235-247.
- Kayacan S et al. (2020). Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, *in vitro* bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon. *LWT – Food Science and Technology*, 118: 108830.
- Lou X et al. (2020). Identification and quantification of free, esterified, glycosylated and insoluble-bound phenolic compounds in hawthorn berry fruit (*Crataegus pinnatifida*) and antioxidant activity evaluation. *LWT – Food Science and Technology*, 130: 109643.
- Macrae R et al. (1993). *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition*. Academic Press.
- Mallmann LP et al. (2020). Comprehensive identification and quantification of unexploited phenolic compounds from red and yellow araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) by LC-DAD-ESI-MS/MS. *Food Research International*, 131: 108978.
- Martín-Gómez J et al. (2020). Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *LWT – Food Science and Technology*, 120: 108931.
- Oliveira PML et al. (2020). Juá fruit (*Ziziphus joazeiro*) from Caatinga: A source of dietary fiber and bioaccessible flavanols. *Food Research International*, 129: 108745.
- Pérez-Vicente A et al. (2002). *In vitro* gastrointestinal digestion study of pomegranate juice phenolic compounds, anthocyanins, and vitamin C, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 2308-2312.
- Piechowiak T et al. (2020). Changes in phenolic compounds profile and glutathione status in raspberry fruit during storage on ozone-enriched atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 168: 111277.
- Quan W et al. (2020). Effects of high-pressure homogenization, thermal processing, and milk matrix on the *in vitro* bioaccessibility of phenolic compounds in pomelo and kiwi juices. *Journal of Functional Foods*, 64: 103633.


- Quatrin A et al. (2020). Bioaccessibility and catabolism of phenolic compounds from jaboticaba (*Myrciaria trunciflora*) fruit peel during *in vitro* gastrointestinal digestion and colonic fermentation. *Journal of Functional Foods*, 65: 103714.
- Renard CMGC et al. (2017). Interactions between polyphenols and polysaccharides: Mechanisms and consequences in food processing and digestion. *Trends in Food Science & Technology*, 60: 43-51.
- Rodríguez-Roque MJ et al. (2014). *In vitro* bioaccessibility of health-related compounds as affected by the formulation of fruit juice- and milk-based beverages. *Food Research International*, 62: 771-778.
- Rossetto R. et al. (2020). Acai Pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through bisorption. *LWT – Food Science and Technology*, 128: 109447.
- Scaglioni PT et al. (2019). Inhibition of *in vitro* trichothecenes production by microalgae phenolic extracts. *Food Research International*, 124: 175-180.
- Scaglioni PT et al (2018). Inhibition of enzymatic and oxidative processes by phenolic extracts from *Spirulina* sp. and *Nannochloropsis* sp. *Food Technology & Biotechnology*, 56(3): 344-353.
- Schmidt HO et al. (2020). New insights into the phenolic compounds and antioxidant capacity of feijoa and cherry fruits cultivated in Brazil. *Food Research International* 136:109564.
- Schumann K et al. (1997). Bioavailability of oral vitamins, minerals, and trace elements in perspective. *Arzneimittel-Forschung*, 47(4): 369-80.
- Seraglio SKT et al. (2017). Effect of *in vitro* gastrointestinal digestion on the bioaccessibility of phenolic compounds, minerals, and antioxidant capacity of *Mimosa scabrella* Bentham honeydew honeys. *Food Research International*, 99: 670-678.
- Soto-Hernández M (2019). *Plant Physiological Aspects of Phenolic Compounds*. IntechOpen.
- Stinco CM et al. (2020). Influence of high-pressure homogenization and pasteurization on the *in vitro* bioaccessibility of carotenoids and flavonoids in orange juice. *Food Chemistry*, 331: 127259.
- Tagliazucchi D et al. (2010). A. *In vitro* bio accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120(2): 599-606.
- Tomás-Barberán FA et al. (2016). Interactions of gut microbiota with dietary polyphenols and consequences to human health. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 19: 471-476.
- Tomas M et al. (2020). Effect of different soluble dietary fibres on the phenolic profile of blackberry puree subjected to *in vitro* gastrointestinal digestion and large intestine fermentation. *Food Research International*, 130: 108954.

- Van-De-Wiele TR et al. (2007). Comparison of five *in vitro* digestion models to *in vivo* experimental results: Lead bioaccessibility in the human gastrointestinal tract. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering*, 42(9): 1203-1211.
- Velderrain-Rodríguez GR et al. (2017). Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds from tropical fruits. In *Fruit and Vegetable Phytochemicals*, EM Yahia (Ed.).
- Versantvoort CHM et al. (2004). Development and Applicability of an *in vitro* Digestion Model in Assessing the Bioaccessibility of Contaminants from Food: RIVM.
- Wani SM et al. (2020). Influence of processing methods and storage on phenolic compounds and carotenoids of apricots. *LWT – Food Science and Technology*, 132(13): 109846.
- Wojdyło A et al. (2016). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. *Food Chemistry*, 207: 170-179.
- Yahia EE et al. (1992). *Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas*. México: Acribia. 300p.

A importância do melhoramento genético de tilápia na produção de alimentos

Recebido em: 16/05/2021


Aceito em: 19/05/2021

 10.46420/9786588319697cap3

Carolina Schlotefeldt^{1*} 


Satia Costa Bomfim² 

Elisângela de Cesaro¹ 

Gislaine Gonçalves Oiveira¹ 

Simone Siemer¹ 

Carlos Antônio Lopes de Oliveira¹ 

Ricardo Pereira Ribeiro¹ 

INTRODUÇÃO

A tilápia é um peixe de água doce pertencente à família dos ciclídeos (Perciformes, *Cichlidae*) cujo nome comum foi dado para mais de 70 espécies de peixes divididas em três importantes gêneros para produção piscícola: *Sarotherodon*, *Tilapia* e *Oreochromis* (Trewawas, 1982; ANIMAL BUSINESS, 2019). Por se tratar de uma espécie oriunda do continente Africano os primeiros nichos ecológicos originais da tilápia foram o rio Nilo e o lago Vitória, posteriormente foi introduzida em outros continentes tornando-se um peixe cosmopolita e adaptado, com biotipo único para cada localidade (ANIMAL BUSINESS, 2019).

No Brasil (América do Sul) a tilápia foi introduzida pela primeira vez em 1953 quando a “Light”, em São Paulo, importou *Tilapia rendalli* do Congo. Em 1971 o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) importou exemplares da espécie tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) visando o repovoamento dos reservatórios públicos da região Nordeste, todavia, devido à fácil adaptabilidade e precocidade sexual, essa ação não teve muito êxito na região, ocorrendo disseminação descontrolada nesses ambientes e por consequência uma alta consanguinidade e baixos índices de produtividade (Brasil 2007).

Em 1965, o *Asian Institute of Technology* (AIT) da Tailândia iniciou um programa de melhoramento genético em tilápia-do-Nilo Chitralada. Já no ano de 1996 um lote desses animais melhorados foi disponibilizado para empresa GenoMar dando origem a linhagem Supreme Tilapia, nomeada no Brasil como Supreme Tilapia Aquabel (Filho et al., 2010).

¹ Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana-MS.

* Autora correspondente: carolinaschlotefeldt@gmail.com

A variedade *Genetic Improved Farmed Tilapia* (GIFT) foi introduzida no Brasil em 2005, a partir de uma parceria entre *World Fish Center*, uma empresa com sede na Malásia e os governos Federal e do estado do Paraná e a Universidade Estadual de Maringá (UEM), dando início ao primeiro programa de melhoramento genético de tilápia-do-Nilo no Brasil (Ribeiro et al., 2012). A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), no ano de 2012, também iniciou um programa de melhoramento genético de tilápia com indivíduos provenientes da importação de 1996 (Alves, 2020).

A utilização de linhagens geneticamente superiores permitiu à tilápia-do-Nilo tornar-se a espécie mais cultivada no Brasil, especialmente na região Sul que lidera o ranking nacional da produção de tilápia representando 44% do total produzido com 213.351 toneladas (t). Entre os estados com maior volume de produção destaca-se o Paraná (166.000 t), 135% a mais que o estado de São Paulo que ocupa a segunda posição (70.500 t). O terceiro lugar pertence a Minas Gerais (42.100 t), seguido por Santa Catarina que ocupa a quarta colocação (40.059 t) e em quinto, com uma produção anual de 29.090 toneladas, o estado de Mato Grosso do Sul (FAO, 2018; Brasil, 2021).

Entender a demanda dos consumidores de pescado, que buscam alimentos saudáveis e com vistas à sustentabilidade e responsabilidade ambiental, como a exigência de proteína está posicionada frente ao consumo de proteína animal e demais alimentos, é fundamental para assegurar um aumento do consumo de peixes (Sonoda et al., 2012). Destaca-se a importância das empresas para o setor, sendo elas responsáveis pela produção, distribuição e exportação do produto movimentando assim a economia do país. O cultivo de animais com linhagens geneticamente superiores, torna o processo mais lucrativo para o mercado, acarreta redução do tempo de cultivo, supre a demanda por produtos de qualidade e otimiza custos (Araújo et al., 2019).

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa científica foi realizada através de revisão descritiva, com abordagem individual dos diferentes focos de aplicação do melhoramento genético de tilápia. Foram abordados temas relacionados à origem e histórico das linhagens de tilápia geneticamente superiores, biotecnologias de processamento de matérias primas, levantamento de dados empresariais de comércio e produtividade de relevante importância para a piscicultura global.

Os dados para revisão foram captados de publicações em mecanismos virtuais confiáveis como *Scopus*, *ResearchGate*, *Google Scholar*, *Scientific Electronic Library Online - SciELO*, organizações cooperativas e repositórios de instituições de pesquisa relacionados à produção e melhoramento de tilápia. Foram encontrados 1600 trabalhos relacionados ao tema e publicados a partir de 2010, 187 desses artigos foram selecionados por título e resumo para compor a escrita, classificados por objetivo de pesquisa como: produção de genética (36), industrialização e processamento de cortes frigoríficos (104), qualidade e

aproveitamento de subprodutos (47). Foram utilizadas publicações anteriores à 2010 devido à busca pelo histórico de origem das linhagens, e descartados trabalhos que não abordavam a temática pretendida, ao total foram lidos 66 trabalhos na íntegra.

A IMPORTÂNCIA DO MELHORAMENTO GENÉTICO DE TILÁPIA NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

O melhoramento genético animal é uma ciência baseada na utilização de um conjunto de técnicas de biologia molecular e bioinformática cujo processo tem por objetivo selecionar e melhorar características produtivas desejáveis em animais domésticos para fins comerciais, uma vez que, uns dos maiores desafios dos últimos tempos tem sido, sem dúvidas, produzir maiores quantidades de alimentos em espaços cada vez menores devido a demanda e ao crescimento demográfico mundial (Mitra, 2001).

Para garantir a segurança alimentar é preciso destacar a importância dessa ciência no campo da pesquisa científica, imprescindível para o aperfeiçoamento ou desenvolvimento de novas tecnologias de produção com ênfase nos programas de melhoramento genético em peixes, principalmente em tilápia-do-Nilo que tem por finalidade maximizar a produtividade no setor (Brasil, 2013).

Segundo Filho et al. (2010) e De Araújo et al. (2019), os programas de melhoramento de tilápia nos últimos anos, têm possibilitado a inserção de diversas linhagens melhoradas geneticamente na cadeia produtiva da tilapicultura, tais como: Tilápia Tailandesa ou Chitralada (*Asian Institute of Technology*); Supreme Tilapia ou Supreme Tilapia AQUABEL (GENOMAR); *Genetic Improved Farmed Tilapia – GIFT (World Fish Center)*; *Genetically Male Tilapia – GMT® e Red Tilapia – GMT® (Fishgen)*; *Silver Tilapia GMT® – (Fishgen e a Santa Isabel)*; *Genetically Improved Abbassa Nile Tilapia – GIANT (World Fish)*; UFLA (Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil); AquaAmerica e mais recentemente as variedades Tilamax e Tilamax-RED (Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil).

Dentre as tecnologias mais empregadas nos grandes polos de tilapicultura brasileira destaca-se uso de linhagens melhoradas distribuídas entres as principais regiões produtoras, em evidência os polos de Serra da Mesa (Cana Brava) em média 92% dos animais produzidos são de origem melhorada, seguido por Ilha Solteira (89%), Norte Paraná (86%), Oeste Paraná (71%) e Vale do Itajaí com 67% (Filho et al., 2010).

A crescente demanda por linhagens geneticamente superiores é explicada mediante à superioridade nos resultados de produção obtidos ao longo das seleções, sobretudo o ganho de peso, uma das principais características de importância econômica utilizada nos Programas de Melhoramento Genético (PMG), com o processo de seleção foi possível aumentar o ganho em 100% após a oitava geração selecionada em comparação à indivíduos não melhorados (Brasil, 2015).

Estudos realizados por pesquisadores no Egito, indica que é possível obter maior lucratividade financeira quando os piscicultores optam pela aquisição de tilápia-do-Nilo de origem melhorada (Ibrahim

et al., 2013, 2019). Foi possível afirmar que houve um impacto econômico significativo com o uso da linhagem GIANT-G9 (nona geração) em comparação a cepas não melhoradas. Os animais melhorados obtiveram maior rendimento de carcaça (12,3 a 26,4%) e taxa de conversão alimentar 15,7% menor que em peixes comerciais, indicando a superioridade desses indivíduos (Ibrahim et al., 2019). Avaliando gerações anteriores, sétima e a oitava, Ibrahim et al. (2013) também observaram superioridade (28%) na taxa de crescimento de GIANT sob condições semelhantes.

Os primeiros estudos realizados no Brasil com tilápia-do-Nilo oriunda de programas de melhoramento indicaram superioridade genética de 4% por geração para as características ganho de peso diário e peso vivo à despesca (Oliveira et al., 2012; Silva, 2016). Resultados semelhantes foram confirmados em estudo posterior, garantindo em quatro anos de seleção otimizar o ganho em peso diário e peso vivo, bem como, aumentar os ganhos genéticos acumulados de 18 para 28% em relação a geração anterior (Oliveira et al., 2012; Marçal, 2017). Ainda, para Oliveira et al. (2012) o tempo de cultivo de tilápia melhorada em tanques-rede, é reduzido em até 21 dias comparado àqueles aos animais não melhorados. Estes resultados ratificam o efeito positivo do uso de animais melhorados no processo de produção e o quão importante é a difusão dos materiais genéticos de qualidade na cadeia produtiva da tilápia (Marçal, 2017).

Empreendimento piscícola que busca investir em pacotes tecnológicos e genética de alta qualidade, tendem obter maior lucratividade do que outros, além dos ganhos produtivos. Segundo Araújo, et al. (2019) ao simularem um cenário para produção de tilápias geneticamente superiores e inferiores, com peso médio à despesca de 997,20 g e 774 g em um período de cultivo fixo de 180 dias. Nessa lógica, os autores predizem que os animais melhorados teriam um ganho estimado maior (223,2 g), ou seja, o produtor no final do cultivo obteria 223,20 kg/peixe/milheiro e lucro de R\$ 904,40/milheiro, considerando o preço de venda (R\$ 4,50/Kg) e o preço (R\$ 100,00/milheiro) pago pelos alevinos.

PRINCIPAIS PRODUTORES E MERCADO DA CARNE DE TILÁPIA NO BRASIL

A venda de peixes produzidos nos principais polos brasileiros é realizada por atravessadores, frigoríficos, pesqueiros, feiras, peixarias e supermercados. Destaca-se a entrega do peixe dos produtores para os frigoríficos, totalizando 55% das vendas, sendo que o maior centro de comercialização está localizado na região norte e oeste do Paraná. A venda para atravessadores soma 40% do total comercializado, principalmente nas regiões de Boa Esperança, seguido da venda direto ao consumidor, pesqueiros, feirantes/peixarias e supermercados com 20, 19, 12, 8%, respectivamente (Brasil, 2020a). A produção e a exportação de tilápia engloba diversos produtos industrializados (Tabela 1), além da comercialização de peixe e filés frescos ou refrigerados (*in natura*) que representam adicional de 5,2 milhões de dólares ao total de produtos exportados (Brasil, 2021).

Tabela 1. Dados referentes à exportação da tilápia no ano de 2020. Fonte: Adaptado de Brasil (2020b).

Produto	Ano 2020	Valor
	(%)	(US\$/Kg)
Filés de tilápia Frescos Ou Refrigerados	51,03%	6,43
Óleos E Gorduras De Tilápia	20,56%	0,96
Subprodutos De Tilápia Impróprios Para Alimentação Humana	14,50%	0,75
Tilápia Inteiras Congeladas	10,87%	1,73
Filés De Tilápia Congelados	2,83%	4,49
Tilápia Inteiras Frescas Ou Refrigeradas	0,20%	3,60

Aqua Genetics

É junção das empresas que comandaram nos últimos anos o segmento de alevinagem e melhoramento genético de peixe no Brasil, que se tornam oficialmente as marcas de genética de tilápia Aquabel e AquaAmerica. A empresa possui operações em 7 estados e administra 9 fazendas. É a maior distribuidora de alevinos e juvenis do Brasil, com participação de mercado estimada em 25% (SEAFOODBRASIL, 2020).

Tilabras

Considerada uma das maiores empresas de piscicultura do Brasil na produção e processamento de tilápia em Selvíria (MS). No momento, a empresa está apenas engordando o peixe para fornecimento *in natura* no mercado nacional de frigoríficos. A produção totaliza 4 mil t/ano (Oliveira, 2019).

GeneSeas

Fundada no ano de 2001, a empresa é 100% brasileira, estando situada nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, presentes em todos os elos da cadeia produtiva da tilápia, desde a produção de ração, passando pela piscicultura, beneficiamento e distribuição nos mercados locais e internacionais (GENESEAS, 2021).

Copacol

Cooperativa Agroindustrial Consolata foi fundada por religiosos e migrantes em 23 de outubro de 1963, sediada em Cafelândia, oeste do Paraná. Pioneira na piscicultura, com o crescimento e grandes investimentos, em 2008 tornou-se capacitada para abater o maior volume de peixes da América do Sul, 180 mil tilápia/dia, funcionando com duas unidades industriais de peixes em Nova Aurora e Toledo. A cooperativa possui as mais importantes certificações de qualidade exigidas na indústria, colocando seus produtos no mercado nacional e internacional (Europa e Ásia), o que permite um faturamento de 5,6 bilhões. Atualmente a empresa trabalha com produção, processamento e comercialização, os produtos de venda são filé, posta, e petiscos de tilápia congelados (COPACOL, 2021).

C. Vale

É originária da fundação da Cooperativa Mista de Palotina (Campal) em 7 de novembro de 1963, recebendo após várias mudanças, a razão social C. Vale em 21 de novembro de 2003. Atua no Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul e Paraguai em larga escala na produção de grãos, mandioca, avicultura e, em 2017 inaugurou um abatedouro de peixes, com capacidade de processar 150 mil tilápia/dia. A cooperativa fechou 2020 com 23.294 associados, que entregaram 4,43 milhões de t de produtos entregues, com faturamento superior a R\$ 12 bilhões, a empresa trabalha com produção, processamento e comercialização, os principais produtos de venda são filé, posta e petiscos de tilápia congelados (C. VALE, 2021).

Núcleo de Pesquisa PeixeGen

O Núcleo de Pesquisa PeixeGen do departamento de Zootecnia da UEM foi criado no dia 14 de fevereiro de 1997, conta hoje com o Centro de Piscicultura, localizado no Distrito de Floriano-Maringá, laboratórios de Biologia Molecular - UEM e área de cultivo em tanques-redes localizada no Rio do Corvo (reservatório de Rosana) no município de Diamante do Norte-PR, coordenado pelos Prof. Dr. Ricardo Pereira Ribeiro e Prof. Dr. Carlos Antônio Lopes de Oliveira (Pereira et al., 2012). O núcleo, em 2021, produzirá a 14ª geração de tilápia melhorada da linhagem Tilamax possibilitando a disseminação de material genético de qualidade superior através da venda de matrizes, a longo prazo.

Devido a demanda e comercialização, a proteína de peixe tem ganhado cada vez mais espaço na mesa do consumidor, principalmente pela riqueza de nutrientes que a carne possui: presença de ácidos graxos essenciais como ômega-3 eicosapentaenoico (EPA) e docosaexaenoico (DHA). Esses ácidos graxos, desempenham funções significativas para o corpo humano, reduzindo o risco de doenças

cardiovasculares e problemas circulatórios, além de ser ótimo para o funcionamento cerebral (Sartori et al., 2012; De Oliveira, 2018). Desta forma, houve um maior estímulo para o consumo de peixes, principalmente relacionado à carne da tilápia e subprodutos, como farinha de peixe, gelatina, colágeno e carne mecanicamente separada (CMS), sendo estes próprios para o consumo humano, agregando valor e destaque ao peixe (Jamás, 2012).

SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE TILÁPIA

O material mais usado dos subprodutos do pescado é constituído de aparas, carne escura, peixes sem tamanho padrão, cabeças e carcaças, que podem ser aproveitados em até 70% na elaboração de produtos para consumo humano (Godoy et al., 2010 Souza et al., 2017), na alimentação animal (USA, 2012), uso como produto farmacológico na medicina e aplicações nas indústrias da moda (Franco, 2009; Alves et al., 2015).

As indústrias reaproveitam os subprodutos de abate para elaboração de inovações alimentícias secundárias, que venham suprir novos nichos de mercado, minimizando desperdícios e alavancando a linha de produtos primários diante do apelo de sustentabilidade e responsabilidade ambiental (Honma et al., 2020). O melhoramento genético vem permitindo, com o passar das gerações, melhor aproveitamento dos produtos nobres extraídos do pescado, contudo, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) alerta que ainda é elevada a porcentagem de subprodutos originados do processamento agroindustrial, que devem ser destinados corretamente para minimizar impactos e otimizar o aproveitamento de alimentos (FAO, 2013).

CMS e Farinha de peixe

O pescado possui alto valor nutricional, contudo o seu consumo ainda é baixo comparado às outras carnes, como as de bovinos, aves e suínos. Buscando uma forma de aumentar o consumo e promover maior aproveitamento dessa matéria-prima é importante buscar, por meio de tecnologias de processamento, a elaboração de produtos que favoreçam o consumidor no seu dia a dia, como as farinhas, os patês, salsichas, hambúrgueres e demais produtos (Amaral et al., 2017).

A tilápia é uma das espécies de peixe mais comercializada na forma de filé, apresentando rendimento de 35 a 40% do peso total (Vidal et al., 2011; Fitzsimmons et al., 2011). O restante da matéria prima do peixe como as escamas, peles, vísceras, cabeças e carcaças acabam sendo desperdiçados e a utilização desses resíduos, é uma maneira de reduzir os impactos negativos gerados ao meio ambiente, além de estimular indiretamente o consumo do pescado, através dos subprodutos, como farinhas, concentrados proteicos, entre outros (Vidal et al., 2011; Pires et al., 2014).

Portanto, uma das formas de se aproveitar essa matéria prima é através da extração do CMS, que consiste no processo de separação mecânica da carne que fica aderida entre ossos, vísceras, pele e escamas, facilitando assim o processo de fabricação de diversos subprodutos (Costa et al., 2018).

A farinha de peixe é feita a partir de subprodutos lavados e sanitizados, que passam por pressão, adicionada de antioxidantes (60 minutos, *antioxidant butylated hydroxytoluene* – BHT), lavagem para remoção de cor indesejada por presença de resíduos de sangue, prensa hidráulica (retirada de umidade), moedor de carne, estufa para desidratar até atingir o teor de umidade máximo permitido de 12% (Brasil, 1997), pô fim a farinha recebe homogeneização de partículas sendo armazenada à vácuo sob refrigeração.

Diferentes espécies são utilizadas na elaboração de farinhas de peixe para consumo humano, nas tilápia são aproveitados principalmente aparas, CMS, espinhaço e cabeça (Godoy et al., 2010). A inclusão de farinhas de peixe na alimentação humana vem sendo bastante estudada na última década, visto que a utilização de subprodutos da indústria do pescado, seja uma forma sustentável de aproveitar material de alto valor biológico, que vem substituir a produção de materiais sintéticos para serem empregados como suplementos proteicos, aminoácidos e minerais (Delgado-Vidal et al., 2013). Segundo Franco et al. (2013) em elaboração de biscoitos com inclusão de farinha de tilápia, relataram mais de 14% na diminuição dos carboidratos com a inclusão da farinha. Ainda, encontraram valores de até 17,71% de proteína bruta nos biscoitos.

Na alimentação humana, a farinha de tilápia e o CMS podem ser inseridos em diferentes produtos, como por exemplo na produção de Alfajor, empanados, almôndegas e alguns tipos de embutidos, massas de pizzas e macarrão (Oliveira et al., 2011; Goes et al., 2016; Kimura et al., 2017; Verdi et al., 2020).

A farinha de peixes também é bastante utilizada para enriquecer alimentos com lipídeos (acrécimo de 6%) e minerais (Delgado-Vidal et al., 2013), esses produtos, geralmente possuem um apelo sensorial, devido ao sabor e odor atrativos, sendo imperceptível a adição da farinha de peixe, o que torna os alimentos mais nutritivos sem alterações na aceitação do consumidor. Foram encontrados relatos de até 30% de inclusão de farinha de peixe em palitos de cebola, sem que os provadores observassem diferença significativa pela presença da farinha (Coradini et al., 2015), qualidade biológica e sensorial igualmente relatada em biscoitos salgados (Ibrahim, 2009) e doces (De Cesaro et al., 2021).

Uma outra forma de utilização dos subprodutos da tilápia é a produção de patês, como no trabalho realizado por Mattiucci et al. (2019; 2021). Os autores desenvolveram patês, com a adição dos óleos essenciais de orégano e a adição da técnica de defumação (Mattiucci et al., 2019; 2021).

Gelatina

O aproveitamento da pele residual de abate de peixes é frequentemente utilizado na produção de gelatina. Contudo, a estrutura frágil das fibras de colágeno requer o processamento adequado para preservar suas propriedades. As principais formas de conservação envolvem desidratação ou

congelamento, a fim de evitar o processo autolítico (FIB, 2011; Sila et al., 2015). A gelatina extraída de peixes pode substituir a gelatina de mamíferos, ser utilizada como ingrediente funcional em alimentos devido suas qualidades emulsificante, utilizada como espessante e geleificante, além de apresentar aplicação na indústria de cosméticos por sua ação estabilizadora e formadora de filme (Sila et al., 2015). A gelatina obtida de peixes é classificada como hidrocolóide termoreversível, oferece vantagens exclusivas sobre os agentes gelificantes à base de carboidratos (Boran et al., 2010; FIB, 2011).

Colágeno

A utilização de colágeno extraído de peixe é uma excelente alternativa, pois possui uma alta aplicabilidade nas indústrias cosméticas, farmacêuticas e alimentícias. Sua aplicação vai depender de vários fatores, como por exemplo o tipo de colágeno extraído e da forma de extração, como por exemplo a extração ácida, básica e enzimática (Silva et al., 2012; Krishnamoorthi et al., 2017).

Alguns trabalhos foram desenvolvidos em relação a utilização biotecnológica do colágeno extraído dos resíduos de peixes, como por exemplo o colágeno extraído das escamas que apresenta aplicação em fertilizantes nitrogenados para plantas, além de possuir atividade antioxidante podendo ser aplicado na colite ulcerativa (Azuma et al., 2014; Bhagwat et al., 2016; Pal et al., 2017). Já os trabalhos realizados com a extração do colágeno da pele são destinados para produção de biofilmes, regeneração tecidual, anti-hipertensivo e antioxidante (Choonpichard et al., 2015; Cai et al., 2015; Chandika et al., 2015; Tang et al., 2015).

O colágeno é dividido em mais de 20 tipos, com genealogia diferente, sendo os encontrados com maior frequência na derme os tipos I, II, III, IV e V. O tipo I de colágeno é o mais comum nos peixes, organizado em fibras espessas, que designa ao tecido resistência às forças de tensão. Este tipo de colágeno encontra-se na estrutura de tendões, cartilagens e ossos (Barascuk et al., 2011; Coudroy et al., 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido às características zootécnicas da tilápia, como o seu curto ciclo de produção, rápido desenvolvimento corporal, precocidade sexual e fácil adaptabilidade em diferentes meios de cultivo, os investimentos em melhoramento genético de tilápias poderão apresentar resultados positivos no curto prazo, como redução no período de cultivo, maior rendimento de filé e menor custo de produção. Fazendo com que se torne um produto viável economicamente, possibilitando ao consumidor ter acesso a uma proteína animal de alta qualidade, igualmente competitiva às demais proteínas disponíveis no mercado, permitindo aumento na demanda, na oferta de produtos e possibilitando o fortalecimento de todos os elos da cadeia da tilapicultura. Para empreendimentos piscícolas, recomenda-se investir em programas de

melhoramento genético ou aquisição de tilápias geneticamente superiores, oferecendo preços e produtos acessíveis ao consumidor final. Mais pesquisas relacionando o melhoramento genético e o rendimento da matéria prima, seja nobre ou subprodutos, são necessárias a fim de otimizar a produção de tilápias diante do cenário mundial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves GFO (2020). Lisina para tilápia-do-Nilo: efeito de duas estratégias de formulação e respostas de duas gerações de um programa de melhoramento genético. Escola de Veterinária Universidade Federal de Minas Gerais (Tese), Minas Gerais. 86p.
- Alves APNN et al. (2015). Avaliação microscópica, estudo histoquímico e análise de propriedades tensiométricas da pele de tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Queimaduras*, 14(3):203-210.
- Amaral MT et al. (2017). Aplicação de tecnologias tradicionais no beneficiamento do pescado na região do Baixo Amazonas, Estado do Pará. *Revista GEINTEC - Gestão, Inovação e Tecnologias*, 7(1): 3708-3721.
- ANIMAL BUSINESS. Tilápia: o segundo peixes mais consumido no mundo. Disponível em: <<https://animalbusiness.com.br/producao-animal/criacao-animal/tilapia-o-segundo-peixe-mais-consumido-do-mundo/>>. Acesso em: 14/05/2021.
- Azuma K et al. (2014). Effects of fish scale collagen peptide on an experimental ulcerative colitis mouse model. *Pharma Nutrition*, 2: 161-168.
- Barascuk N et al. (2011). Development and validation of an enzyme-linked immunosorbent assay for the quantification of a specific MMP-9 mediated degradation fragment of type III collagen--A novel biomarker of atherosclerotic plaque remodeling. *Clin. Biochem.*, 44(10-11): 900-906.
- Bhagwat PK et al. (2016). Isolation, characterization and valorizable applications of fish scale collagen in food and agriculture industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 7: 234- 240.
- Boran G et al. (2010). Fish gelatin. *Advances in food and nutrition research*, 60: 119-143.
- Brasil (1997). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem animal – RIISPOA. Brasília: MAPA/Regulamento. 166p.
- Brasil (2007). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Produção de tilápia: mercado, espécie, biologia e recria. Brasília: MAPA/Circular Técnica. 12p.
- Brasil (2013). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Melhoramento genético aplicado em gado de corte: programa Geneplus. Brasília: EMBRAPA. 256p.
- Brasil (2015). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Gerenciamento genético da tilápia nos cultivos comerciais. Brasília: EMBRAPA. 68p.

- Brasil (2020a). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Caracterização da cadeia produtiva da tilápia nos principais polos de produção do Brasil. Brasília: EMBRAPA. 49p.
- Brasil (2020b). Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Exportação de tilápia no ano de 2020. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br>>. Acesso em: 13/05/2021.
- Brasil (2021). Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário Brasileiro da Piscicultura PeixeBR 2021. São Paulo: PeixeBR. 71p.
- C.VALE. História da C. Vale, produtos e serviços. Disponível em: <<https://www.cvale.com.br/>>. Acesso em: 13/05/2021.
- Cai L et al. (2015). The neuroprotective and antioxidant activities of protein hydrolysates from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6): 3750-3755.
- Chandika P et al. (2015). Fish collagen/alginate/chitooligosaccharides integrated scaffold for skin tissue regeneration application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81: 504-513.
- COPACOL. Cooperativa Agroindustrial Consolata. Copacol e produtos. Disponível em: <<http://www.copacol.com.br/>>. Acesso em: 13/05/2121.
- Coradini MF et al. (2015). Quality evaluation of onion biscuits with aromatized fishmeal from the carcasses of the Nile tilapia. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41: 719-728.
- Costa WM et al. (2018). Inovando o artesanato com escamas de peixes: tingimento natural e marca. *Ambiente: Gestão e Desenvolvimento*, 11(01): 85-102.
- Coudroy R et al. (2015). Use of type III procollagen measurement as predictor of lung fibroproliferation in ARDS: early measurement for earlier antifibroproliferative therapy?. *Intensive Care Med*. 41(6): 159-60.
- De Araújo FCT et al. (2019). Importância do melhoramento genético na cadeia produtiva da tilapicultura: economizar nos alevinos é uma boa decisão?. *Aquaculture Brasil*. Nov/Dez. ed. 21.
- De Cesaro E et al. (2021). Evaluation of cookies with inclusion of different levels of barred sorubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*) flour. *Brazilian Journal of Development*, 7(5): 47223-47238.
- De Oliveira JP et al. (2018). Omega-3 effects in patients with Alzheimer's disease. *Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento*, 12(76 S2): 1078-1087.
- Delgado-Vidal FK et al. (2013). Elaboración de galletas enriquecidas con barrilete negro (*Euthynnus lineatus*): caracterización química, instrumental y sensorial. *Universidad y ciencia*, 29(3): 287-300.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Roma: FAO. 69p.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013). Food wastage footprint: impacts on natural resources. Roma: FAO. 63p.
- FIB. Food Ingredients Brazilian (2011). A gelatina e seus benefícios para a saúde humana, Brasil: FIB. 10p.

- Filho JDS et al. (2010). A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(1): 112-118.
- Fitzsimmons K et al. (2011). Why tilapia is becoming the most important food fish on the planet. In *Proceedings of the ninth International Symposium in Tilapia in Aquaculture*, 8p.
- Franco MLRS et al. (2009). Aproveitamento de carcaças de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Revista Aquicultura & Pesca*, 39: 52-58.
- Franco MLRS et al. (2013). Elaboración de cookies y galletas con inclusión de harina de pescado. *Info. pesca Internacional*, 53: 30-33.
- GENESEAS. Quem somos e produtos. Disponível em: <<https://geneseas.com.br/>>. Acesso em: 01/05/2021.
- Godoy LC et al. (2010). Análise sensorial de caldos e canjas elaborados com farinha de carcaças de peixe defumadas: aplicação na merenda escolar. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 30(1): 86-89.
- Goes ESR et al. (2016). Inclusion of dehydrated mixture made of salmon and tilapia carcass in spinach cakes. *Acta Scientiarum Technology*, 38(2): 241-246.
- Honma JM et al. (2020). Aproveitamento de resíduo de abatedouro de pescado para o desenvolvimento de patê pastoso. *Brazilian Journal of Development*, 6(5): 25234-25243.
- Ibrahim NA et al. (2013). Relative performance of two Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) strains in Egypt: the Abbassa selection line and the Kafr El Sheikh commercial strain. *Aquaculture Research*, 44: 508-517.
- Ibrahim NA et al. (2019). Assessment of the impact of dissemination of genetically improved Abbassa Nile tilapia strain (GIANT-G9) versus commercial strains in some Egyptian governorates. *Aquaculture Research*, 50(10): 2951-2959.
- Ibrahim SM (2009). Evaluation of production and quality of salt-biscuits supplemented with fish protein concentrate. *World J. Dairy & Food Sci.* 4: 28-31.
- Jamas E (2012). Valor agregado aos resíduos do processamento de tilápia: aspectos tecnológicos, químicos e microestruturais. Centro de Aquicultura da Unesp Universidade Estadual Paulista (Tese), São Paulo. 48p.
- Kimura KS et al. (2017) Nutritional, microbiological and sensorial characteristics of alfajor prepared with dehydrated mixture of salmon and tilapia. *Acta Scientiarum Technology*, 39(1): 111-117.
- Krishnamoorthi J et al. (2017). Isolation and partial characterization of collagen from outer skin of *Sepia pharaonis* (Ehrenberg, 1831) from Puducherry coast. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10: 39-45.
- Marçal DCP (2017). Duração do teste de desempenho para avaliação genética em tilápia (*Oreochromis sp.*). Departamento de Zootecnia Universidade Federal de Lavras (Dissertação), Lavras 48p.


- Mattiucci MA et al. (2021). Aproveitamento de resíduos de filé de tilápia no patê com adição de óleo essencial de orégano. *Research, Society and Development*, 10(2): 1-9.
- Mattiucci MA et al. (2019). Patês elaborados a partir de resíduos do beneficiamento de tilápia com e sem defumação. *Revista de Iniciação Científica Cesumar*, 21(2): 163-173.
- Mitra J (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80(6): 758-763.
- Oliveira CAL. et al. (2012). Melhoramento genético de peixes: uma realidade para a piscicultura brasileira. *Panorama da Aquicultura*, 22:38-47.
- Oliveira MC et al. (2011). Características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais de “almôndegas” à base de polpa de tilápia (*Oreochromis niloticus*). *UNOPAR Cient. Ciênc. Biol. Saúde*, 14(1): 37-44.
- Pal GK et al. (2017). Comparative assessment of physico-chemical characteristics and fibril formation capacity of thermostable carp scales collagen. *Materials Science and Engineering*, 70: 32-40.
- Pires, DR et al. (2014). Aproveitamento do resíduo comestível do pescado: Aplicação e viabilidade. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 9(5):34-46.
- Ribeiro RP et al. (2012). Tilápia-do-Nilo têm programa de melhoramento genético em curso. *Visão Agrícola*, 11: 61-64.
- Sartori AGO et al. (2012). Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 19(2): 83-93.
- SEAFOODBRASIL. Aquicultura: piscicultura Aquabel passará a se chamar Aqua Genetics do Brasil. Disponível em: <<https://www.seafoodbrasil.com.br/piscicultura-aquabel-passara-a-se-chamar-aquagenetics-do-brasil>>. Acesso em: 11/04/2021.
- Sila A et al. (2015). Recovery, viscoelastic and functional properties of Barbel skin gelatine: Investigation of anti-DPP-IV and anti-prolyl endopeptidase activities of generated gelatine polypeptides. *Food Chemistry*, 168: 478-486.
- Silva GF (2016). Programas de melhoramento genético na piscicultura conceitos e aplicações. Departamento de Zootecnia Universidade Federal do Paraná (Monografia), Curitiba. 89p.
- Silva TF et al. (2012). Colágeno: características químicas e propriedades funcionais. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 71: 530-539.
- Sonoda DY et al. (2012). Demand for fisheries products in Brazil. *Scientia Agricola*, 65(5): 313-319.
- Souza MLR et al. (2017). Inclusion of protein concentrates from marine and freshwater fish processing residues in cereal bars. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 6(2): 1-4.
- Tang L et al. (2015). Physicochemical properties and film-forming ability of fish skin collagen extracted from different freshwater species. *Process Biochemistry*, 50(1): 148-155.

- TILABRAS. História. Disponível em: <<https://tilabras.com.br/pt/historia/>>. Acesso em: 05/04/2021.
- Trewawas E (1982). Genetic groupings of tilapiini used in aquaculture. *Aquaculture*, Amsterdam, 27: 79-81.
- USA. Code of Federal Regulations 2012. Animal and Animal Products. Washington, Government Printing Office. 308p.
- Verdi R et al. (2020). Inclusion of dehydrated mix of tilapia and salmon in pizzas. *Food Science and Technology*, 40(4): 794-799.
- Vidal JMA et al. (2011). Concentrado proteico de resíduos da filetagem de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização físico-química e aceitação sensorial. *Revista Ciências Agronômica*, 42: 92-99.


A dinâmica do resíduo de ractopamina na produção de suínos: farinha de carne e ossos, tecidos e urina


Recebido em: 15/05/2021

Aceito em: 19/05/2021

 10.46420/9786588319697cap4


Vivian Feddern^{1*} 


Vanessa Gressler² 

Carolina Naves Aroeira^{3,8} 

Osmar Antonio Dalla Costa⁴

Carmen Josefina Contreras-Castillo⁵ 

Jane de Oliveira Peixoto⁶ 

Mônica Corrêa Ledur⁷ 

INTRODUÇÃO

A demanda por proteínas de origem animal para o consumo humano está aumentando globalmente a uma taxa sem precedentes devido ao aumento populacional, e em alguns países, em virtude do aumento do poder aquisitivo dos consumidores. Além disso, os alimentos considerados saudáveis estão na preferência da maioria dos consumidores. No que se refere à carne, o nutriente que vem sendo considerado como um vilão desta categoria, são os lipídios. Portanto, melhorias na saúde animal, genética e tecnologias nutricionais, especialmente como a utilização de agonistas β -adrenérgicos em dietas, têm se tornado importante para auxiliar o sistema produtivo a atender a essa crescente e seletiva demanda de carne com baixo conteúdo de gordura (Almeida et al., 2012). O cloridrato de ractopamina (RAC) é convencionalmente usado na produção de suínos e bovinos de corte (com exceção do Brasil), sendo um aditivo capaz de redirecionar os nutrientes, atuando como um agente repartidor de energia, resultando em uma maior produção de tecidos musculares e uma redução no teor de gordura da carne (Almeida et al., 2012; Ferreira et al., 2013; Niño et al., 2017).

A RAC também é convencionalmente utilizada na produção de suínos por melhorar a eficiência alimentar (Hagenmaier et al., 2017), ou seja, é necessária a utilização de uma menor quantidade de ração para produzir 1 kg de carne. Considerando que a ração contribui por volta de 80% do custo de produção de suínos, tecnologias que propiciam a sua diminuição tem sido cada vez mais procuradas, e tendo um papel relevante na cadeia de produção. Além disso, por ser necessário menor quantidade de alimento para

^{1,2,4,6,7} Embrapa Suínos e Aves, BR 153, km 110, 89715-899 Concórdia/SC, Brasil.

^{3,5} Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Cx. Postal 9, 13418-900 Piracicaba/SP, Brasil.

⁸ AgroProx Ltda, Av. Limeira, Areião, 13414-018, Piracicaba/SP, Brasil.

* Autora correspondente: vivian.feddern@embrapa.br

contribuir com o ganho de peso animal, isso faz com que a demanda por ração, água, mão de obra, tempo e geração de dejetos diminuam.

De acordo com Ross et al. (2011), a RAC traz outros benefícios ambientais, como a redução da pegada de carbono. Seu estudo demonstrou que a suplementação com RAC contribuiu para que a excreção de nitrogênio reduzisse em 5%, quando comparado ao grupo controle. Do mesmo modo, houve um aumento na deposição de proteína de 162 g/dia para 185 g/dia, enquanto a deposição de gordura diminuiu de 620 g/dia para 462 g/dia. Além disso, ao utilizar 10 mg/kg de RAC na ração, a ingestão diária de água foi reduzida em 1 L e a excreção em 0,7 L, o que significa redução dos requerimentos de água para suínos na fase de terminação. Devido a seus benefícios, segundo Cromwell (2009), o uso de RAC foi classificado no século passado como a 13ª tecnologia de maior sucesso na nutrição suína.

Através de simulações técnico-econômicas da inclusão de RAC em dietas de suínos em terminação, Brumatti e Kiefer (2010) ao avaliarem o sistema de receita por bonificação e por peso vivo utilizando de 0 a 20 mg/kg de RAC na ração, observaram que o lucro máximo (diferencial de até R\$ 11,15/cabeça) foi obtido com a inclusão de 12 mg/kg de RAC, enquanto o menor lucro, sem adição de RAC, foi de R\$ 43,01/cabeça.

Analisando a dieta dos suínos, os grãos de cereais e o farelo de soja respondem por aproximadamente 70% dos ingredientes da ração na maioria dos países (Fávero et al., 2003). As oscilações no custo da soja têm incentivado produtores e indústrias a substituir parcialmente essa fonte de proteína por farinha de carne e ossos (FCO). Esses subprodutos são produzidos em usinas de processamento ou fábrica de farinhas a preços competitivos e, sua utilização minimiza os impactos ambientais ao oferecer um destino correto (reciclagem) a estes resíduos gerados nos frigoríficos.

A FCO é considerada um importante subproduto da cadeia de suínos e aves, sendo composta por majoritariamente órgãos dos animais abatidos, possuindo um grande valor nutricional. Devido ao seu conteúdo de aminoácidos, minerais (cálcio e fósforo) e vitamina B₁₂ (Jayathilakan et al., 2012; NRC, 2012), a FCO é utilizada para compor dietas como fonte proteica em substituição parcial à farinha de soja, sendo superior aos ingredientes vegetais. Este emprego da FCO diminui o custo de produção animal e aumenta a competitividade do Brasil frente aos demais países produtores de carne. Além disso, a FCO é consumida por diferentes espécies animais (suínos, aves, cavalos, peixes e animais domésticos) em diversos países (Johnson et al., 2011), os quais possuem sua forma particular de produção desta farinha. De acordo com Li et al. (2018), a FCO proveniente de suínos é muito utilizada nos Estados Unidos. Karakas et al. (2001) também relataram a importância desta farinha na alimentação de monogástricos, como as aves e os suínos.

No entanto, a FCO obtida a partir do abate de suínos pode conter concentrações indesejáveis de resíduo de RAC. Considerando que aproximadamente 20% dos suínos (partes não aproveitadas pelos frigoríficos) são direcionados para a produção de FCO, informações sobre a quantidade de resíduos de

RAC presentes nestas farinhas podem se tornar motivo de preocupação, uma vez que não se tem o controle sobre os resíduos de RAC presentes nos mesmos. Desta forma, ao se utilizar a FCO como ingrediente na dieta dos suínos, tem-se o risco de a mesma conter resíduos de RAC, e assim, no balanço total da dieta do animal, a dosagem de RAC pode ultrapassar o limite máximo permitido por normativas nacionais e internacionais.

Mas por que existe essa preocupação em relação à RAC? Apesar dos benefícios citados previamente, existem estudos que indicam que a RAC tem implicações toxicológicas e farmacológicas, e por isso, a União Europeia (EU), China e Rússia, países com forte atuação na comercialização de carnes e produtos cárneos, proibiram seu uso como aditivo na ração animal e impuseram programas de rastreabilidade a fim de obter maior controle sobre o produto final e o mercado. Dependendo da espécie animal, em geral, o uso da RAC é permitido em países como Estados Unidos, Canadá, México e Coréia do Sul, enquanto é banido ou restringido em 160 países (Pacelle, 2014; Valesse et al., 2016; Liu et al., 2020).

Em países que permitem sua utilização, a mesma é regulamentada. No Brasil, a RAC pode ser adicionada à ração de suínos apenas na fase de terminação (últimos 28 dias antes do abate) na concentração de 5 a 20 mg/kg para melhorar a eficiência alimentar (Ungemach, 2004; Brasil, 2015). Os níveis e a presença de resíduos de medicamentos veterinários em alimentos de origem animal são legislados em diferentes países e a maioria deles segue as diretrizes do *Codex Alimentarius*. Com relação à RAC, uma ingestão diária aceitável (ADI) de 0-1 g/kg de peso corporal foi estabelecida e o limite máximo de resíduos (LMR) foi recomendado (JECFA, 2014). Para tecidos de bovinos e suínos (90 µg/kg em rim; 40 µg/kg em fígado; e 10 µg/kg em músculo e gordura), porém, o Brasil não autoriza seu uso em bovinos.

Como a UE e a China respondem por volta de 70% da produção mundial de suínos e têm política de tolerância zero para resíduos de RAC (Alemanno e Capodiecì, 2012; ABPA 2020), esta política vêm afetando as exportações brasileiras de carne e produtos cárneos. Esta divisão legalizada de acordo com as normas de cada país ou blocos, tem colocado a RAC como um potencial objeto de disputas comerciais. De acordo com Alemanno e Capodiecì (2012), a RAC deve se tornar não apenas uma fonte de preocupação pública, mas também o gatilho de uma disputa comercial transatlântica sem fim. Recentemente, o mercado canadense de exportação de carne suína sofreu proibições da Rússia, e a exportação de carne suína do país foi prejudicada devido aos resíduos de RAC, resultando em perda de receita de cerca de US\$ 260 milhões, conforme relatado por Sullivan (2013).

Existem produtos e/ou estratégias alimentares possíveis de serem aplicadas na alimentação de suínos que produzem alguns resultados como os promovidos pelo fornecimento de RAC em suas dietas. Porém, não existe nenhuma informação na literatura nacional e internacional de um substituto com as mesmas características da RAC, principalmente, no que diz respeito em manter a mesma eficiência de utilização da proteína na dieta para o crescimento muscular.

Desta forma, o objetivo deste capítulo é abordar a dinâmica do resíduo de RAC na produção de suínos, contemplando desde a análise de estudos de resíduos de RAC em FCO usada na ração, por meio da varredura realizada em indústrias, até resíduos de RAC em tecidos (lombo, fígado, rim e pulmão) e urina de leitões tratadas com ração contendo quantidade conhecida de RAC, que obtiveram um percentual crescente de FCO na composição da ração, conforme esquematizado na Figura 1, e suas implicações perante as legislações vigentes.

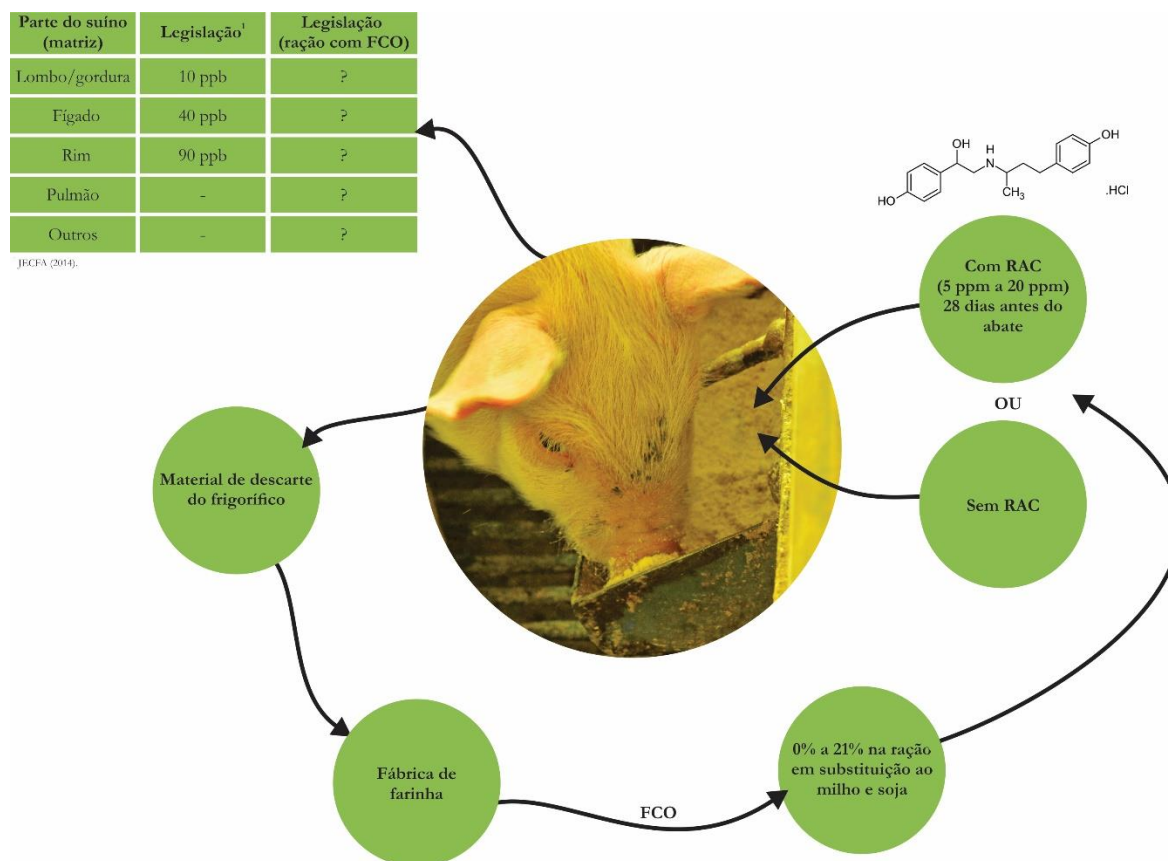


Figura 1. A dinâmica do resíduo de ractopamina na produção de suínos. Fonte: Os autores, com design gráfico de Vivian Fracasso.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedimentos de extração de RAC em farinha de carne e ossos, tecidos e urina

a) Farinha de Carne e Ossos: As amostras de FCO foram homogeneizadas e pesadas ($5,00 \pm 0,05$ g) em tubos de polipropileno de 50 mL e 5 mg de protease, 15 mL de tampão Tris (1 M, pH 9.5) e 10 μ g/kg de padrão interno (PI) isoxsuprina foram adicionados. A mistura foi agitada em vórtex por 1 min e digerida *overnight* a 60 °C. Após resfriamento a temperatura ambiente, foram adicionados 3 mL de tampão acetato de amônio (2 M, pH 5,2) e o pH ajustado para 4,5 – 5,0 com HCl 4 M. Após, 100 μ L de β -glucuronidase (~100.000 unidades/mL) foram usados para hidrolisar os conjugados da RAC e liberar

RAC livre em banho maria (2 h a 65 °C). Após resfriamento, as amostras foram ajustadas para pH 12 com NaOH 10 M. A extração e *clean-up* por QuEChERS iniciou pela adição de 10 mL de acetonitrila seguido de agitação em vórtex por 1 min. Após, os sais de QuEChERS (4,0 g de MgSO₄, 1,0 g of NaCl, 1,0 g de citrato de sódio tribásico diidratado e 0,5 g de citrato de sódio dibásico sesquidratado) foram adicionados aos tubos, seguido de agitação (1 min) e centrifugação (1.780 g, 10 min). Uma alíquota de 6 mL do sobrenadante foi transferido para um tubo de centrifugação de 15 mL contendo uma mistura de 900 mg of MgSO₄, 150 mg de PSA e 150 mg of C18E (dSPE) para realização do *clean-up* da amostra. Esta mistura foi agitada por 1 min e centrifugada a 1.780 g por 10 min. O sobrenadante (1 mL) foi transferido para *vial* para posterior análise por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS), segundo Gressler et al. (2016).

b) Tecidos (lombo, fígado, rim e pulmão): Para as amostras de tecidos, o procedimento de extração utilizado foi baseado no aplicado para FCO, tendo como única diferença a quantidade adicionada de tampão Tris (1 M, pH 9.5), que foi de 5 mL (Gressler et al., 2018; Feddern et al., 2018).

c) Urina: As amostras de urina (5 mL) foram homogeneizadas e transferidas para tubo de polipropileno de 50 mL e o PI (isoxsuprina) adicionado (10 µg/L) e o pH ajustado para 4,5 – 5,0 com HCl 4 M. Após, 75 µL de β-glucuronidase (~100.000 unidades/mL) foram usados para hidrólise da RAC em banho maria (2 h, 65 °C). Após resfriamento, as amostras foram ajustadas para pH 7,0 com NaOH 1 M. Para a etapa de extração em fase sólida (SPE) os cartuchos foram ativados com 1 mL de metanol, seguido de 1 mL de água Milli-Q e 1 mL de tampão acetato de amônio (25 mM, pH 6,7). As amostras de urina foram adicionadas ao cartucho seguido de lavagem do cartucho com 1,0 mL de acetonitrila (1% ácido acético), 1 mL de tampão acetato de amônio (50 mM, pH 6,7) e 1 mL de 60% de acetonitrila em água, e aplicação de vácuo por 2 min. A eluição da RAC do cartucho foi realizada com 3 mL de metanol contendo 10% de ácido acético. Após as amostras foram evaporadas em nitrogênio gasoso a 55 °C até *secura*. As amostras foram ressuspensas em 500 µL de metanol e 500 µL de água para posterior análise por LC-MS/MS (Gressler et al., 2018).

Análise de RAC por LC-MS/MS

Para a separação cromatográfica, foi utilizado o cromatógrafo líquido Thermo Surveyor Plus equipado com degaseificador. A separação cromatográfica foi realizada com a coluna Kinetex C18 100A (10 mm x 4,6 mm, 5 µm, Phenomenex) com coluna guarda C18 (Phenomenex). Os solventes de eluição utilizados foram (A) metanol com 0,1% de ácido fórmico e (B) água com 0,1% de ácido fórmico com fluxo de 1 mL/min e bombeados para a coluna conforme programa descrito na **Tabela 1**. A temperatura da coluna foi mantida a 30 °C e o volume de injeção foi de 10 µL.

Tabela 1. Gradiente de eluição da fase móvel. Fonte: Os autores.

Tempo (min)	Fase móvel A (%)	Fase móvel B (%)
0,0	15	85
0,5	15	85
3,0	100	0
7,0	100	0
7,5	15	85
10,0	15	85
0,0	15	85

Para detecção dos analitos, o espectrômetro de massas triplo quadrupolo Quantum Access Max (Thermo Scientific) foi utilizado, com ionização por electrospray (ESI) no modo positivo e monitorado por MRM (multiple reaction monitoring). Os íons de identificação monitorados foram m/z 302,2 > 284,2 (9 eV), m/z 302,2 > 164,2 (12 eV) e m/z 302,2 > 107,2 (30 eV) para RAC (sendo o íon m/z 164,2 o selecionado também para quantificação) e os íons m/z 302,1 > 284,1 (9 eV) e m/z 302,1 > 150,1 (21 eV) para isoxsuprina (com o íon m/z 150,1 também selecionado para quantificação). Gás nitrogênio foi utilizado como bainha de gás e gás auxiliar a pressões de 45 e 20 psi, respectivamente. A voltagem do spray aplicada foi de 4,5 kV e as temperaturas de vaporização e do capilar foram de 300 e 305 °C, respectivamente. O gás de colisão utilizado foi argônio a 1,7 m Torr.

Devido à complexidade das matrizes, as curvas de calibração foram realizadas em suas respectivas amostras branco. As curvas de calibração para RAC foram construídas em concentrações de 0 a 250 µg/kg para FCO e tecidos e de 0 a 75 µg/L para urina. As amostras foram fortificadas com quantidades apropriadas de padrão de RAC e adicionadas quantidades de 10 µg/kg (ou 10 µg/L, para urina) de isoxsuprina (PI). As curvas de calibração plotadas foram a razão entre a área do pico de RAC/área do pico do PI versus concentração de RAC. O critério de aceitação foi o coeficiente de determinação (R^2) maior que 0,98. Limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ) foram determinados através da razão sinal-ruído de maior que 3 para o LD e maior que 10 para LQ. Para FCO obteve-se um LD de 1,91 µg/kg e um LQ de 6,36 µg/kg. Para fígado, rim e pulmão, os LD e LQ encontrados foram de 0,5 e 2,5 µg/kg, respectivamente. Para lombo, obteve-se um LD de 0,15 µg/kg e um LQ de 0,5 µg/kg. Já para a urina, o LD encontrado foi de 0,5 µg/L e o LQ de 1,5 µg/L.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parte 1) Resultados nas farinhas de carne e ossos

No Oeste Catarinense, região com alta relevância de produção de FCO oriundas de suínos, foi realizado um estudo publicado por Feddern et al. (2017), onde foram quantificados resíduos de RAC em diferentes fábricas de produção destes subprodutos, totalizando 27 amostras. Os resultados desse estudo mostraram que todas as amostras de FCO analisadas apresentaram resíduos de RAC, conforme observado na Figura 2, porém a concentração variou de 3,87 a 81,25 µg/kg. Estima-se também que a concentração de resíduos de RAC em FCO pode ser ainda superior ao encontrado, devido à variação da composição da matéria-prima.

Encontrar resíduos de RAC em FCO era esperado, visto que a RAC possui estrutura química relativamente estável, inclusive termicamente, portanto ela não se degrada completamente nos processos de cozimento utilizados na fabricação de FCO. A confirmação da presença de RAC em FCO instigou a investigação *in vivo* a fim de avaliar se esta quantidade de RAC seria passível de ser transferida a algum tecido dos suínos após consumo de ração contendo FCO “contaminada” com RAC. Como o Brasil exporta para diferentes mercados, é imperativo a garantia da elegibilidade de seus produtos frente aos países importadores de acordo com a legislação vigente no que concerne ao uso deste aditivo que é o mais utilizado na cadeia suinícola na atualidade.

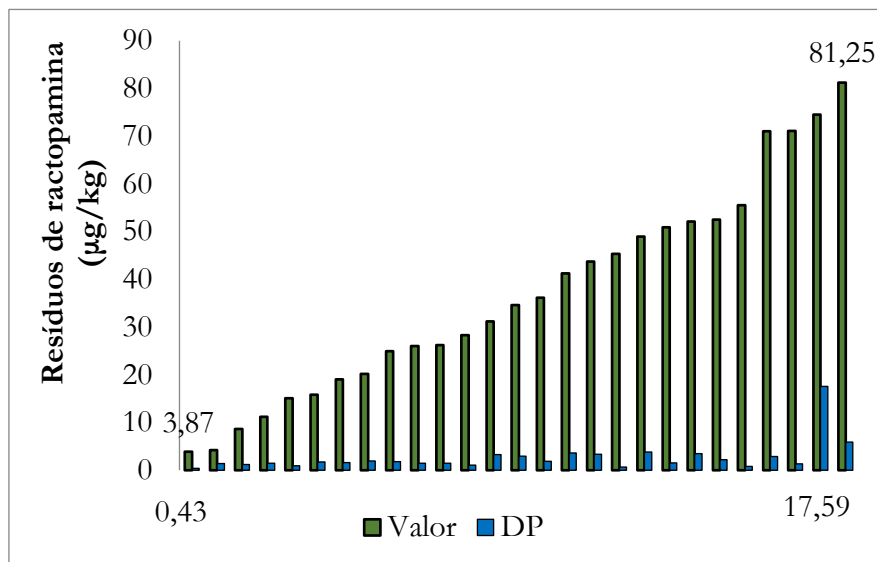


Figura 2. Resultados do monitoramento de 27 amostras quanto aos resíduos de RAC em FCO. Fonte: Feddern et al. (2017).

Parte 2) Resultados da varredura de RAC em lombos de suínos

O monitoramento de resíduos de RAC em lombo (*longissimus dorsi*) faz parte do Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC) do Governo Federal brasileiro, porém poucas amostras

são coletadas anualmente para este fim. O Sul do Brasil é o maior produtor de carne suína e desta forma, uma avaliação de resíduos de RAC em lombo foi realizada através da coleta aleatória de 48 amostras proveniente de agroindústrias no Norte do Rio Grande do Sul e Oeste de Santa Catarina. A Figura 3 mostra os resultados de resíduos de RAC nos lombos coletados. A concentração mais alta verificada foi de 7,86 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Dentre as amostras analisadas, 10 apresentaram valores abaixo do LD; portanto, a Figura 3 mostra apenas os 38 resultados quantificáveis. Considerando que o Brasil segue a legislação do *Codex Alimentarius* que adota limites máximos de resíduos (LMR) de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para esta matriz, como todas as amostras de lombo analisadas apresentaram resultados abaixo deste limite, as mesmas estão de acordo com a legislação e podem ser consideradas seguras para consumo humano.

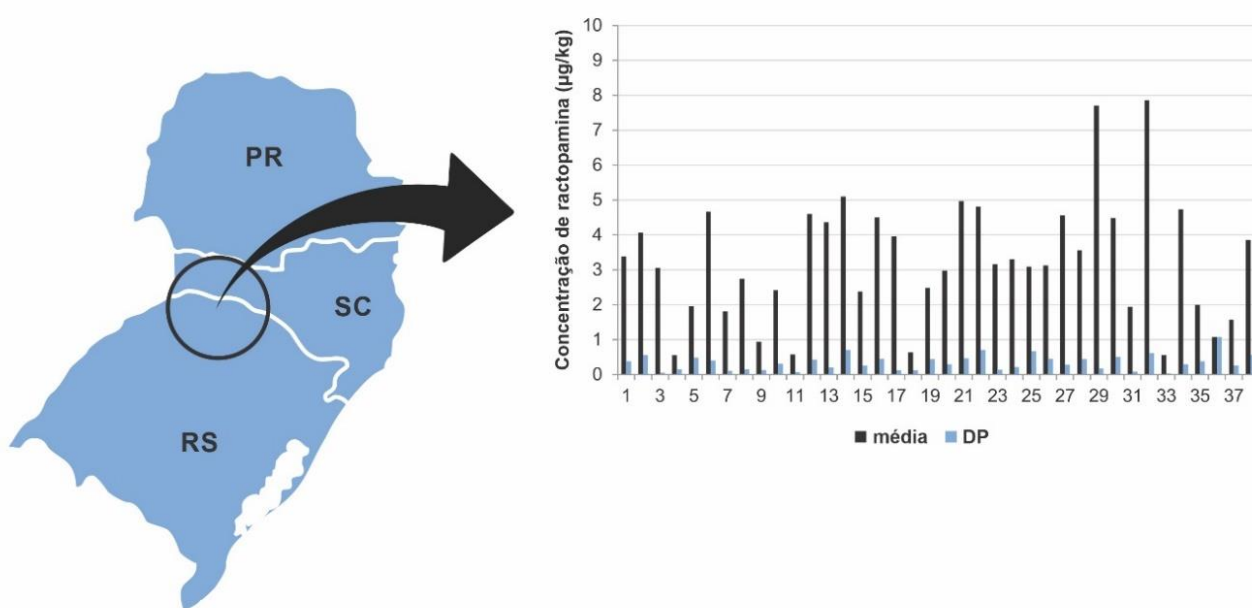
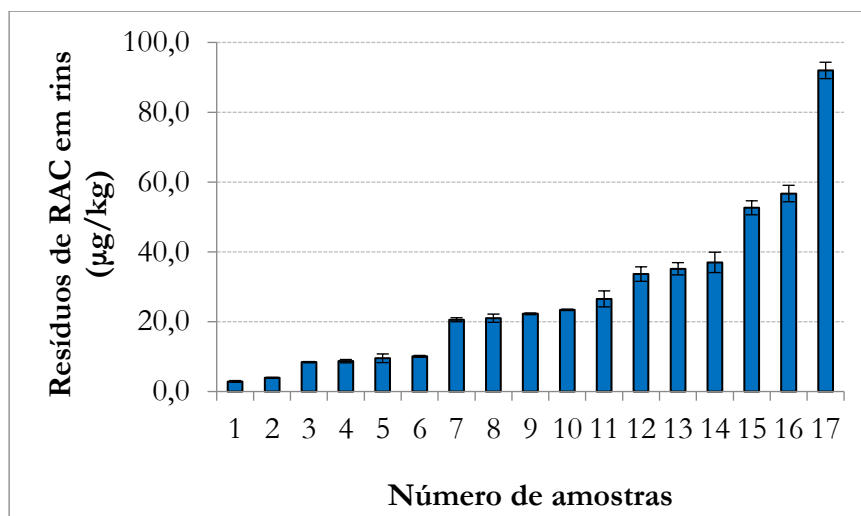


Figura 3. Concentração de RAC em lombos suínos de várias agroindústrias. LD = 0,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Fonte: Adaptado de Gressler et al. (2018), com design gráfico de Marina Schmitt.

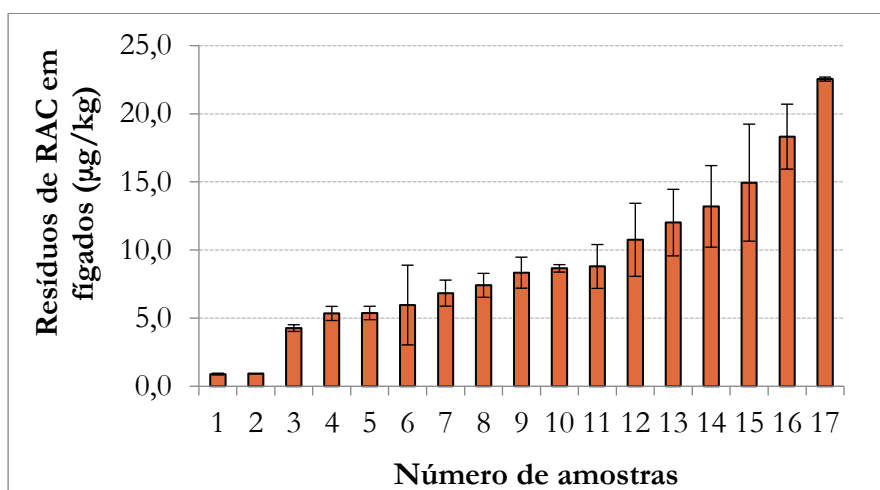
Parte 3) Resultados da varredura de RAC em tecidos de suínos

Da mesma forma que em lombos, amostras de rins, fígados e pulmões de suínos ($n = 17$, cada) coletados aleatoriamente de agroindústrias foram analisadas a fim de se conhecer o perfil de resíduos de RAC. A Figura 4 a, b, c mostra a concentração média de resíduos de RAC encontrados, respectivamente, em rins, fígados e pulmões.

a)



b)



c)

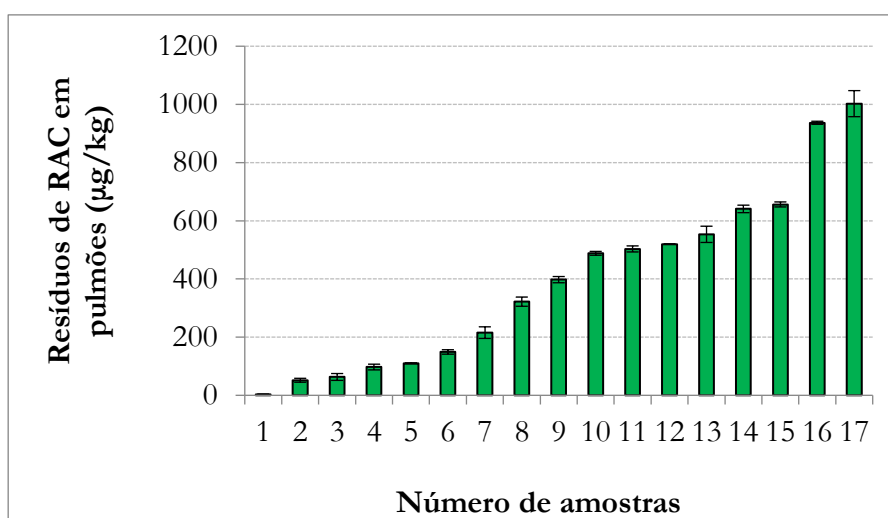


Figura 4. Concentrações de RAC em rins (a), fígados (b) e pulmões (c). LD = 0,5 µg/kg para rins e fígados e 1,0 µg/kg para pulmão; LQ = 2,5 µg/kg para todos os tecidos. Fonte: Os autores.

Conforme pode ser observado, os valores $\mu\text{g}/\text{kg} \pm \text{DP}$ (Desvio Padrão) variaram de $2,9 \pm 0,2$ a 92 ± 2 para rins, $0,9 \pm 0,1$ a $22,5 \pm 0,1$ para fígados e para pulmões de $<\text{LQ}$ a 1.003 ± 45 . Em relação a estes, os resultados encontrados para rins e fígados estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação nacional e internacional, que preconiza LMR de RAC de 90 e 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectivamente. Contudo, observa-se que uma das amostras de rim teve resultado no limite máximo permitido, porém ao se considerar seu DP, a mesma fica dentro do LMR.

Comparando estes tecidos, os pulmões foram aqueles que apresentaram as maiores concentrações de RAC. Apesar desta alta concentração, não há restrições estabelecidas pelo *Codex Alimentarius* quanto ao LMR desse aditivo para os pulmões. Contudo, estudos são necessários para auxiliar órgãos regulamentadores a estipularem o LMR nos pulmões, uma vez que os mesmos são comercializados, por exemplo, na China (Oh e See, 2012), podendo ser prejudiciais aos consumidores se resíduos de RAC estiverem presentes em altas concentrações. Segundo Alemanno e Capodici (2012), países como China e Taiwan com tolerância zero em relação à resíduos de RAC em produtos cárneos, consomem mais órgãos internos do que os consumidores americanos e europeus.

Dong et al. (2011) analisaram uma maior variedade de tecidos, e ao adicionarem 20 mg/kg de RAC na ração de suínos por 30 dias consecutivos observaram que as maiores concentrações foram encontradas em 0,5 dias de retirada, na seguinte ordem decrescente: pulmão (599 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > rim (144,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > intestino delgado (76,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > intestino grosso (61,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > fígado (50,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > estômago (49,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > coração (15,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > músculo (7,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$). No entanto, aos 5 dias de período de retirada, todos os níveis caíram para valores dentro da legislação, e portanto os autores recomendaram que fosse estabelecido 5 dias de período de retirada da RAC antes do abate. Neste estudo, realizado na China, foram encontradas concentrações bastante altas comparadas com os limites existentes para outras matrizes, com destaque para os pulmões, que devido à falta de legislação, apresenta risco, conforme comentado.

Esta alta quantificação de RAC encontrada nos pulmões pode ser devido ao alto número de receptores β -agonistas presentes nestes órgãos (Antignac et al., 2002), o que contribui para a maior deposição de RAC devido à interação molécula/receptor. Além disso, o comportamento do suíno que usa o focinho para explorar o ambiente, procurando, cheirando, mastigando, pode ter possibilitado a inalação de partículas de RAC da ração (Vaarst et al., 2004). O pulmão, em específico, tem sido um dos órgãos foco de interesse quando se deseja analisar a presença ou ausência de RAC como forma de monitoramento.

Parte 4) Resultados em tecidos e urina de leitões alimentados com FCO contendo RAC

Apesar dos resultados mostrarem que os lombos, fígado e rins de suínos obtiveram resultados de resíduo de RAC dentro do permitido pela legislação vigente (parte 2 e 3), a comprovação de que a

alimentação oferecida a estes animais possuía ou não FCO em sua composição é um desafio. Além disso, as altas concentrações de RAC em pulmão (tecido comumente destinado à fabricação de FCO) levou a pesquisas avaliando a presença de resíduos de RAC em tecidos (lombo, fígado, rins e pulmões) e de urina de leitoas após serem alimentadas com ração contendo diferentes percentuais de FCO com resíduo conhecido de RAC.

Experimento fornecendo 4 diferentes níveis de inclusão (0, 7, 14 e 21%) de FCO (contendo 53,5 µg/kg de RAC) na dieta de 40 leitoas por 112 dias (dos 63 aos 175 dias), em que a FCO substituiu o percentual de farelo de soja, foi realizado por Aroeira et al. (2019). As amostras de lombo, fígado, rim e pulmões de cada animal foram coletados na linha de abate e analisadas quanto à concentração residual de RAC. Os resultados mostraram concentrações abaixo do LQ do método utilizado (LQ de 0,5, 2,5, 2,5 e 2,5 µg/kg para lombo, fígado, rim e pulmão, respectivamente). Portanto, a inclusão de FCO na dieta, mesmo sendo administrada por um período mais longo, não acarretou em uma deposição significativa de RAC nos tecidos avaliados.

Neste estudo, também foi avaliada a concentração de RAC na urina destas leitoas ao longo do experimento (dias 0, 28, 56, 84 e 112) e os resultados estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Resíduos de ractopamina (µg/L)* em urina de leitoas alimentadas com concentrações crescentes de FCO na ração. Fonte: Os autores.

Dia de coleta	Tratamento			
	0% FCO	7% FCO	14% FCO	21% FCO
0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
28	< LQ	0,75 ± 0,05	0,83 ± 0,04	1,35 ± 0,08
56	< LQ	< LQ	0,54 ± 0,11	0,58 ± 0,06
84	< LQ	< LQ	< LQ	0,62 ± 0,08
112	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

* Valores são médias ± DP de três repetições. LQ = limite de quantificação = 0,5 µg/L; FCO = farinha de carne e ossos, adicionada à dieta de leitoas.

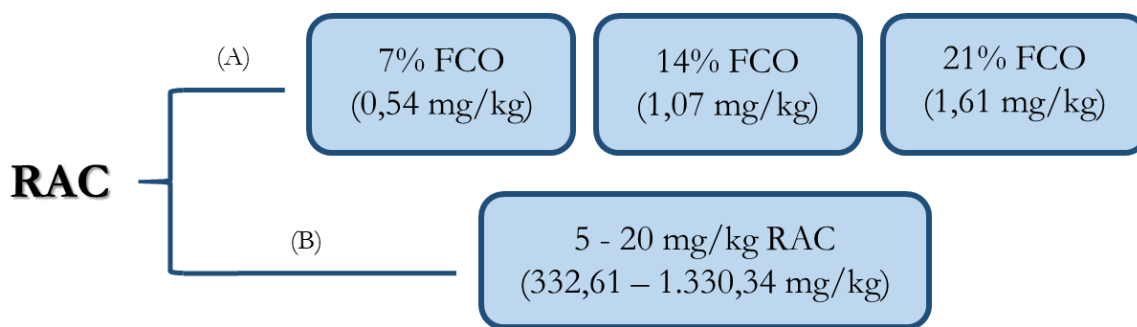
Conforme mostram os resultados da Tabela 2, foi detectado no máximo 1,35 µg/L de RAC na urina de leitoas no tratamento com maior nível de inclusão de FCO (21%), concentração residual esta considerada baixa, comparada com a literatura (Qiang et al., 2007; Thompson et al., 2008). Niño et al. (2017) afirmaram que se concentrações menores que 1 µg/L são detectadas na urina, a probabilidade é de que no lombo deste animal não seja quantificado resíduos de RAC.

É importante ressaltar que no estudo de Aroeira et al. (2019), a RAC foi veiculada exclusivamente via FCO durante as fases de criação dos suínos desde a 9ª semana até o dia do abate (63 + 112 dias), e não

via adição do produto comercial à ração, nos 28 dias que antecedem o abate, possibilitando, com isso, que houvesse maior tempo de deposição de resíduos do que em outros trabalhos relatados na literatura como o de Qiang et al. (2007).

Neste experimento, a FCO foi um subproduto proveniente da produção de suínos que receberam o nível máximo de 20 mg/kg de RAC, conforme preconizado pela legislação brasileira. A utilização de uma quantidade de 53,5 µg/kg de RAC na FCO para este experimento, foi devido ao valor médio encontrado das FCO que são comercializadas, e em nível experimental houve uma substituição de até 21% de FCO na ração animal, a fim de analisar a utilização de uma alta concentração de FCO para simular o que tem sido praticado rotineiramente na produção de suínos, e verificar se a RAC se acumula nos tecidos e urina por ser fornecida em maiores quantidades, por um maior tempo. Assim, de acordo com os resultados observados na Tabela 2, embora a varredura de 27 amostras de farinhas coletadas em diferentes indústrias (Figura 2) tenha mostrado uma grande variação de RAC, concentrações em torno de 50 µg/kg de RAC são comumente encontradas em FCO (Gressler et al., 2016; Feddern et al., 2017), o que torna seguro a utilização deste subproduto na alimentação animal quanto aos resíduos de RAC para mercados não restritivos, ou seja, onde a RAC é permitida.

Ainda no experimento realizado por Aroeira et al. (2019), foi calculada uma estimativa do consumo de RAC por cada animal comparando-se o consumo via FCO contendo RAC (53,5 µg/kg), com inclusão de 7, 14 e 21% e consumo de RAC via comercial (forma sintética), a qual é adicionada na ração em dose que legalmente pode variar de 5 a 20 mg/kg (Esquema 1). Conforme observado, mesmo na maior inclusão de FCO na dieta (21%), ao longo da vida do animal, há um consumo estimado total de 1,61 mg/kg de RAC, valor muito abaixo do que aquele estimado pelo consumo da RAC comercial. Apesar de parecer alto o valor estimado de 1330,34 mg/kg de RAC é importante salientar que é considerado seguro, uma vez que vários estudos já asseguram este nível de dosagem na fase de terminação (20 mg/kg). Conforme comentado, e observado nos experimentos aqui destacados, a RAC não se acumula ao longo da vida do animal, sendo metabolizada e eliminada, com isso, não há risco de deposição acentuada em tecidos comestíveis, uma vez que as dosagens recomendadas sejam respeitadas.



(A) na FCO adicionada à ração das fases de crescimento e terminação
 (B) na ração (últimos 28 dias antes do abate)

Esquema 1. Consumo estimado de RAC por animal analisado via FCO (com inclusão de 7, 14 e 21%) contendo RAC, e via o fornecimento de RAC de uso comercial. Fonte: Adaptado de Aroeira et al. (2019).

CONCLUSÕES

O uso da RAC na alimentação de suínos e bovinos como repartidor de energia é motivo de controvérsias e imposição de barreiras comerciais no mundo. O Brasil, sendo um dos principais produtores de carne suína, atende demandas tanto para os mercados restritivos quanto para os não restritivos, portanto necessita de um controle aprimorado de sua utilização.

Desta forma, o desenvolvimento de métodos eficientes de detecção de RAC em diferentes matérias-primas, bem como sua aplicabilidade para diferentes amostras é de extrema relevância para fins de controle oficial na verificação da conformidade com os limites regulatórios. Além disso, este controle é imprescindível dentro das empresas, que buscam ingredientes livres desse aditivo e precisam garantir suas exportações para mercados que restringem o uso de RAC. Assim, a existência de metodologias de análises sensíveis, precisas, rápidas e simples, como as demonstradas neste capítulo, por QuEChERS-LC-MS/MS e SPE-LC-MS/MS, facilitam a fiscalização por parte dos órgãos oficiais desse resíduo na produção de suínos e na saúde humana.

Considerando que, em se tratando de RAC, existem apenas LMR estabelecidos para músculo/gordura, fígado e rim, e que concentrações consideravelmente mais altas foram encontradas em pulmões, é de se questionar a necessidade de definição de um LMR para esta matriz, visto que, uma vez detectado RAC nos pulmões, tem-se um forte indício de que aquela granja/sistema utilizou este aditivo na ração ou que houve uma contaminação cruzada, e desta forma, não se deve direcionar os produtos cárneos contendo qualquer traço de RAC para mercados restritivos, evitando assim, embargos e constrangimentos internacionais.

Por outro lado, os estudos utilizando FCO contendo resíduos de RAC (53,5 µg/kg) na alimentação de suínos (até 21%) mostrou não ser um fator de risco para a produção de carnes destinados a mercados não restritivos, pois as amostras de lombo, fígado rim e pulmão destes animais não apresentaram

concentrações quantificáveis de RAC. Nesse sentido, esses tecidos podem ser considerados seguros para os consumidores. Além disso, poucos resíduos foram eliminados pela urina (máximo 1,35 µg/L). Com estes resultados, a FCO, que é um subproduto de alto valor nutricional e baixo custo, passa a apresentar mais um fator favorável para sua utilização, tornando-se viável e atrativa para a produção de suínos. No entanto, para mercados que não aceitam o uso de RAC, essas farinhas não devem ser adicionadas à dieta, pois um controle extremamente rigoroso deve ocorrer para atender aos parâmetros solicitados.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório Federal de Defesa Animal - LFDA/RS, Seção Laboratorial Avançada SLAV, de São José/SC, pelo auxílio nas determinações cromatográficas. À FAPEG, pelo apoio financeiro na publicação do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA. (2020). Relatório Anual. Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em: <<http://abpa-br.org/relatorios/>>. Acesso em: 31/08/2020.
- Alemanno A et al. (2012). Testing the limits of global food governance: The case of ractopamine. *Eur J Risk Regul.* 3: 400–407.
- Almeida VVD et al. (2012). Ractopamine as a metabolic modifier feed additive for finishing pigs: a review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55(3): 445–456.
- Antignac JP et al. (2002). Identification of ractopamine residues in tissue and urine samples at ultra-trace level using liquid chromatography–positive electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B.* 774: 59–66.
- Aroeira CN et al. (2019). Determination of ractopamine residue in tissues and urine from pig fed meat and bone meal. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(3): 424–433.
- Brumatti RC et al. (2010). Simulação técnico-econômica da inclusão de ractopamina em dietas de suínos em terminação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62(1): 163–171.
- Brasil (2015). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Tabela de Aditivos Antimicrobianos, Anticoccidianos e Agonistas com uso Autorizado na Alimentação Animal. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/aditivos>. Acesso em 16/05/2021.
- Cromwell GL (2009). ASAS centennial paper: landmark discoveries in swine nutrition in the past century. *Journal of Animal Science*, 87(2): 778–792.


- Dong Y et al. (2011). Validation of an ultraperformance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for determination of ractopamine: Application to residue depletion study in swine. *Food Chemistry*, 127: 327–332.
- Fávero JA et al. (2003). *Sistema de Produção*, 1, Sistema de Produção de Suínos, Nutrição. ISSN 1678-8850. Versão Eletrônica Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/nutricao.html>. Acesso em: 16/05/2021.
- Feddern V et al. (2017). A farinha de carne e ossos com resíduos de ractopamina pode ser utilizada com segurança na alimentação de suínos?. *Embrapa Suínos e Aves-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*. ISSN: 0100-8862. Concórdia/SC, Brazil.
- Feddern V et al. (2018). Ractopamine analysis in pig kidney, liver and lungs: A validation of the method scope extension using QuEChERS as a sample preparation step. *Journal of Chromatography B*, 1091: 79–86.
- Ferreira AS et al. (2013). Ractopamine for pigs: a review about nutritional requirements. *of Basic and Applied Sciences*, 9: 276–285.
- Gressler V et al. (2018). Application of enzyme digestion and deconjugation followed by Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry methodology to determine ractopamine residue in pork. 2018. *Journal of Food Protection*, 81(8): 1258–1263.
- Gressler V et al. (2016). Development of a readily applied method to quantify ractopamine residue in meat and bone meal by QuEChERS-LC–MS/MS. *Journal of Chromatography B*, 1015–1016: 192–200.
- Hagenmaier JA et al. (2017). Effects of ractopamine hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and physiological response to different handling techniques. *Journal of Animal Science*, 95: 1977–1992.
- JECFA (2014). Residue evaluation of certain veterinary drugs. 78th Meeting 2013, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. FAO/WHO, Rome, Italy.
- Johnson CJ et al. (2011). Meat and bone meal and mineral feed additives may increase the risk of oral prion disease transmission. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 74(2-4): 161–166.
- Jayathilakan K et al. (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry, and fish processing industries: a review. *Journal of food science and technology*, 49(3): 278–293.
- Karakas P et al. (2001). Nutritive value of the meat and bone meals from cattle or pigs in broiler diets. *Poult Science*, 80: 1180–1189.
- Li MH et al. (2018). Evaluation of porcine meat and bone meal in diets for pond-raised hybrid catfish. *North American Journal of Aquaculture*, 80(1): 69–73.

- Liu J et al. (2020). Ultramarine blue nanoparticles as a label for immunochromatographic on-site determination of ractopamine. *Microchimica Acta*, 187: 1–8.
- Niño AM et al. (2017). The challenges of ractopamine use in meat production for export to European Union and Russia. *Food Control*, 72: 289–292.
- NRC (2012). National Research Council. Nutrient requirements of swine. 11 Revised ed. Washington, D.C. 20418 USA: National Academic Press.
- Oh SH, See MT (2012). Pork preference for consumers in China, Japan and South Korea. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 25(1): 143.
- Pacelle W (2014). Banned in 160 Nations, why is ractopamine in U.S. Pork?. In *Livescience*.
- Qiang Z et al. (2007). Residue depletion of ractopamine and its metabolites in swine tissues, urine, and serum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 4319–4326.
- Ross KA et al. (2011). The impact of ractopamine hydrochloride on growth and metabolism, with special consideration of its role on nitrogen balance and water utilization in pork production. *Journal of Animal Science*, 89(7): 2243–2256.
- Sullivan K (2013). Trade stops here! how trade barriers undermine Canada’s international competitiveness. In *London Swine Conference*, 1183 (201.2): 70.
- Thompson CS et al. (2008). Effective monitoring for ractopamine residues in samples of animal origin by SPR biosensor and mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 608: 217–225.
- Ungemach FR (2004). WHO food additives series: 53. Ractopamine (addendum). *IPCS Inchem*, 1: 1-46.
- Vaarst M et al. (2004). *Animal Health and Welfare in Organic Agriculture*, 1st ed., CABI, Wallingford.
- Valese AC et al. (2016). A QuEChERS/LC–MS method for the analysis of ractopamine in pork. *Journal of Food Composition and Analysis*, 47: 38–44.

Mitigação de contaminantes em alimentos

Recebido em: 19/05/2021

Aceito em: 26/05/2021

 10.46420/9786588319697cap5

Taiana Denardi de Souza¹ 

Wesclen Vilar Nogueira^{2*} 

INTRODUÇÃO

Os alimentos apresentam uma composição complexa de nutrientes que, são úteis para o metabolismo orgânico e indispensáveis para o crescimento, desenvolvimento e manutenção das funções básicas e vitais dos organismos vivos. No entanto, os alimentos também podem ser uma fonte de contaminantes com potencial tóxico. Desta forma, à presença excessiva de substâncias tóxicas podem representar riscos sanitários e de biosseguridade relativos à saúde pública.

Normalmente, tais contaminantes, podem ser substâncias não adicionadas aos alimentos, mas sintetizadas devido condições inadequadas adotadas durante as diferentes etapas da cadeia produtiva (e.g. campo, pós-colheita, transporte, processamento e armazenamento) (Jardim et al., 2009). Nessas etapas, alguns contaminantes podem sofrer modificações estruturais, bem como alterações nas quantidades e nos tipos dos grupos funcionais originalmente presentes nas moléculas precursoras, tornando-os mais tóxicos. Desta forma, o conhecimento das características químicas dos grupos funcionais de cada contaminante é primordial, pois o conhecimento da conformação estrutural de tais contaminantes é extremamente importante para o entendimento do processo de contaminação, bem como para a tomada de decisão para mitigar e remediar os efeitos da contaminação (Davidson et al., 2017).

A redução ou formação de contaminantes pelo processamento dos alimentos envolve questões importantes como o tipo e a qualidade matéria-prima utilizadas para elaboração do alimento e as características do produto final. Estratificando tais contaminantes ocorrentes nessas etapas, aqui abordaremos os meios de mitigação de contaminantes, sendo os metais pesados (e.g. arsênio, chumbo, cádmio, estanho, mercúrio), micotoxinas, agrotóxicos, bem como os contaminantes de processamento (e.g. acrilamida, benzopirenos, dioxinas, hidroximetilfurfural, nitrato e nitrito).

¹ Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

² Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

* Autor correspondente: wesclenvilar@gmail.com

REDUÇÃO DE CONTAMINANTES DE ALIMENTOS E BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO

Quando relacionamos a contaminação de alimentos, principalmente por agrotóxicos e micotoxinas, as boas práticas de fabricação são aliadas na redução destes tipos de contaminantes. Elas possibilitam a aplicação de ações de baixo custo que influenciam na segurança alimentar. Por exemplo, a correta lavagem de frutas e verduras, antes do seu consumo promove a remoção de agrotóxicos presentes na superfície dos mesmos, além de reduzir a carga microbiana. A etapa seleção da matéria-prima, com a retirada daquelas que possuem contaminação por microrganismos, também proporcionaria a redução da produção de micotoxinas em diferentes alimentos, como grãos, cereais e frutas.

No entanto, cabe salientar que se tratando de agrotóxicos, os mesmos devem ser aplicados conforme a legislação vigente para cada grupo de compostos. A presença de agrotóxicos que são encontrados na parte interna de alimentos pode ser controlada pela conformidade de aplicação e manejos agrônômicos. Isto resultaria em um consumo seguro, sem possíveis danos à saúde do consumidor para este tipo de contaminante.

REDUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS

Os metais pesados contaminantes de alimentos, normalmente são oriundos de solos contaminados que são conduzidos ao alimento durante as fases de crescimento da planta. Para isso, existem normas a serem seguidas com relação às áreas de plantio, como por exemplo, distantes de resíduos hospitalares ou industriais que possam gerar efluentes com estes tipos de contaminantes.

REDUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR MICOTOXINAS

A melhor maneira de controlar a contaminação por micotoxinas em alimentos é pela adoção de estratégias de intervenção para remediação de fungos produtores deste tipo de contaminante, visto que após a síntese de micotoxinas, os processos que envolvem a descontaminação, sejam químicos, físicos ou biológicos, são de elevado custo e muitas vezes podem afetar as características nutricionais e organolépticas do produto. Como os fungos toxigênicos produtores de toxinas podem contaminar alimentos desde o campo até o produto final, as boas práticas agrícolas, secagem, armazenamento adequado, saneamento e controle químico e biológico são os mais indicados.

Grãos e cereais

Os grãos e cereais são principalmente afetados por fungos dos gêneros *Fusarium*, *Penicillium* e *Aspergillus*, o que poderá resultar na produção de uma grande gama de micotoxinas. Os manejos agrícolas adequados, como aplicação eficiente de fungicidas durante seu crescimento no campo ou modificação

genética das espécies propensas à essa contaminação, atualmente é visto como o mais indicado, embora alguns estudos estejam direcionados a busca por antifúngicos naturais de aplicação no campo.

O trigo é um dos grãos mais estudados no mundo, com relação a sua contaminação por micotoxinas, especialmente por tricotecenos. A seleção e o armazenamento adequado promovem o retardo do crescimento fúngico e conseqüentemente a síntese de micotoxinas. Alguns autores estudaram a utilização de agentes fumigantes, como por exemplo, amônia (Norred et al., 1993), óleos essenciais (Xing et al., 2014), isotiocianato de alila (Quiles et al., 2019), para serem aplicados em silos durante o armazenamento. No processo de moagem do grão de trigo é possível verificar o fracionamento dos tricotecenos, resultando em maior concentração da toxina no farelo e uma concentração inferior com a diminuição da granulometria da farinha (Charmley et al., 1994).

Outros métodos físicos como descasque, polimento, cozimento e extrusão também podem ser eficientes na redução de micotoxinas em grãos e cereais, mas a eficácia destes métodos dependerá da do grau de contaminação, da distribuição e dos métodos de processamento que serão posteriormente utilizados (Trigo-Stockli, 2002).

A irradiação UV e radiação gama tem sido estudadas para conservação de grãos e cereais com efeito microbicida, se utilizada com intensidade e tempo de exposição adequada para este fim, não causando alterações na composição química do alimento. As ondas ultrassônicas também podem ser utilizadas para redução dos níveis de micotoxinas (Lindner, 1996), bem como para a descontaminação microbiana (Andrade et al., 2014).

Produtos à base de cereais

As operações unitárias de processamento de alimentos que envolvem tratamento físico ou químico muitas vezes podem ser eficazes para destruição ou redistribuição das micotoxinas em matrizes alimentares (Visconti et al., 2004). Assim, os microrganismos podem contaminar os pães, bolos, massas alimentícias entre outros, na matéria-prima, durante a elaboração do produto ou até mesmo no seu manuseio pós-processamento (Galanakis et al., 2018).

As principais micotoxinas contaminantes destes produtos são as aflatoxinas e a ocratoxina A. Assim, a busca por alternativas que minimizem essa contaminação se torna importante para garantir a qualidade do produto final e diminuir o risco de produção de toxinas cujo efeito é de difícil previsão (Zao et al., 2010).

O propionato de cálcio é um conservante químico que têm sido amplamente utilizado como aditivo em pães e bolos para prolongar a vida útil, pois possui um amplo espectro preventivo para fungos (Belz et al., 2012). Embora o propionato de cálcio não possa causar toxicidade grave, foram notificados efeitos decorrentes do longo prazo de uso sobre a saúde (Phechkranjang et al., 2017). Com isso, diferentes

estudos são conduzidos na busca de compostos antifúngicos naturais que possam atuar em substituição aos sintéticos atualmente utilizados (Cipolatti et al., 2012; Denardi-Souza et al., 2018; Quiles et al., 2016).

Em outros estudos aplicando a temperatura na redução de micotoxinas, Visconti et al. (2004) determinou desoxinivalenol (DON) em diferentes frações da moagem do trigo contaminado com e no espaguete (feito com o mesmo trigo) antes e depois da cocção, onde foi constatada a redução de DON com o aumento do grau de moagem e cocção do espaguete, havendo repartição de DON entre o espaguete cozido seco e na água da cocção. Samar et al. (2001) verificaram redução de 56% da contaminação de DON pela decomposição térmica quando a massa de pão foi fermentada a 50 °C. Samar et al. (2007) estudaram o efeito de diferentes temperaturas (169, 205 e 243 °C) para a fritura de produtos elaborados com farinha de trigo, verificando redução de 66% de DON a 169 °C. Paccin et al. (2010) demonstraram redução média de DON entre a farinha e seus produtos panificados na ordem de 33% para o pão francês 33% e de 58,5% para o pão de Viena.

Estes relatos mostram que os processos para fabricação de alimentos à base de trigo que apresentam resultados satisfatórios para redução da contaminação inicial são importantes. Em vista disto a Comunidade Européia é a favor do uso de processos de descontaminação física, mas não permite a utilização de processos de descontaminação química, nem a mistura de lotes com o objetivo de diminuir o nível de contaminação abaixo do nível máximo legislado (Pacin et al., 2010; Visconti et al., 2004).

Produtos lácteos e cárneos

A contaminação por micotoxinas deste tipo de produto é oriunda, principalmente, pela contaminação das rações e alimentos que são fornecidas aos animais. Elas são metabolizadas nos organismos e seus metabólitos permanecem nas matérias-primas seja láctea ou carne. Dessa forma, a prevenção da produção de micotoxinas nesses produtos são os cuidados com a alimentação animal, com rações de qualidade e bem armazenadas.

Alguns produtos cárneos curados podem sofrer o ataque fúngico durante seu processamento ou tempo de cura, como o salame, que afetam qualidades sensoriais (Martín et al., 2006). A lavagem das peças para remoção dos bolores que crescem na superfície é o mais indicado, embora estudos atuais estejam direcionados a aplicação de compostos com propriedades antifúngicas na parte externa.

Algumas espécies de fungos toxigênicos, como *Penicillium nordicum*, *Penicillium verrucosum* ou *Aspergillus westerdijkiae* são capazes de se adaptar aos ambientes ricos em NaCl dos produtos cárneos curados a seco (Rodríguez et al., 2014; Schmidt-Heydt et al., 2011; Vipotnik et al., 2017). Estas espécies possuem a capacidade de produzir micotoxinas nos produtos, sendo a ocratoxina A (OTA) a micotoxina mais frequentemente detectada, representando risco de exposição humana e, portanto, uma preocupação de saúde pública (Markov et al., 2013; Pleadin et al., 2015; Rodríguez et al., 2012; Toscani et al., 2007).

Para controlar a incidência de micotoxinas em produtos cárneos, a prevenção do crescimento de fungos toxigênicos é uma questão fundamental (Núñez et al., 2015). Este pode ser eficientemente controlado em vários alimentos com conservantes químicos ou em embalagens de atmosfera modificada. No entanto, alguns estudos consideram esses tratamentos inapropriados para produtos cárneos curados, pois a atividade de fungos benéficos é essencial para suas características sensoriais (Acosta et al., 2009; Bernáldez et al., 2014; Núñez et al., 2015; Rodríguez et al., 2015a, 2015b; Schmidt-Heydt et al., 2011). Portanto, um meio diferente para controlar a contaminação fúngica indesejada em produtos cárneos curados é requerido.

Nos produtos lácteos ocorre a presença, principalmente de aflatoxinas, estas são oriundas da metabolização da Afla B1 no organismo do animal e é excretada no leite, matéria-prima destes produtos (Marimón et al., 2019). Métodos biológicos utilizando *Saccharomyces cerevisiae* são processos fermentativos indicados na literatura como redutores na contaminação por essa micotoxinas, bem como a fermentação por bactérias lácticas que são capazes de reduzir a concentração destas toxinas durante o processamento. Métodos físicos que envolvem a passagem da matéria prima por colunas de absorção, com diferentes materiais absorventes, também são indicados (Scaglioni et al., 2016).

Frutas e legumes

Para frutas e legume a ocorrência de micotoxinas como patulina, ocratoxina e aflatoxinas é proveniente da contaminação fúngica resultante de injúrias na sua superfície ou da degradação ocasionada pelo amadurecimento. As micotoxinas são normalmente encontradas em altas concentrações onde há presença de esporos fúngicos, se difundindo para outras partes sadias do fruto devido sua hidrosolubilidade (Barkai-Golan et al., 2008).

A maçã é a fruta mais frequentemente relatada como contaminada com patulina, embora ela já sido detectada em uvas, cerejas, morangos, pêssegos, ameixas, tomates, bananas, amêndoas, amendoins e avelãs (Moake et al., 2005). Dessa forma, a seleção e separação dos frutos e legumes que apresentem contaminação microbiana dos demais são cruciais para reduzir a contaminação dos produtos derivados destas matérias-primas, como sucos, doces, extratos, entre outros. A aplicação de atmosfera modificada ou filmes comestíveis tem sido estudado para reduzir a contaminação destes alimentos quando consumidos in natura ou minimamente processados.

CONTAMINANTES DE PROCESSAMENTO

Diversos estudos indicam que altas temperaturas podem degradar os ingredientes presentes nos alimentos, provocando a perda de nutrientes ou dando origem a contaminantes não desejáveis e prejudiciais à saúde, os chamados contaminantes neoformados (*Neo-formed contaminants*) (Tabela 1).

Tabela 1. Substâncias presentes nos alimentos com potencial risco à saúde humana.

Contaminante	Fonte de exposição	Referências
Acrilamida	Tubérculos e carne	Ajani et al. (2019)
	Batata	Guo et al. (2019)
	Café	Bagdonaite et al. (2008)
Benzopirenos	Óleo	Chun-Ying et al. (2017)
	Carne	Feng et al. (2005)
Dioxinas	Pescado	Gandhi et al. (2019)
Hidroxiacetilfurfural	Produto de panificação	Yu et al. (2017) e Cao et al. (2018)
Nitrato e nitrito	Pescado	Kalaycıoğlu et al. (2015)

Alguns desses contaminantes passaram a ser abordados, relatados e discutidos na literatura por apresentar alta ocorrência em alimentos. A natureza desses compostos pode ser orgânica ou metálica, sua formação ocorre a partir de diversas fontes no processo de produção, principalmente no processo de degradação térmica (cozimento, tostagem, difusão) de ingredientes, contribuindo para a interação entre ingredientes naturais ou sintéticos do próprio alimento (e.g aminoácidos, proteínas, açúcares, óleos e outros). Desta forma, a população pode estar exposta a esses contaminantes através da dieta. E, como são tóxicos, caso sejam absorvidos, podem exercer efeitos carcinogênicos (Zhivagui et al., 2019), citotóxicos (Osman et al., 2016), neurotóxicos (Arihan et al., 2011), além de afetarem o sistema reprodutivo (Al-Sowayan, 2014).

Assim, tem-se estudado métodos para mitigar o conteúdo desses contaminantes nos alimentos. Os métodos propostos podem ser de origem biológica, química ou física (Dias et al., 2017; Genovese et al., 2019; Passos et al., 2018). Dentre elas podemos citar a redução da disponibilidade de asparagina livre ou açúcares redutores, modificação de ingredientes, além de alteração no tempo de cozimento e temperaturas durante o processo de preparo dos alimentos. Além disso, tem-se usado ingredientes secundários, como ácidos cítrico, aminoácidos e cálcio, pois esses podem interferir na formação desses compostos (Anese et al., 2013).

Vale ressaltar que o uso de métodos preventivos como marinada e ingestão de alimentos ricos em polifenóis, cujas propriedades interferem nos efeitos desses contaminantes, evitando, em última instância, os efeitos postimeiros (Teixeira et al., 2014).

CONCLUSÃO

A presença de contaminantes em uma variedade de alimentos populares tornou-se um dos grandes gargalos da indústria de alimentos. A dificuldade de reduzir os níveis de contaminantes em produtos alimentícios é agravado pelo fato de muitos dos compostos tóxicos serem originados durante o processo que conferem cor, sabor e aroma a um produto final. Entretanto, a redução dos níveis desses contaminantes nos alimentos pode ser alcançada através da modificação e aplicação de processos biológicos, físicos e químicos dentro da cadeia produtiva de alimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta R et al. (2009). Selection of antifungal protein-producing molds from dry-cured meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 135: 39–46.
- Ajani Z et al. (2019). Risk assessment of acrylamide for some commonly eaten fried foods. *Trends in Science & Technology Journal*, 4(1): 149-155.
- Al-Sowayan NS (2014). Effects of acrylamide and children snack food on sex hormones nucleic acid and chromosomes of mature male Wister rats. *World Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2(11): 1425-1434.
- Andrade NJ et al. (2014) Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45: 36-50.
- Anese M et al. (2013). Industrially applicable strategies for mitigating acrylamide, furan, and 5-hydroxymethylfurfural in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(43): 10209-10214.
- Arihan O et al. (2011). Effects of oral acrylamide intake on blood viscosity parameters in rats. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 47(1): 45-52.
- Bagdonaite K et al. (2008). Determination of acrylamide during roasting of coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15): 6081-6086.
- Barkai-Golan R et al. (2008). Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: part 1. *World Mycotoxin Journal*, 1(2): 147-159.
- Belz MCE et al. (2012). The effect of sourdough and calcium propionate on the microbial shelf-life of salt reduced bread. *Applied microbiology and biotechnology*, 96(2): 493-501.
- Bernáldez V et al. (2014). Development of a multiplex qPCR method for simultaneous quantification in dry-cured ham of na antifungal-peptide *Penicillium chrysogenum* strain used as protective culture and aflatoxin-producing moulds. *Food Control*, 36: 257–265.
- Cao L et al. (2018). Production of 5-hydroxymethylfurfural from starch-rich food waste catalyzed by sulfonated biochar. *Bioresource Technology*, 252(1): 76-82.
- Charmley LL et al. (1994). Decontamination of *Fusarium* mycotoxins. Eagen Press, St. Paul MN, 421-435.

- Chun-Ying W et al. (2017). Simultaneous determination of aflatoxin and benzopyrene in hogwash oil using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 863(1): 141-149.
- Cipolatti EP et al. (2012). Application of protein-phenolic based coating on tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Food Science and Technology*, 32(3): 594-598.
- Davidson R et al. (2017). From food defence to food supply chain integrity. *British Food Journal*, 119(1): 52-66.
- Denardi-Souza T et al. (2018). Antifungal effect of phenolic extract of fermented rice bran with *Rhizopus oryzae* and its potential use in loaf bread shelf life extension. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 (13): 5011-5018.
- Dias FFG et al. (2017). Acrylamide mitigation in French fries using native l-asparaginase from *Aspergillus oryzae* CCT 3940. *LWT - Food Science and Technology*, 76(1): 222-229.
- Feng LJ et al. (2005). Determination of benzo[a]pyrene in charcoal grilled meat samples by HPLC with fluorescence detection. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56(1): 581-585.
- Galanakis CM et al. (2018). Control of microbial growth in bakery products fortified with polyphenols recovered from olive mill wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 10: 1-15.
- Gandhi N et al. (2019). Dioxins in Great Lakes fish: Past, present and implications for future monitoring. *Chemosphere*, 222(1): 479-488.
- Genovese J et al. (2019). Important factors to consider for acrylamide mitigation in potato crisps using pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55(1): 18-26.
- Guo K et al. (2019). Non-destructive detection of acrylamide in potato fries with high-power supercontinuum lasers. *Technology and Systems*, 1(1): 1-8.
- Jardim ANO et al. (2009). Chemical dietary exposure and the risks to human health. *Química Nova*, 32(7): 1898-1909.
- Kalaycıoğlu Z et al. (2015). Simultaneous determination of nitrate and nitrite in fish products with improved sensitivity by sample stacking-capillary electrophoresis. *Food Analytical Method*, 9(1): 706-7011.
- Linder W (1996). Decontamination and detoxification of cereals contaminated with mycotoxins.
- Marimón S et al. (2019). Aflatoxin M₁ and B₁ in Colombian milk powder and estimated risk exposure. *Food Additives and Contaminants: Part B*, 12: 97-104.
- Markov K et al. (2013). Natural occurrence of aflatoxin B₁, ochratoxin A and citrinin in Croatian fermented meat products. *Food Control*, 34: 312-317.
- Martín M et al. (2006). Contribution of a selected fungal population to the volatile compounds on dry-cured ham. *International Journal of Food Microbiology*, 110:8-13.

- Moake MM et al. (2005). Comprehensive review of patulin control methods in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1: 8–21.
- Norred WP (1993). Fumonisin-mycotoxins produced by *Fusarium moniliforme*. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A Current Issues*, 38(3): 309-328.
- Núñez F et al. (2015). Selection and evaluation of *Debaryomyces hansenii* isolates as potential bioprotective agents against toxigenic penicillia in dry-fermented sausages. *Food Microbiology*, 46: 114–120.
- Osman MA et al. (2016). Subchronic toxicity of acrylamide in fried rice and preventive effect of grape leaves. *Asian Journal of Biochemistry*, 11(1): 68-81.
- Pacin A et al. (2010). Effect of the Bread making process on wheat flour contaminated by the deoxynivalenol and exposure estimate. *Food Control*, 21: 492–495.
- Passos CP et al. (2018). Pectic polysaccharides as an acrylamide mitigation strategy – competition between reducing sugars and sugar acids. *Food Hydrocolloids*, 81(1): 113-119.
- Phechkrajang CM et al. (2017). Fast and simple method for semiquantitative determination of calcium propionate in bread samples. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(2): 254-259.
- Pleadin J et al. (2015). Survey of aflatoxin B1 and ochratoxin A occurrence in traditional meat products coming from Croatian households and markets. *Food Control*, 52: 71–77.
- Quiles J et al. (2019). Development of an Antifungal and Antimycotoxigenic Device Containing Allyl Isothiocyanate for Silo Fumigation. *Toxins*, 11(3): 137.
- Quiles JM et al. (2016). Occurrence of mycotoxins in refrigerated pizza dough and risk assessment of exposure for the Spanish population. *Food and Chemical Toxicology*, 94: 19-24.
- Rodríguez A et al. (2012). Evaluation of hazard of aflatoxin B1, ochratoxin A and patulin production in dry-cured ham and early detection of producing moulds by qPCR. *Food Control*, 27: 118–126.
- Rodríguez A et al. (2014) The influence of salt (NaCl) on ochratoxin A biosynthetic genes, growth and ochratoxin A production by three strains of *Penicillium nordicum* on a dry-cured ham-based medium. *International Journal of Food Microbiology*, 178: 113–119.
- Rodríguez A et al. (2015a). Effect of selected protective cultures on ochratoxin A accumulation in drycured Iberian ham during its ripening process. *Food Science and Technology (LEB)*, 60: 923–928.
- Rodríguez A et al. (2015b). Relationship between ecophysiological factors, growth and ochratoxin A contamination of drycured sausage based matrices. *International Journal of Food Microbiology*, 194: 71–77.
- Samar MM et al. (2001). Effect of fermentation on naturally occurring deoxynivalenol (DON) I Argentinean bread processing technology. *Food Additives and Contaminants*, 18(11): 1004-1010.

- Samar MM et al. (2007). Deoxynivalenol reduction during the frying process of turnover pie covers. *Food control*, 18: 1295-1299.
- Scaglioni PT et al. (2016). Rice husk as an adsorbent: A new analytical approach to determine aflatoxins in milk. *Talanta (Oxford)*, 152: 423-431.
- Schmidt-Heydt M et al. (2011). The application of transcriptomics to understand the ecological reasons of ochratoxin A biosynthesis by *Penicillium nordicum* on sodium chloridrich dry cured foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22: 39–48.
- Teixeira D et al. (2014). Linhas de orientação sobre contaminantes de alimentos. 1 ed. Lisboa: Programa Nacional para a Promoção da Alimentação Saudável. 14p.
- Toscani T et al. (2007). Determination of ochratoxin A in dry-cured meat products by HPLC-FLD quantitative method. *Journal of Chromatography B*, 855: 242–248.
- Trigo-Stockli DM (2002). Effect of processing on deoxynivalenol and other trichothecenes. *Mycotoxins and food safety*. 181-188p.
- Vipotnik Z et al. (2017). *Aspergillus westerdijkiae* as a major ochratoxin A risk in dry-cured ham based-media. *International Journal of Food Microbiology*, 16: 244–251.
- Visconti A et al. (2004). Reduction of deoxynivalenol during durum wheat processing and spaghetti cooking. *Toxicology Letters*, 153: 181-189.
- Xing F et al. (2014). Growth inhibition and morphological alterations of *Fusarium verticillioides* by Cinnamomun oil and cinnamaldehyde. *Food Control*, 46: 343-350.
- Yu IKM et al. (2017). Catalytic valorization of starch-rich food waste into hydroxymethylfurfural (HMF): Controlling relative kinetics for high productivity. *Bioresource Technology*, 237(1): 222-230.
- Zao Z et al. (2010). Study of the antifungal activity of *Bacillus vallismortis* ZZ185 in vitro and identification of its antifungal components. *Bioresource Technology*, 101(1): 292-297.
- Zhivagui M et al. (2019). Experimental and pan-cancer genome analyses reveal widespread contribution of acrylamide exposure to carcinogenesis in humans. *Genome Research*, 29(4): 521–531.

ÍNDICE REMISSIVO

A

agrotóxicos, 72, 73
 alimentos, 4, 6, 7, 8, 15, 21, 22, 23, 24, 25, 28,
 30, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 42, 43, 44, 48, 49,
 50, 56, 58, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 81
 aproveitamento, 44, 48, 50

B

bebida alcoólica, 6
 bioacessibilidade, 4, 13, 22, 29, 31, 32, 33, 34,
 35, 36, 37
 bioatividade, 22, 24, 30
 biodisponibilidade, 13, 22, 29, 30, 31, 32
 Brasil, 3, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 21, 30, 32, 35,
 36, 37, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 51, 52, 53, 54,
 56, 57, 58, 62, 63, 68, 69

C

cadeia produtiva, 44, 45, 46, 52, 72, 78
 cloridrato de ractopamina, 56
 contaminantes de processamento, 72

D

Desoxinivalenol, 9

F

farinha de carne e ossos, 56, 57, 59, 66, 70

I

ingestão diária, 13, 57, 58

L

limite
 de detecção, 61
 de quantificação, 61, 66
 máximo de resíduos, 58

M

melhoramento genético, 4, 42, 43, 44, 46, 48, 50,
 51, 52, 54
 metais pesados, 72, 73
 micotoxinas, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 72, 73,
 74, 75, 76

O

Oreochromis niloticus, 42, 53, 55

P

piscicultura, 43, 46, 47, 54
 processamento de alimentos, 4



 **Wesclen Vilar Nogueira**

Graduado em Engenharia de Pesca pela UNIR. Mestre e doutorando em Engenharia e Ciência de Alimentos pela FURG.



ISBN 978-658831969-7



9

786588

319697

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

