



# LINHAÇA:

Perspectiva de Produção e Usos na  
Alimentação Humana e Animal

João Pedro Velho  
Alessandro Dal'Col Lúcio  
(Organizadores)



# LINHAÇA:

Perspectiva de Produção e Usos na  
Alimentação Humana e Animal

João Pedro Velho  
Alessandro Dal'Col Lúcio  
(Organizadores)

### **Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

### **Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

### **Bibliotecária**

Janaina Ramos

### **Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

### **Imagens da Capa**

Shutterstock

### **Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

### **Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaió – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Gírlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Perspectiva de produção e usos na alimentação humana e animal

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** João Pedro Velho  
Alessandro Dal'Col Lúcio

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P467 Perspectiva de produção e usos na alimentação humana e animal / Organizadores João Pedro Velho, Alessandro Dal'Col Lúcio. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-205-7

DOI 10.22533/at.ed.057212106

1. Alimentação. 2. Linho. 3. Linhaça. 4. Saúde I. Velho, João Pedro (Organizador). II. Lúcio, Alessandro Dal'Col (Organizador). III. Título.

CDD 613.2

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é um alimento de origem vegetal rico em ácidos graxos do tipo ômega-3, com quantidades elevadas de fibras, proteínas e compostos fenólicos. A maior parte da produção de linhaça é destinada às indústrias de óleo, além de ser de uso alimentar humano e animal, medicinal, cosmético ou como fibra, principalmente em indústrias têxteis. Considerando as vantagens da utilização do grão de linhaça na alimentação humana, bem como na dieta dos animais domésticos de modo a aumentar a quantidade de alimentos ofertados para alimentação humana com propriedades biofuncionais relatadas nos artigos científicos, e a disponibilidade de recursos físicos no Brasil (áreas agricultáveis), pesquisadores das regiões Sul e Sudeste do Brasil constituíram o grupo de pesquisa denominado “Cadeia Produtiva da Linhaça” <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/592086> em 2020, com três linhas de pesquisa, objetivando estudar a cadeia produtiva da linhaça, estimular a produção e utilizá-la na alimentação humana e animal, de modo que a população humana (sociedade) possa usufruir dos benefícios nutricionais, além da geração de divisas. Este Grupo de Pesquisa é integrado por docentes vinculados à diversas instituições de ensino e pesquisa do Brasil, a saber: Universidade Federal de Santa Maria, Escola Estadual Técnica Celeste Gobbato, Universidade Estadual de Maringá, Universidade do Estado de Santa Catarina, Instituto Federal Farroupilha – Campus de São Vicente do Sul, Universidade Federal de Viçosa, Centro Universitário IDEAU, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Universidade Estadual de Ponta Grossa e Universidade Federal de Santa Catarina.

Durante o ano de 2020, foram realizadas reuniões periódicas por esse Grupo de Pesquisa, para tratar da possibilidade de promover um evento que congregasse especialistas no cultivo do linho e produção da linhaça, bem como na sua utilização na alimentação humana e animal.

Apoiado pelos Programas de Pós-Graduação em Agronomia, em Agronegócios, em Ciência e Tecnologia dos Alimentos e em Agronomia – Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria, e pelas instituições de ensino/pesquisa/extensão Escola Estadual Técnica Celeste Gobbato, Conselho Regional de Desenvolvimento Rio da Várzea - COREDE Rio da Várzea, Universidade Estadual de Maringá, Instituto Federal Farroupilha – Campus de São Vicente do Sul, Universidade do Estado de Santa Catarina, Universidade Federal de Viçosa, Centro Universitário IDEAU – Campus de Getúlio Vargas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Universidade Estadual de Ponta Grossa e Universidade Federal de Santa Catarina, com financiamento pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, foi realizado em março de 2021 o I Workshop Sobre a Cadeia Produtiva da Linhaça. Os objetivos do evento foram compreender e estimular o desenvolvimento da Cadeia Produtiva da Linhaça no Brasil;

discutir os benefícios dos compostos bioativos presentes na linhaça e possibilitar a troca de informações técnico-científicas entre acadêmicos de ensino profissionalizante, de graduação e pós-graduação nas áreas das Ciências Agrárias, Ciências da Saúde e Ciências Sociais Aplicadas, para os profissionais, produtores e aqueles que estão envolvidos com a cadeia produtiva da linhaça.

Assim, os temas apresentados pelos pesquisadores convidados para o evento técnico-científico, juntamente com suas respectivas equipes de pesquisa, foram compilados e organizados para comporem esta obra, que tem o propósito de divulgar as informações nela contidas, contribuindo para o avanço no setor do agronegócio no qual o cultivo e produção da linhaça está inserida.

Alessandro Dal'Col Lúcio  
Diego Nicolau Follmann  
Tatiana Emanuelli  
Volmir Sergio Marchioro  
João Pedro Velho

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### HISTÓRICO, USOS E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA LINHAÇA

Alessandro Dal'Col Lúcio

Diego Nicolau Follmann

Tatiana Emanuelli

Volmir Sergio Marchioro

João Pedro Velho

**DOI 10.22533/at.ed.0572121061**

### **CAPÍTULO 2..... 10**

#### EXPERIÊNCIAS COM O CULTIVO DE LINHAÇA EM SANTA CATARINA: ASPECTOS EDAFOCLIMÁTICOS E GENÉTICOS

Leosane Cristina Bosco

Carla Eloize Carducci

Ana Carolina da Costa Lara Fioreze

Letícia Salvi Kohn

Dislaine Becker

Ana Caroline Basniak Konkol

**DOI 10.22533/at.ed.0572121062**

### **CAPÍTULO 3..... 38**

#### LINHAÇA: COMPOSIÇÃO, COMPOSTOS BIOATIVOS E EFEITOS FISIOLÓGICOS NA SAÚDE HUMANA

Regiane Lopes de Sales

Alexandre Vinco Pimenta

Neuza Maria Brunoro Costa

**DOI 10.22533/at.ed.0572121063**

### **CAPÍTULO 4..... 63**

#### PROPRIEDADES FUNCIONAIS E FISIOLÓGICAS DA LINHAÇA

Rafaela de Carvalho Baptista

Roberto de Paula do Nascimento

Lívia Mateus Reguengo

Cibele Priscila Busch Furlan

Mário Roberto Maróstica Junior

**DOI 10.22533/at.ed.0572121064**

### **CAPÍTULO 5..... 95**

#### UTILIZAÇÃO DA LINHAÇA NA ALIMENTAÇÃO DE VACAS LEITEIRAS: REFLEXOS NA QUALIDADE DO LEITE E NA REPRODUÇÃO

Geraldo Tadeu dos Santos

Karoline de Lima Guimarães Yamana

Rodolpho Martin do Prado

Fabio Seiji dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.0572121065**

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>122</b>
<b>EFEITO DA LINHAÇA SOBRE OS COMPOSTOS BIOATIVOS DO LEITE BOVINO</b>	
Francilaine Eloise de Marchi	
Luciano Soares de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0572121066</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>140</b>

# CAPÍTULO 1

## HISTÓRICO, USOS E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA LINHAÇA

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 10/05/2021

### **Alessandro Dal'Col Lúcio**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Centro de Ciências Rurais, Departamento de  
Fitotecnia  
Santa Maria – RS  
<http://lattes.cnpq.br/0972869223145503>

### **Diego Nicolau Follmann**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Centro de Ciências Rurais, Departamento de  
Fitotecnia  
Santa Maria – RS  
<http://lattes.cnpq.br/0243535910191720>

### **Tatiana Emanuelli**

Universidade Federal de Santa Maria, Centro  
de Ciências Rurais, Departamento de Ciência e  
Tecnologia dos Alimentos  
Santa Maria – RS  
<http://lattes.cnpq.br/2165391096880394>

### **Volmir Sergio Marchioro**

Universidade Federal de Santa Maria, Campus  
de Frederico Westphalen, Departamento de  
Ciências Agronômicas e Ambientais  
Frederico Westphalen – RS  
<http://lattes.cnpq.br/3744130894870798>

### **João Pedro Velho**

Universidade Federal de Santa Maria, Campus  
de Palmeira das Missões, Departamento de  
Zootecnia e Ciências Biológicas  
Palmeira das Missões – RS  
<http://lattes.cnpq.br/2503270783728071>

O linho é uma planta autógama da família Linaceae, Gênero *Linum* L. e espécie *Linum usitatissimum* L. A denominação científica significa linum mais útil e refere-se aos seus múltiplos usos na alimentação humana e animal, medicamentos, tintas e tecidos. Na tradução do grego *Linum* significa fio, linha ou fibra. Atualmente os grãos da cultura do linho são conhecidos como linhaça e um aumento do consumo na alimentação humana é observado devido às qualidades nutricionais do óleo produzido. O cultivo de linho é dividido em cultivo de variedades de linho têxtil, destinado ao uso das fibras para produção de tecidos, e linho oleaginoso, destinado a exploração de óleo e uso dos grãos na alimentação humana e animal.

Sua origem ainda proporciona divergência na literatura. Segundo HARLAN (1971), o linho se desenvolveu no Oriente Próximo, em torno de 7300 AC, de onde migrou para a Grécia, juntamente com outras espécies de plantas domesticadas. A origem geográfica do cultivo do linho ainda é incerta, devido a possíveis amplitudes no tempo e espaço, mas coletas de diversos germoplasmas de linho ainda indicam fortes indícios para as regiões do Oriente Médio e da Europa (FU, 2005). Estudos com evidências filogenéticas indicam que o linho foi domesticado pela primeira vez para obter óleo, sendo depois selecionado para o uso como fibra vegetal (ALLABY et al., 2005)

A introdução do linho no Brasil ocorreu no período colonial, próximo ao ano de 1550, no atual estado de São Paulo. No início do século XVIII, a primeira tentativa de estabelecimento da cultura do linho foi realizada pelos Jesuítas no estado do Rio Grande do Sul, atualmente o maior estado produtor (FLOSS, 1988).

Dentre as múltiplas utilidades da linhaça, seu óleo tem uma característica marcante, apresentando solidificação rápida após sua exposição ao ar, sendo utilizado sozinho ou combinado com outros óleos como impregnante e verniz em acabamento de madeira e usado, também, como importante constituinte de tintas a óleo (BORUGADDA & GOUD, 2012).

A cultura do linho oleaginoso, conhecida popularmente como linhaça, a qual é cultivada no outono e inverno no Brasil, chegou a ocupar o equivalente a 25% da área de trigo do estado do RS na década de 1960, alcançando uma área de cultivo de 50.000 hectares. Já em 1980 a área cultivada com linho reduziu-se a apenas 350 ha, enquanto a área de trigo alcançou 2.000.000 de ha no mesmo ano. Com o objetivo de diversificação de cultura e melhor ocupação de áreas subutilizadas no período de inverno, em 1987 a área de cultivo com linho voltou a crescer, atingindo 16.651 ha com produção média de 811 kg ha<sup>-1</sup> (FLOSS, 1988).

O linho é uma planta anual que atinge uma altura de 40 a 91 cm. O ciclo de vida da cultura, desde a sementeira até a maturidade pode apresentar de 90 a 125 dias, correspondendo a um período vegetativo de 45 a 60 dias, período de floração de 15 a 25 dias e período de maturação de 30 a 40 dias, dependendo das condições ambientais. Fatores como falta de disponibilidade de água, altas temperaturas durante o cultivo e incidência de doenças podem encurtar o período de crescimento e o ciclo de vida da cultura. Normalmente a maturidade será atrasada em condições de cultivo onde a condição climática é mais fria do que o normal, em altitudes mais elevadas, caracterizadas por menor calor. Nessas condições, o ciclo de vida do linho pode ser estendido para mais de 125 dias (FLAX COUNCIL OF CANADA, 2021). Fatores como o uso de variedade, densidade de plantas, fertilidade do solo, temperatura e umidade disponível em conjunto influenciam no desenvolvimento da cultura.

A cultura do linho tem plasticidade para realizar ajustes em relação a densidade de sementeira, conseguindo compensar eventuais falhas na população final de plantas com o aumento do número de cápsulas por planta, sendo a temperatura e a disponibilidade de água fatores limitantes ao seu desenvolvimento (CASA et al., 1999).

Os estudos filotécnicos com a cultura ainda são limitados. Assim, o investimento em pesquisas pode proporcionar maior rentabilidade aos produtores, visto que a procura pelo consumo de grãos e derivados de linhaça tendem a aumentar no Brasil devido a busca por alimentos nutritivos e funcionais.

O linho é uma cultura muito versátil, que tem sido explorada com múltiplas finalidades, incluindo a obtenção de fibras têxteis ou das sementes e seus coprodutos, que

são usados na alimentação humana e animal, mas sobretudo são destinadas à extração de óleo para aplicação na indústria química (Figura 1). Tendo ocupado por muito tempo papel de destaque como fibra têxtil devido a sua força e durabilidade, o linho posteriormente perdeu espaço com o crescimento do algodão e outras fibras têxteis (JHALA & HALL, 2010). Atualmente, o linho não é tão atraente quanto outras fibras têxteis, devido às características do processo necessário para separação das fibras filamentosas do caule lenhoso (JHALA & HALL, 2010).

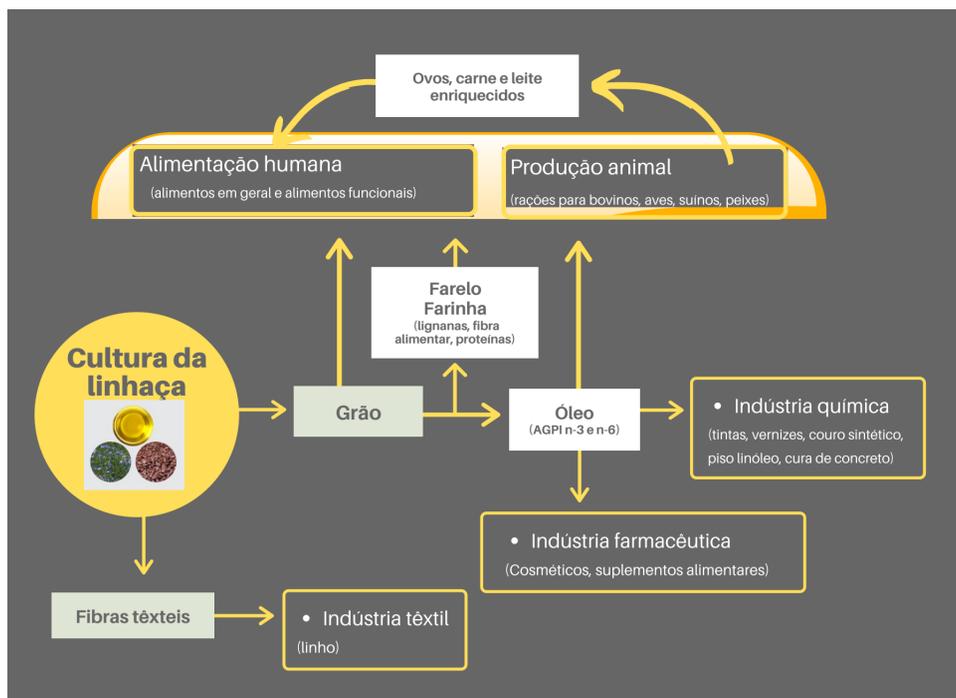


Figura 1 – Usos da cultura da linhaça destacando sua versatilidade como matéria-prima para as indústrias têxtil, farmacêutica, química, de alimentos e rações.

O óleo de linhaça, que pode representar até cerca de 35 a 45% do peso do grão (SINGH et al., 2011), é utilizado na fabricação de cosméticos e aprovado pela ANVISA como um composto bioativo para suplementos alimentares (ANVISA, 2018), devido ao elevado conteúdo de ácidos graxos ômega-3, ômega-6 e como fonte de fitoesteróis. Apesar das características nutricionais interessantes, o uso direto do óleo de linhaça na alimentação humana não é tão difundido em comparação com outros óleos, devido à grande suscetibilidade a reações de oxidação e polimerização que resultam na rancificação do óleo, limitando a sua durabilidade (JHALA & HALL, 2010). Por outro lado, esta característica peculiar, confere ao óleo propriedades únicas de solidificação após exposição ao ar, tornando-o apropriado para aplicações industriais relacionadas a produção de tintas,

vernizes, couro sintético, agente de cura para superfícies de concreto, fabricação de pisos de linóleo, entre outros (PARIKH et al., 2019). Este é atualmente o principal destino da maior parte da produção mundial de linhaça.

O uso da linhaça na alimentação humana tem sido explorado por meio da utilização dos grãos inteiros, grãos moídos (farinha de linhaça), óleo de linhaça, farelo de linhaça, farinha de linhaça parcialmente desengordurada e mais recentemente como leite de linhaça, que pode ser uma alternativa ao leite de amêndoas (PARIKH et al., 2019). Apesar das características peculiares de sabor, tem sido possível utilizar com sucesso as sementes de linhaça ou seus produtos derivados na formulação de diversos tipos de alimentos, especialmente em produtos de panificação (KAUR et al., 2018). O interesse no consumo destes alimentos decorre do elevado conteúdo de nutrientes e compostos bioativos que têm sido relacionados com benefícios à saúde humana, nomeadamente o ácido alfa-linolênico (ômega-3), as lignanas e a fibra alimentar (KAUR et al., 2018). Este interesse por produtos à base de linhaça cresceu muito nos últimos anos no Brasil, impulsionado pela preocupação do consumidor com sua saúde e está associado ao crescimento do mercado de alimentos funcionais, suplementos alimentares e produtos destinados aos públicos vegetariano e vegano (PARIKH et al., 2019).

A linhaça também tem sido utilizada no arrazoamento de animais ruminantes e não-ruminantes, através da incorporação de grãos inteiros, óleo de linhaça, cascas ou farinha obtidas após a extração do óleo, sendo esta última, o suplemento mais valorizado para as rações. O crescimento do consumo de óleo de linhaça nas indústrias química, farmacêutica e na alimentação humana resultará em aumento da oferta de cascas e torta de linhaça que poderão ser aproveitadas na nutrição animal. Um aspecto interessante, é que a incorporação da linhaça ou seus coprodutos em rações, pode resultar na transferência de compostos bioativos, tais como ácidos graxos ômega-3, enterodiol e enterolignanas, para o leite, carne e/ou ovos dos animais, permitindo a obtenção de alimentos funcionais destinados a dieta humana (SINGH et al., 2011).

A maior parte da produção mundial de linhaça é destinada às indústrias de óleo, também com uso alimentar, medicinal, cosmético ou como fibra, principalmente em indústrias têxteis (ROSSETTO, 2012). Devido a diversidade de usos da cultura, cada região de cultivo explora a cultura com diferentes finalidades. No Brasil, a alimentação humana é uma finalidade de uso que vêm se destacando nos últimos anos.

No mundo, a área de cultivo de linho oleaginoso é de cerca de 2,6 milhões de hectares e é 12 vezes maior que a do linho fibroso (KIRYLUK & KOSTECKA, 2020). Conforme dados da FAO, a produção e a área cultivada com linho de 1994 a 2019 sofreram grandes variações (Figura 2). A produção global de grãos de linho foi em torno de 3,06 milhões de toneladas em 2019 com uma área cultivada de aproximadamente 3,22 milhões de hectares e em torno de 1,05 toneladas por hectare de rendimento médio. A Grécia apresenta a maior média de rendimento, com 3,75 toneladas por hectare (FAOSTAT, 2020).

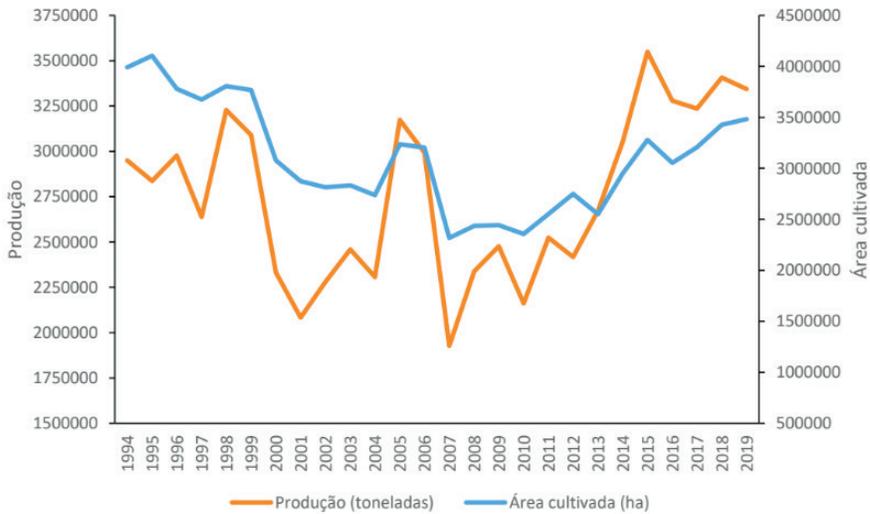
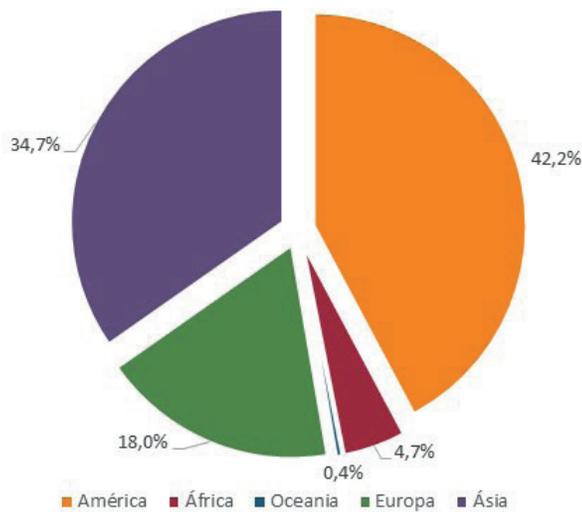


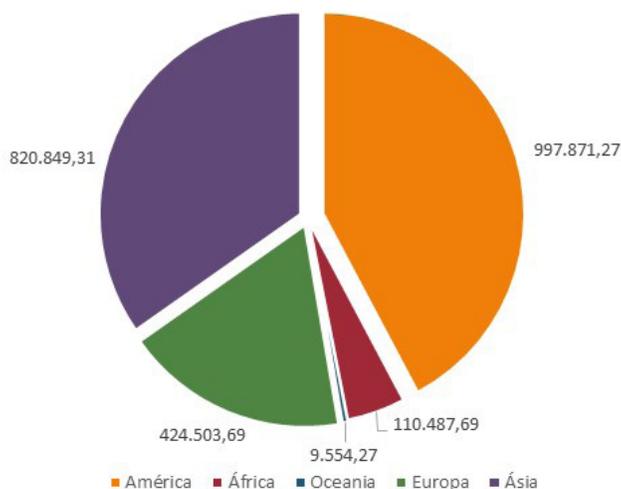
Figura 2. Área cultivada, em hectares, e produção total de linhaça no mundo, em toneladas, de 1994 a 2019.

Fonte: FAOSTAT (2020).

O linho é uma planta cultivada em todos os continentes do mundo, onde destaca-se o Americano como o maior produtor (Figura 3).



(A)



(B)

Figura 3. Percentual (A) e produção média em toneladas (B) de linhaça no mundo de 1994 a 2019.

Fonte: FAOSTAT (2020)

O Canadá, na média da produção entre os anos de 1994 e 2019, foi o maior produtor mundial de linho, com uma média anual de aproximadamente 751.000 mil toneladas de grãos de linhaça, equivalente a 40% de toda a produção mundial, sendo seguido pela China, Rússia, Índia, Cazaquistão, Estados Unidos, Etiópia, Reino Unido, Argentina e Alemanha, como os dez maiores produtores mundiais, no período anteriormente descrito.

De acordo com dados da FAO (FAOSTAT, 2019), no ano de 2019 o maior produtor de grãos de linhaça foi o Cazaquistão, com produção de aproximadamente 1 milhão de toneladas, seguido pela Rússia e Canadá. Já na América do Sul, a Argentina é o maior produtor de linho com aproximadamente 9,9 mil toneladas em 2019, seguida pelo Brasil com aproximadamente 3,7 mil toneladas produzidas em 2019 (FAOSTAT, 2020).

Conforme o relatório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2020 a média de produção do Brasil nos últimos cinco anos foi de 9 mil toneladas de linhaça. A área plantada e a produção brasileira também sofreram variações (Figura 4) apresentando rendimento médio que variou de 600 kg por hectare em 1960 para 900 kg por hectare em 2016 (IBGE, 2020). Esse aumento de produtividade pode estar associado as melhorias do ambiente de cultivo, dentre elas a correção da fertilidade do solo e adoção de práticas conservacionistas como a adoção do sistema de plantio direto por produtores. O progresso genético nesse período teve pouca contribuição, visto que não são presentes atualmente no Brasil programas de melhoramento genético com o lançamento constante de novas cultivares de linho e os trabalhos fitotécnicos são escassos, em um volume atualmente

menor que a necessidade. Esses pontos são lacunas importantes para serem estudados pela pesquisa brasileira e poderão contribuir com o progresso da cultura do linho.

A região de maior produção de linhaça no Brasil é a região Sul, sendo o estado maior produtor o Rio Grande do Sul com 12,9 mil toneladas produzidas em 2016, sendo que, de acordo com o IBGE (2020), quase 100% da produção de linhaça do país está localizada no Rio Grande do Sul. Estudos preliminares, que ainda não foram publicados, indicam que existe potencial de cultivo para a cultura da linhaça em outros estados da federação.

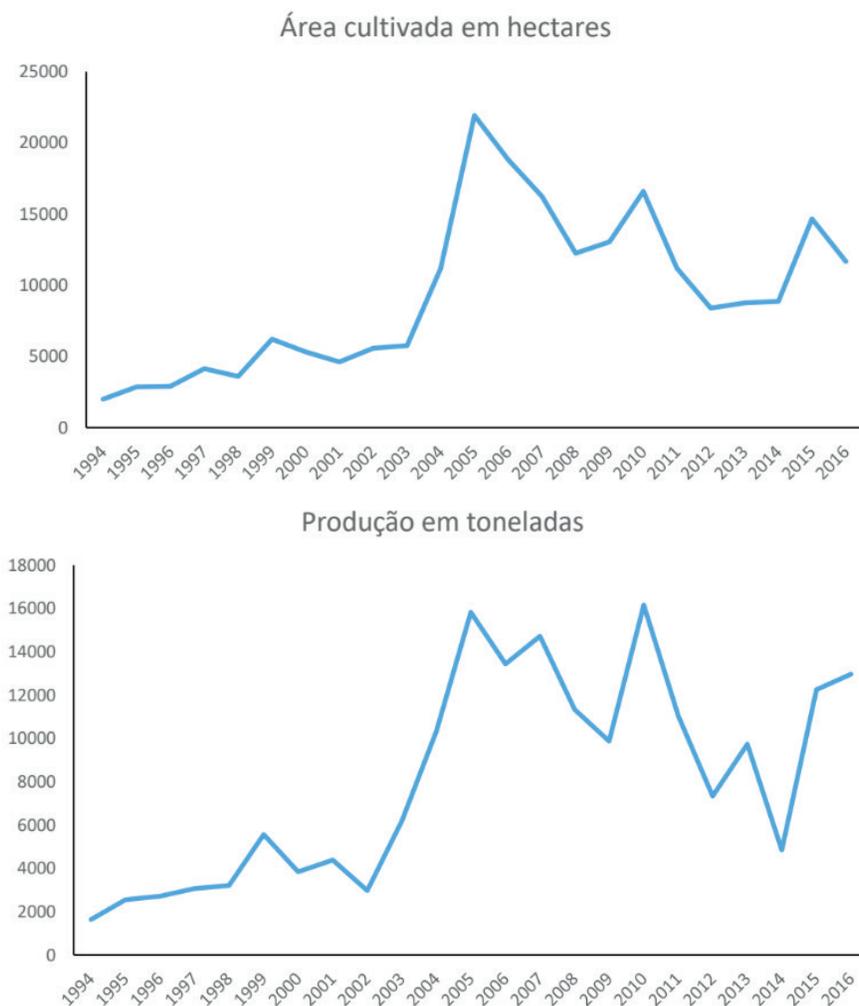


Figura 4: Variação da área cultivada, em hectares, e produção total de linhaça no Brasil, em toneladas, de 1994 a 2016.

Fonte: IBGE (2020)

De acordo com dados do IBGE (2020) o valor da produção de linhaça no Brasil

variou de R\$ 265.000,00 em 1994 para R\$ 19.269.000,00 em 2016, com uma participação percentual de 0,01% no valor da produção agrícola brasileira no ano de 2016. Ao analisarmos essa informação no macro, esse número pode parecer com baixa importância, no entanto, temos que destacar que a produção agrícola brasileira é muito grande se destacando como líder mundial neste segmento, apresentando o país dimensões continentais. Nesse sentido, a cultura do linho é uma importante opção de renda para o cultivo de inverno para produtores de regiões do Rio Grande do Sul, além de ser uma alternativa viável de rotação com a cultura do trigo, o principal cultivo de inverno gaúcho, trazendo benefícios ao sistema produtivo e contribuindo para a diversificação de renda em pequenas propriedades onde predomina a agricultura familiar.

## REFERÊNCIAS

ALLABY, R.G.; PETERSON G.W.; MERRIWETHER, D.A.; FU, Y. Evidence of the domestication history of flax (*Linum usitatissimum* L.) from genetic diversity of the sad2 locus. **Theor Appl Genet.** v.112, p.58–65. 2005. DOI:10.1007/s00122-005-0103-3

BORUGADDA, V.B.; GOUD, V.V. Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v.16, p.4763–4784. 2012. DOI:10.1016/j.rser.2012.04.010

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa no. 28, de 26 de julho de 2018. Estabelece as listas de constituintes, limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 jul. 2018.

CASA R.; RUSSELL G., CASCIO B., ROSSINI, F. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities. **European Journal of Agronomy.** v.11, p.267–278. 1999. doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00037-4

FAOSTAT. **Crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 08 dez. 2020.

FLAX COUNCIL OF CANADA, 2021. **Growing flax profitably** (quick tips guide). Canadá. Acesso em: Growing Flax | Flax Council Of Canada

FLOSS, E. L., **Linho. Livro: As lavouras de Inverno 2**. Editora globo: Rio de Janeiro, 184 pg. 1988.

FU, Y. Geographic Patterns of RAPD Variation in Cultivated Flax. **Crop Science.** v.45, p.1084–1091. 2005. DOI:10.2135/cropsci2004.0345

HARLAN, J. R. Agricultural Origins: Centers and Noncenters Agriculture may originate in discrete centers or evolve over vast areas without definable centers. **Science**, v.174, p.468-474. 1971.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Censo Agropecuário**, 2020. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado> Acesso em: 11 dez. 2020.

JHALA, A.J.; HALL, L.M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current uses and future applications. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, p. 4304-4312, 2010.

KAUR, P.; WAGHMARE, R.; KUMAR, V.; RASANE, P.; KAUR, S.; GAT, Y. Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition. **Oilseeds & fats Crops and Lipids**, v.25, p.A304, 2018. DOI: 10.1051/ocl/2018018.

KIRYLUK, A.; KOSTECKA, J. Pro-Environmental and Health-Promoting Grounds for Restitution of Flax (*Linum usitatissimum* L.) Cultivation. **Journal of Ecological Engineering**. v.21, n.7, p.99-107, 2020. DOI:10.12911/22998993/125443.

PARIKH, M.; MADDAFORD, T.G.; AUSTRIA, J.A.; ALIANI, M.; NETTICADAN, T.; PIERCE, G.N. Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. **Nutrients**, v. 11, p. 1171, 2019. DOI: 10.3390/nu11051171.

ROSSETTO, C.; SANTOS, R. F.; SOUZA, S. N. M.; DIAS, P. P. KLAUS, O. Diferentes doses de Potássio na cultura da linhaça (*Linum usitatissimum* L.). **Acta Iguazu**, v.1, n.3, p.98-105, 2012.

SINGH, K.K.; MRIDULA, D.; REHAL, J.; BARNWAL, P. Flaxseed: A potential source of food, feed and fiber. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.51, p.210-222, 2011. DOI: 10.1080/10408390903537241.

# CAPÍTULO 2

## EXPERIÊNCIAS COM O CULTIVO DE LINHAÇA EM SANTA CATARINA: ASPECTOS EDAFOCLIMÁTICOS E GENÉTICOS

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 10/05/2021

### **Leosane Cristina Bosco**

Universidade Federal de Santa Catarina,  
Campus Curitibanos  
Curitibanos – SC  
<http://lattes.cnpq.br/8838269954454562>

### **Carla Eloize Carducci**

Universidade Federal da Grande Dourados,  
Faculdade de Ciências Agrárias  
Dourados - MS  
<http://lattes.cnpq.br/3585988593213083>

### **Ana Carolina da Costa Lara Fioreze**

Universidade Federal de Santa Catarina,  
Campus Curitibanos  
Curitibanos – SC  
<http://lattes.cnpq.br/8973009579326149>

### **Letícia Salvi Kohn**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Faculdade de Agronomia  
Porto Alegre – RS  
<http://lattes.cnpq.br/9542317650470638>

### **Dislaine Becker**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Dois Vizinhos  
Dois Vizinhos – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8204128486204146>

### **Ana Caroline Basniak Konkol**

Universidade Federal de Santa Catarina,  
Campus Curitibanos  
Curitibanos – SC  
<http://lattes.cnpq.br/3605433897096090>

## 1 | INTRODUÇÃO

Desde 2014, desenvolvem-se pesquisas com linhaça (*Linum usitatissimum* L.) marrom e dourada na Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos. Essas atividades buscam explorar novas alternativas para produção e diversificação da cultura em propriedades rurais de Santa Catarina (KOHN et al., 2016; CARDUCCI et al., 2017; STANCK et al., 2017; ORSI, 2019; BENEVIDES, 2019; BOSCO et al., 2020; KOHN et al., 2020; KONKOL et al., 2020). Segundo a FAO, no Brasil são cultivados 6.050 ha de linhaça com produção próxima de 6 mil toneladas (FAOSTAT, 2021), em 87 estabelecimentos agropecuários distribuídos em cinco estados da federação: RS, PR, MG, PE e AM (IBGE, 2017). Apesar desses números, a produção de linhaça em SC não figura nas estatísticas brasileiras, mesmo havendo estabelecimentos com cultivo de até 100 ha nos municípios de Campos Novos, Zortéa e Descanso. O objetivo deste capítulo será descrever as experiências e conhecimentos adquiridos com o cultivo de linhaça nos municípios catarinenses de Curitibanos, Campos Novos, Rio do Sul, Palmitos e Herval D'Oeste em conjunto com dados obtidos da literatura, dando enfoque para as áreas de agrometeorologia, física do solo e melhoramento genético.

Os resultados dos estudos catarinenses,

demonstrados nesse capítulo, tem origem de experimentos implementados em sistema de cultivo mínimo do solo, com reduzido uso de insumos externos, com sementeira realizada na linha em densidade de 143 pl m<sup>-2</sup> ou espaçamentos de 2 cm entre plantas e 30-35 cm entre linhas.

O cultivo de *Linum usitatissimum* L. ocorre para duas finalidades: (i) para produção de sementes e óleo e é denominada *Linhaça* e (ii) para a produção de fibra sendo denominado *Linho*. Diante disso, destacamos que as experiências em SC foram obtidas com plantas de linhaça, porém na literatura pudemos obter informações sobre ambas.

## 2 | AGROMETEOROLOGIA DO CULTIVO DA LINHAÇA

### 2.1 Fenologia

Os principais estádios de desenvolvimento da linhaça são: sementeira, emergência, desenvolvimento foliar, aparecimento da ramificação basal, aparecimento do botão floral, início do florescimento, primeiras cápsulas visíveis e senescência (Figura 1).

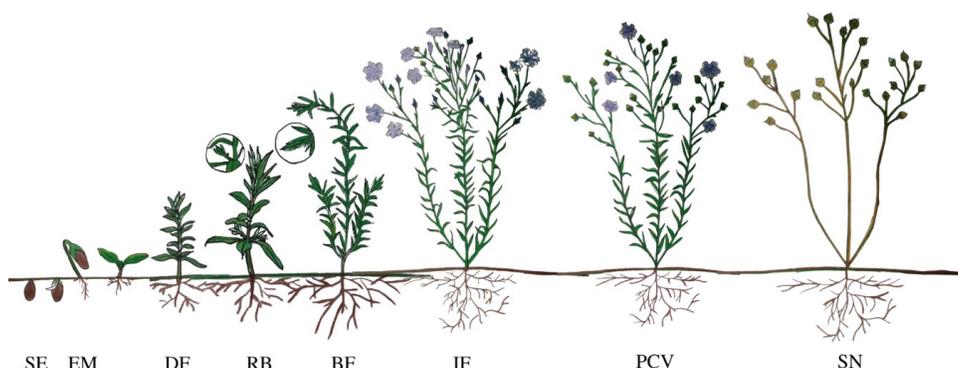


Figura 1 - Escala fenológica da linhaça adaptada de Smith e Froment (1998). Ilustração dos seguintes estádios: SE = sementeira; EM = emergência, DF = desenvolvimento foliar, RB = aparecimento das ramificações basais, BF = aparecimento do botão floral, IF = início do florescimento, PCV = primeiras cápsulas visíveis e SN = senescência.

#### 2.1.1 Sementeira (SE)

A sementeira deve ser realizada com sementes com germinação e o vigor acima de 90% para obtenção de população de plantas que favoreçam o estabelecimento da cultura. A época de sementeira varia entre abril e agosto na região Sul, embora não exista zoneamento agrícola para a linhaça no Brasil. A densidade de sementeira pode variar conforme o método usado para distribuir as sementes no solo, sendo que na linha a densidade de sementeira, geralmente é menor que à lanço.

### 2.1.2 *Emergência (EM)*

A germinação da semente de linhaça é epígea, ou seja, o desenvolvimento do hipocótilo faz emergir os cotilédones para fora do solo. A emergência ocorre após a germinação, quando se observam as estruturas vegetativas acima do solo. A fase entre a semeadura e emergência foi, em média, de 9 dias nos cultivos realizados em SC entre 2014 e 2020.

### 2.1.3 *Desenvolvimento foliar (DF)*

Posterior à expansão completa dos cotilédones é possível observar as primeiras folhas visíveis. As folhas surgem e se expandem sempre em pares, e estão dispostas no caule em forma espiral (SMITH & FROMENT, 1998). O número final de folhas das plantas cultivadas em Curitiba foi, em média, de 101 folhas (STANCK et al., 2017), sendo que o filocrono, definido como o intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal, variou entre 4,8 e 6,9°C dia folha<sup>-1</sup>.

### 2.1.4 *Ramificação basal (RB)*

O desenvolvimento dos ramos basais ocorrem em pares. O primeiro par é iniciado a partir da axila dos cotilédones, o segundo desenvolve-se em ângulo reto com os primeiros ramos, nas axilas das primeiras folhas verdadeiras, sendo que se observam menos ramos em condições de maior densidade de semeadura. Os ramos secundários produtivos variam entre 3 e 4, porém produzem menos quantidade de cápsulas do que a haste principal.

### 2.1.5 *Botão floral (BF)*

O primeiro botão floral aparece na haste principal, sendo que a formação das sépalas ocorre em um padrão helicoidal, possuindo formato de cúpula. Os botões possuem, em média, 14 mm de comprimento antes da antese (SCHEWE et al., 2011).

### 2.1.6 *Início do Florescimento (IF)*

Os botões iniciam a abertura floral pela manhã e as pétalas caem próximo ao meio-dia. Os aparatos florais (sépalas, pétalas e anteras) ocorrem sempre em unidades de cinco. A coloração das pétalas pode variar entre tons de azul, branco ou rosa claro (SMITH & FROMENT, 1998), sendo as cultivadas em SC de tonalidade azul. O início da floração ocorreu, em média, entre 63 e 129 dias após a semeadura, em Curitiba, sendo esta variação devido às diferentes datas de semeadura, ou seja, quanto mais precoce foi o plantio maior foi a fase SE-IF.

### 2.1.7 Primeiras cápsulas visíveis (PCV)

As primeiras cápsulas já estão se expandindo quando ainda é possível observar flores nas hastes. Assim, o estágio PCV ocorre simultaneamente ao florescimento.

### 2.1.8 Senescência (SE)

Após as cápsulas completarem a formação das sementes, sua cor muda gradualmente de verde para o amarelo e, então, para marrom na medida que senescem. Já as sementes, inicialmente brancas, tornam-se amarelas e depois marrom ou dourado – em função do genótipo. A senescência ou ponto de colheita pode ser definido quando, ao balançar a cápsula, é possível ouvir um som típico de “chocalho”. Posterior a senescência das estruturas reprodutivas, acontece gradualmente a do caule e das folhas.

## 2.2 Condicionantes agrometeorológicos da produtividade

A seguir serão apresentadas as principais características meteorológicas que condicionam a produtividade de linhaça, tais como temperatura do ar, vernalização, fotoperíodo, disponibilidade hídrica e eventos adversos.

### 2.2.1 Temperatura

A temperatura do ambiente em qualquer cultivo é o elemento primário da regulação do crescimento, desenvolvimento e, produtividade das plantas (MONTEIRO, 2009), sendo que o efeito da temperatura na produtividade de sementes, óleo ou fibra deve ser somado à ação do fotoperíodo, da vernalização e da disponibilidade hídrica.

A temperatura do solo é importante para a fase da sementeira até a emergência (SE-EM), sendo que temperaturas abaixo de 10°C aumentam consideravelmente a duração dessa fase, mas não interferem na porcentagem de germinação (O'CONNOR & GUSTA, 1994). Em Curitiba, a temperatura média diária do solo medida durante a fase SE-EM, em 2018, foi de 12,5°C e a duração dessa fase foi de 11 dias. Além disso, a temperatura do solo quando muito alta ou muito baixa pode reduzir o desenvolvimento radicular e a absorção de água e nutrientes do solo ao longo de todo o cultivo da linhaça.

A temperatura do ar tem maior influência nas fases vegetativa e reprodutiva dos cultivos. Por esta razão, são estabelecidos limites térmicos (*i.e.* temperaturas cardinais) para o melhor desenvolvimento das plantas. No caso da linhaça ou linho esses limites não são claramente definidos pela literatura, pois variam em função das cultivares. Observa-se que as cultivares com propósito de produção de fibra se adaptam melhor em climas temperados, enquanto para produção de sementes ocorre melhor adaptação em climas continentais (temperaturas mais amenas) (HELLER et al., 2015). As temperaturas ideais variam também em função da fase fenológica, por exemplo, a temperatura basal inferior (T<sub>b</sub>) determinada para cultivares argentinas na fase vegetativa (EM-IF) foi 2,0°C (SORLINO,

1994) e para a fase reprodutiva (PCV-SN) foi 5,4°C (SORLINO, 2005). No entanto, trabalhos com cultivares europeias determinaram Tb de 4,8°C para a fase vegetativa das plantas (CASA et al., 1999) e, na China e Canadá a Tb de 5°C foi considerada para todo o ciclo (DU et al., 2017).

Em função da influência da temperatura e, em alguns casos do fotoperíodo, a duração do ciclo total e das fases vegetativa e reprodutiva varia entre épocas e locais de semeadura, sendo que as plantas cultivadas nos meses de temperaturas mais elevadas (*i.e.* verão) têm um desenvolvimento mais rápido e um ciclo total mais curto, em contraste com aquelas cultivadas em meses mais frios (*i.e.* inverno) (CASA et al., 1999).

No Sul do Brasil, verificou-se relação linear negativa entre temperatura do ar e a duração das fases de desenvolvimento, ou seja, a redução da temperatura do ar determina o aumento da duração das fases fenológicas bem como o aumento da temperatura determina a sua redução (BOSCO et al., 2020). Além disso, verificou-se que a fase EM-BF é mais sensível à temperatura do ar que a fase BF-SN. No caso das cultivares Aguará e Caburé, oriundas do Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA, o ciclo naquelas condições de clima temperado pampeano (Cw) é de 167 e 163 dias, respectivamente (MILISICH e GIECO, 2017). Nas condições edafoclimáticas dos experimentos realizados em SC, com clima subtropical (Cf) a duração do ciclo dessas cultivares variou de 149 a 198 dias, sendo mais curto em épocas de semeaduras tardias. Estudos de Casa et al. (1999), com experimentos na Itália, demonstraram duração do ciclo variando entre 115 e 123 dias nos quatro anos avaliados, e PAGEAU & LAJEUNESSE (2011) observaram ciclos entre 120 e 130 dias em experimentos realizados durante quatro anos no Canadá. No Iran, MIRZAIIE et al. (2020) caracterizaram ciclos (semeadura-colheita) que variaram entre 66 e 148 dias devido às diferentes épocas de cultivo. A duração do ciclo de cultivares (Aguará e Caburé) e variedades (dourada e marrom) de linhaça cultivadas em Curitiba, considerando seis anos de avaliação, variou entre 115 (semeadura em setembro) e 221 dias (semeadura em abril), sendo que, em média, a fase vegetativa teve duração de 93 dias e a fase reprodutiva de 78 dias.

Na literatura, a maioria dos estudos caracteriza a duração do ciclo da linhaça contabilizando o tempo em dias, e não se considera o tempo térmico. No entanto, do ponto de vista biológico, a contabilização do tempo térmico é mais realista. Diante disso, em 2016 a duração das fases de desenvolvimento de cultivares e variedades utilizadas em experimentos realizados em SC foram determinadas pela metodologia da soma térmica (BERGAMASCHI & BERGONCI, 2017), considerando Tb 2,0°C para a fase vegetativa e de 5,4°C para fase reprodutiva.

A soma térmica necessária para a fase vegetativa variou entre 481°C dia a 1.347°C dia e para a fase reprodutiva de 638°C dia a 1.718°C dia. Essa variação ocorreu em virtude das diferentes épocas, cultivares/variedades e locais de cultivo utilizadas nas avaliações (BOSCO et al., 2020). O maior acúmulo térmico na fase reprodutiva é

decorrente das temperaturas mais elevadas, principalmente durante a maturação. Nessa fase, está ocorrendo a biossíntese de óleo nas sementes e o acúmulo térmico torna-se mais relevante para as plantas. Estudos realizados por GORDEYEVA & SHESTAKOVA (2018), no Cazaquistão, demonstraram que a soma térmica ideal para formação da maior quantidade de óleo nas sementes foi de 350 a 400°C dia durante a maturação das sementes. Em Curitiba, a soma térmica acumulada nessa fase foi, em média, de 287°C dia acumulados durante 25 dias, no entanto, esses dados ainda não foram relacionados à produção de óleo nas sementes.

A amplitude térmica diária também pode influenciar o crescimento das plantas e a qualidade da fibra. A amplitude térmica de 10°C foi ideal para o aumento da biomassa, altura de planta, diâmetro de caule, comprimento e peso da haste e peso da fibra, enquanto a amplitude térmica de 5°C beneficiou o conteúdo de fibra e o peso das sementes (YANG et al., 2013). Recentemente, DU et al. (2017), também concluíram que a amplitude térmica interfere na qualidade das fibras das hastes da linhaça, sendo que a amplitude de 5°C aumentou o número de células da fibra em cada feixe, mas 15°C foi ideal para aumentar o tamanho celular da fibra. Em geral, essas características são determinadas pelo genótipo, porém, nesses trabalhos verificou-se que as condições térmicas também exercem forte influência, interagindo com o genótipo.

### 2.2.2 Vernalização

A vernalização é um tratamento de frio fornecido naturalmente ou artificialmente, no início do ciclo de espécies anuais de estação fria, de forma a reduzir a sua necessidade térmica para o início do florescimento e maturação (BERGAMASCHI & BERGONCI, 2017). Assim como para outras espécies, a linhaça pode ser classificada como de inverno ou de primavera, de acordo com as datas de semeadura e sua tolerância ao frio. De modo geral, as cultivares de primavera são comumente cultivadas na América do Sul e não respondem ou possuem baixa resposta ao tratamento de vernalização, porém existem poucos trabalhos sobre os reais efeitos da vernalização na linhaça.

A linhaça é uma espécie que não necessita de vernalização obrigatória para desencadear o florescimento. Contudo, estudos realizados na Argentina com cultivares locais (SORLINO, 1994), em Portugal com cultivares oriundas da Rússia (BRUTCH et al., 2008) e nos Estados Unidos com cultivares locais e do Canadá (DARAPUNENI et al., 2014); demonstraram que a vernalização das sementes, combinada com condições de fotoperíodo longo, encurtam a fase vegetativa e antecipam a floração.

Nos experimentos realizados em SC, procurou-se identificar se as horas de frio ocorridas a campo durante a fase vegetativa influenciariam a duração das fases de EM-BF, BF-IF e ciclo total. Foi verificado que, nas condições avaliadas o acúmulo de frio não teve influência no ciclo das plantas e na produtividade (BOSCO et al., 2020).

Provavelmente, a possível influência da vernalização ocorra somente na fase SE-EM e não nas fases posteriores. Além disso, as sementes utilizadas em todos os experimentos foram acondicionadas em geladeira com temperatura aproximada de 4°C, para suprir qualquer necessidade de frio das sementes e promover homogeneidade das condições fisiológicas.

### *2.2.3 Fotoperíodo*

A variação do fotoperíodo é igual de ano para ano, variando apenas em função da latitude e do dia do ano. Essa variação fornece um “sinal” para as plantas quanto à necessidade de transição da fase vegetativa para reprodutiva. Para plantas anuais, a fase da semeadura à floração é classificada quanto à resposta ao fotoperíodo em fase pré-indutiva ou juvenil, indutiva e pós-indutiva. Para a linhaça, estudos mostram que essa espécie é responsiva ao fotoperíodo, sendo considerada uma planta de dia longo facultativa, uma vez que sob condições de fotoperíodo curto ocorre atraso do florescimento, mas não sua inibição. SUN et al. (2019) demonstraram que as cultivares de linhaça tiveram vários graus de sensibilidade ao fotoperíodo, e quando expostas a condições de dia longo antes do fotoperíodo crítico, o tempo até o florescimento tornou-se menor. SORLINO et al. (1994) estabeleceu o valor do fotoperíodo crítico para cultivares argentinas em torno de 12,2 h.

Em avaliações de linhaça e linho realizadas em diferentes países e latitudes, verificou-se que a sensibilidade fotoperiódica de linhaça é bastante variável em função de características ambientais como latitude e fotoperíodo do local de cultivo e de características intrínsecas à genética da planta (BRUTCH et al., 2020). Portanto, o grau de fotossensibilidade original da espécie pode ter sido alterado via a domesticação das plantas, e pelos programas de melhoramento genético ao longo dos anos nos diferentes locais de cultivo. Isso justifica a grande variabilidade das respostas da linhaça ao fotoperíodo relatados na literatura.

### *2.2.4 Disponibilidade hídrica*

A quantidade de água necessária para o desenvolvimento da linhaça depende do clima, da época de cultivo e da duração do ciclo das plantas. A evapotranspiração de cultura (ETc) acumulada, em Curitiba, considerando coeficiente de cultura da linhaça 1,05 (ALLEN et al., 1998), foi de 511 mm e 405 mm para semeaduras realizadas em agosto de 2014 e em julho de 2015, respectivamente (CARDUCCI et al., 2017). Em semeadura realizada em abril de 2018, a ETc foi de 674 mm.

A distribuição da água ao longo do ciclo possui papel fundamental na produtividade da linhaça. As fases críticas quanto à necessidade de água são SE-EM e IF-SN. O déficit hídrico na fase inicial causa inibição do desenvolvimento das plantas, principalmente da parte radicular (GUO et al., 2012) comprometendo o estande inicial de plantas. Na fase reprodutiva, o déficit hídrico provoca abortamento e reduz o número de flores, o que limita

o número de cápsulas por planta e de sementes por cápsulas, comprometendo o potencial produtivo. Além disso, o excesso de água durante a maturação pode causar a formação de novas brotações, desuniformidade de maturação e redução de produtividade, conforme observado no ano de 2015 em Curitiba (KOHN et al., 2016).

### *2.2.5 Efeitos adversos*

As cultivares apresentaram variações na produtividade devido à diversidade de recursos disponíveis para seu crescimento e desenvolvimento. GOREEVA et al. (2020) demonstraram que as condições meteorológicas de cada ano de cultivo tiveram uma influência de 91,5% na produtividade das sementes, enquanto as cultivares, apenas 3,0%. Portanto, condições de eventos extremos como granizo, geadas, excesso e déficit de chuva e velocidade do vento podem alterar significativamente a produtividade e a qualidade das sementes, do óleo e da fibra.

Características meteorológicas do ano de cultivo foram determinantes na produtividade de linhaça em SC, sendo que em condições de temperatura do ar e precipitação pluvial adequadas, as cultivares e variedades locais cultivadas tiveram produtividades de até 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> ou 35 cápsulas por planta na haste principal. No entanto, em anos de cultivo com ocorrência de eventos meteorológicos adversos a produtividade foi reduzida. No ano de 2015, a primavera foi muito chuvosa em virtude da ocorrência do fenômeno El Niño forte (BOSCO et al., 2020). A precipitação total durante o ciclo da linhaça (agosto-novembro) foi de 940 mm, sendo que a normal climatológica para esse período, em Curitiba, é de 502 mm. O excesso de chuva favoreceu o aparecimento de doenças fúngicas, desencadeando desfolhamento precoce, e quando associada a vento forte, provocou acamamento das plantas. Além disso, identificou-se crescimento errático com aparecimento de novas brotações na fase reprodutiva, desuniformidade de formação e maturação das cápsulas e, conseqüente, redução de produtividade. A produtividade nesse ano, por exemplo, para a variedade de linhaça marrom foi de 0,37 Mg ha<sup>-1</sup> ou 12 cápsulas por planta na haste principal (Figura 2), ou seja, redução de 65% de produtividade em relação a média dos anos sem eventos adversos.

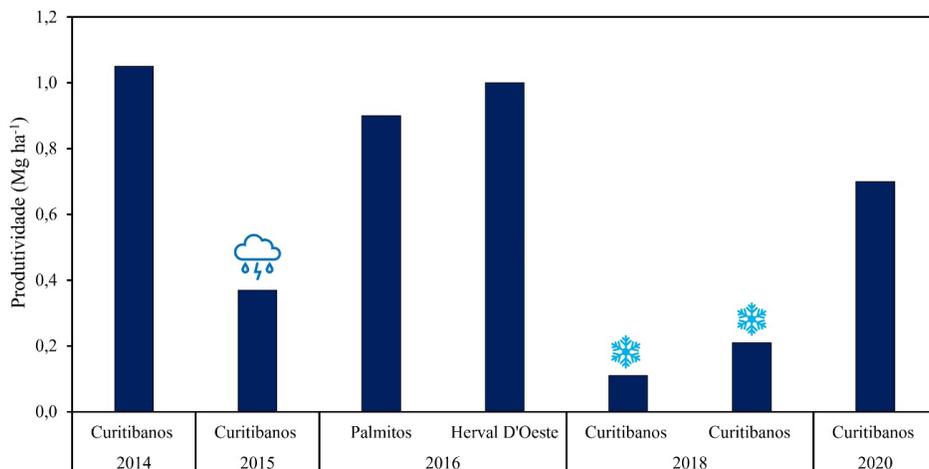


Figura 2 - Produtividade de uma variedade de linhaça marrom cultivada em três locais de Santa Catarina. A nuvem demonstra ocorrência de chuva excessiva em 2015 e o cristal as geadas ocorridas em 2018, ambos fenômenos meteorológicos ocorreram durante a fase reprodutiva, comprometendo a produtividade.

No ano de 2018 foram observados 16 eventos de geada durante o desenvolvimento da linhaça, sendo que na fase de formação das sementes ocorreram quatro geadas com temperaturas mínimas em cada evento de 2,6; -0,8; 0,5 e 1,8°C. Considerando que a temperatura basal inferior para a fase reprodutiva está entre 4,8 e 5,0°C, as temperaturas registradas foram nocivas à formação das cápsulas e sementes. A produtividade para a linhaça marrom nesse ano foi de 0,30 e 0,22 Mg ha<sup>-1</sup> para cultivos iniciados em abril e junho, respectivamente (Figura 2), ou seja, redução média de 75% de produtividade em relação à média dos anos sem eventos adversos.

### 3 | QUALIDADE ESTRUTURAL E DESEMPENHO DA LINHAÇA CULTIVADA EM CAMBISSOLO HÚMICO SOB SISTEMA CONSERVACIONISTA DE MANEJO

A relação solo-planta é uma abordagem bastante discutida em cultivos agrícolas, no entanto, quando se trata de culturas pouco conhecidas e com cultivos ainda incipientes, como é o caso da linhaça, dados sobre seu desempenho agrônomo em condições edáficas distintas são restritos, especialmente na literatura científica nacional.

O conhecimento sobre o desenvolvimento das plantas, especificamente as raízes, está vinculado às propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas dos solos, a genética da planta e ao sistema de manejo empregado. Essa interação solo e raiz é a chave para o desenvolvimento da segunda revolução verde visando incremento em produtividade (LYNCH, 2007). Compreender até que ponto a estrutura do solo coordena o crescimento e arquitetura das raízes ou como as raízes se distribuem e estruturam o solo é um processo abstruso (KAESTNER et al., 2006). Nesse sentido, esforços foram despendidos com o

intuito de compreender a interação do solo com as raízes da linhaça na microrregião de Curitiba, mais precisamente em um CAMBISSOLO HÚMICO, representativo de SC (KOHN et al., 2016; CARDUCCI et al., 2017; KOHN et al., 2020).

Os Cambissolos são considerados solos jovens, rasos e com alto conteúdo de mineral primário facilmente intemperizável. Os classificados como húmicos ainda possuem a vantagem de conter alto teor de material orgânico ( $\geq 60$  g  $\text{kg}^{-1}$  COT + conteúdo de argila do solum: Hz. A+B) devido sua pedogênese<sup>1</sup>, porém apresentam estrutura incipiente (SANTOS et al., 2018). Portanto, quando esses solos, com limitações físicas, são inseridos no processo produtivo e são utilizadas práticas de conservação do solo, torna-se possível adequar o mesmo à cultura de interesse e esta, por sua vez, responde aprofundando e distribuindo espacialmente suas raízes de forma homogênea ao longo do perfil de solo. Assim, o maior volume de raízes pode atuar na estabilização de novos agregados<sup>2</sup> por meio do processo físico de emaranhamento de raízes, e químico com liberação de ácidos orgânicos e carboidratos cimentantes. Além de ativar os fungos que, com suas hifas, promovem o efeito similar e adjuvante às raízes (SALTON et al., 2008), auxiliando na busca por água em maior profundidade (SERAFIM et al., 2013) e possibilitando à cultura ser resiliente às alterações nos regimes de chuva, como evidenciado nos trabalhos de KOHN et al. (2016) e KOHN et al. (2020).

Nesse sentido, o solo ganha papel de destaque por ser o principal fornecedor de água e nutrientes, no entanto, por possuírem variações em sua pedogênese, apresentam diferenças quanto à dinâmica da água no solo, pois o conteúdo de argila, matéria orgânica, mineralogia e estrutura controlam o acesso e disponibilidade da água (COSTA et al., 2013; SERAFIM et al., 2013). De acordo com COSTA et al. (2013), o CAMBISSOLO HÚMICO sob mata nativa apresenta alto conteúdo de água na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) devido ao alto conteúdo de matéria orgânica ( $\approx 55$  g  $\text{kg}^{-1}$ ) e argila (453, 5 g  $\text{kg}^{-1}$ ), que são agentes retentores de água proporcionado pela significativa quantidade de cargas elétricas que interagem com as moléculas de água. Quando inseridos no processo produtivo, CARDUCCI et al. (2017) observaram valores semelhantes de CC e PMP em CAMBISSOLO HÚMICO argiloso (652 g  $\text{kg}^{-1}$ ), com, aproximadamente, 40,25 g  $\text{kg}^{-1}$  de matéria orgânica cultivado com linhaça em manejo conservacionista por duas safras consecutivas (Tabela 1). O sistema de manejo utilizado manteve e, ou melhorou os atributos hídricos do Cambissolo.

1 Pedogênese: processo no qual determinado solo é formado, assim como seus atributos e sua evolução na paisagem.

2 Agregados: partículas primárias (silte, areia, argila) proveniente de minerais que se agrupam em unidades separáveis associados a componentes orgânicos.

		CC		PMP		CAD		
		Média	EP	Média	EP	Média	EP	
		.....cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> .....						
COSTA et al. (2013)	Hz A	0,52	0,03	0,39	0,03	0,13	0,01	
	Hz Bi	0,55	0,04	0,37	0,04	0,19	0,01	
		0,00-0,10 m						
	2014	0,58	0,06	0,4	0,02	0,18	0,05	
CARDUCCI et al. (2017)	2015	0,44	0,03	0,37	0,02	0,07	0,01	
	0,10-0,20 m							
	2014	0,47	0,04	0,37	0,02	0,10	0,02	
	2015	0,48	0,04	0,42	0,03	0,06	0,01	

EP: erro padrão da média; Hz: horizonte pedológico.

Tabela 1 - Atributos hídricos de CAMBISSOLO HÚMICO: capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD).

Estes mesmos autores verificaram que apesar da oscilação de capacidade de água disponível (CAD) entre os horizontes do CAMBISSOLO HÚMICO, houve boa oferta hídrica com CAD de 0,10 a 0,19 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> ou 10 a 19 mm de lâmina d'água. Entretanto, o armazenamento da água variou conforme a ocorrência das precipitações ao longo do ciclo da linhaça, e não devido às possíveis alterações estruturais decorridas do manejo utilizado. Assim, ao monitorar o conteúdo de água disponível em duas safras de linhaça (2014 e 2015), verificou-se o bom desempenho do solo em disponibilizar água, independente do genótipo de linhaça implantada, ficando nítida a dependência deste às condições climáticas (Figura 3).

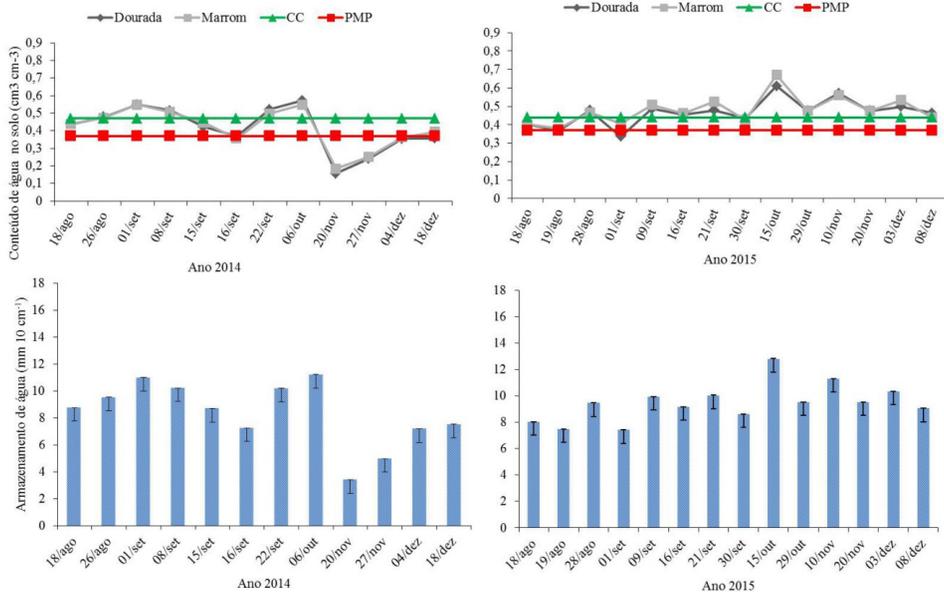


Figura 3 - Monitoramento do conteúdo de água e armazenamento na camada superficial (0-0,10 m) do CAMBISSOLO HÚMICO cultivado com duas variedades de linhaça: marrom e dourada, em duas safras: 2014 e 2015. Adaptado de CARDUCCI et al. (2017).

Vale ressaltar que os valores de CAD encontrados ( $1,4 \text{ mm cm}^{-1}$ ) correspondem às exigências hídricas da cultura (400 a 750 mm) (STANCK et al., 2017; BOSCO et al., 2020), pois não foram registrados déficits hídricos significativos que pudessem causar prejuízos à produtividade da linhaça mesmo na fase de maior exigência hídrica, ou seja, florescimento e enchimento de cápsulas (CASA et al., 1999; COSMO et al., 2014). No entanto, nesses mesmos anos de monitoramento ocorreu o fenômeno El Niño, que elevou a frequência das precipitações e acabou reduzindo a produtividade da cultura pelo excesso de água no solo como mencionado anteriormente.

As raízes da linhaça apresentaram uma arquitetura de distribuição superficial ( $< 0,30 \text{ m}$ ) e horizontalizada, ou seja, se restringem às primeiras camadas de solo (WHITELEY & DEXTER, 1972; CASA et al., 1999; KAR et al., 2007; HELLER et al., 2015). No entanto, podem apresentar alta plasticidade e adaptação às diversas condições edafoclimáticas, seja em cultivo consorciado ou solteiro (KLIMEK-KOPYRA et al., 2015) podendo chegar até 1 m de profundidade (CASA et al., 1999; KAR et al., 2007).

Essa capacidade de adaptação das raízes da linhaça está diretamente relacionada, além das condições edafoclimáticas e genéticas da planta, às técnicas de manejo do solo que podem melhorar o ambiente de desenvolvimento de suas raízes, como as utilizadas na agricultura de conservação (RAIJ, 2008). Como exemplo, têm-se os trabalhos desenvolvidos no Estado do Paraná, região de Cascavel, que buscaram identificar as melhorias químicas

do solo por meio do uso de diferentes fontes de fertilizantes e sua resposta na produção de linhaça (ROSSETTO et al., 2012; WERNER et al., 2012). Os autores verificaram que o cloreto de potássio na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> e de ureia na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> elevaram a produção da linhaça, devido à melhoria do ambiente radicular. Nesse sentido, WANG et al. (2017), ao avaliarem o desempenho da linhaça cultivar Longya 10 cultivada em solo argiloso com mulching plástico na província de Gansu, China, verificaram que a raiz principal ou pivotante se desenvolveu verticalmente até a profundidade de 0,30 m, onde ocorreu o maior conteúdo de água no solo devido à redução da evaporação promovida pela proteção plástica.

Em contrapartida, KOHN et al. (2016), ao analisarem as condições edafoclimáticas acerca do desempenho da linhaça em dois anos consecutivos (2014 e 2015), em CAMBISSOLO HÚMICO e clima Cfb, verificaram que mesmo o solo não apresentando impedimento físico e químico, as raízes permaneceram nas camadas mais superficiais (< 0,20 m) devido à alta oferta de água, ocasionada pelo fenômeno climático El Niño, que alterou o regime de chuvas da região (Figura 3), contribuindo diretamente com o aumento do conteúdo de água no solo durante todo o ciclo da cultura. Isso fez com que o comprimento das raízes fosse reduzido drasticamente, ao passo que o diâmetro das mesmas foi incrementado (Figura 4), afetando negativamente a aquisição de nutrientes (KLIMEK-KOPYRA et al., 2015; CASA et al., 1999). Vale ressaltar ainda, que o excesso de água no solo reduz a respiração radicular pela inibição das trocas gasosas fazendo com que estas desacelerem seu crescimento (BASSEGIO et al., 2012).

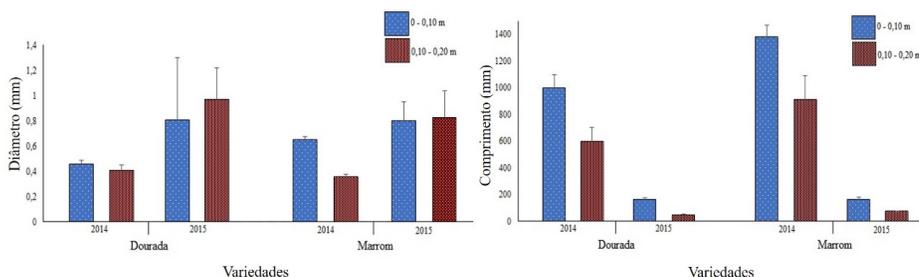


Figura 4 - Diâmetro e comprimento radicular de duas variedades de linhaça: marrom e dourada, cultivadas em CAMBISSOLO HÚMICO em Curitiba, SC, em dois anos consecutivos 2014 e 2015, sob sistema conservacionista de manejo do solo.

Em estudo mais recente, KOHN et al. (2020) avaliaram o desempenho radicular de duas cultivares marrons de linhaça da Argentina (Caburé e Aguará) e uma variedade dourada do Brasil. Os autores verificaram que a distribuição espacial do sistema radicular dessas cultivares foi semelhante quando submetidas ao mesmo sistema de manejo conservacionista (não revolvimento, baixo *input* agrícola - fertilizantes e capina manual)

em CAMBISSOLO HÚMICO Argiloso. Entretanto, as cultivares argentinas apresentaram melhor desempenho em comprimento atingindo profundidades superiores a 0,15 m e homogeneidade em sua distribuição horizontal (Figura 5).

Nessa mesma investigação citada acima, foi avaliada a interação entre as raízes e os agregados do solo, na busca de se identificar qual o limite de separação dos efeitos do desenvolvimento das raízes na estrutura do solo e formação de novos agregados e vice-versa. KOHN et al. (2020) observaram que nas camadas mais superficiais, onde ocorria a maior concentração de raízes, os agregados apresentaram superfícies mais rugosas e aspecto irregular, o que dificulta o encaixe preciso entre um agregado e outro. Esse fato contribuiu efetivamente com o incremento em poros de diversos diâmetros.

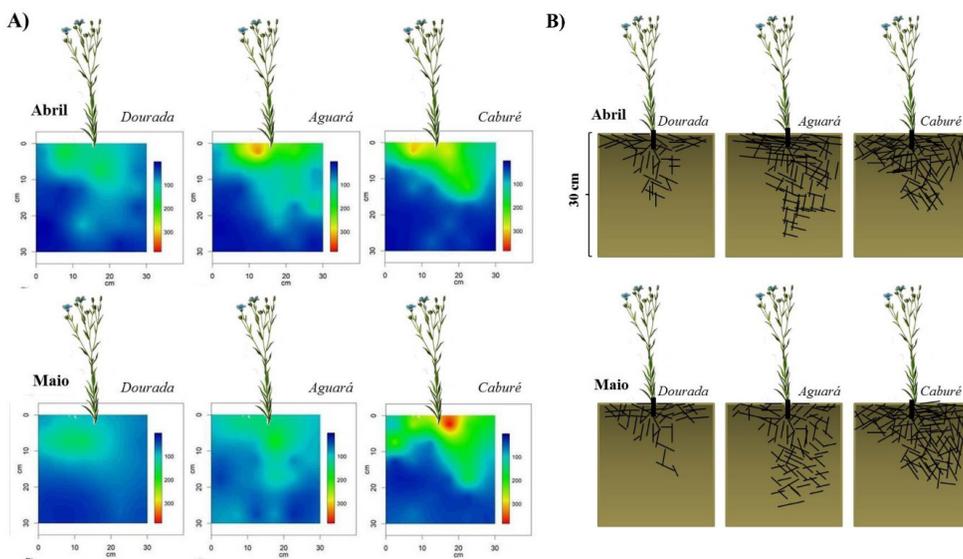


Figura 5 – A) Mapa de superfície do comprimento radicular (cm) de duas cultivares de linhaça: Aguará e Caburé e uma variedade dourada. Adaptado de KOHN et al. (2020). B) Representação científico-didática da distribuição radicular das plantas de linhaça.

O estudo comprovou, desta forma, que houve potencial de contribuição efetiva das raízes na formação dos agregados, bem como, quantificou o incremento em carbono orgânico estocado em agregados de menor diâmetro (4,76 - 1 mm). Esses fatores indicam que o sistema de manejo utilizado para a produção de linhaça, não somente contribuiu com a boa produtividade ( $> 0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (KOHN et al., 2016), mas também com benefícios ambientais pelo estoque de carbono no solo ( $\approx 60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), que pode atuar efetivamente com a redução de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera (KOHN et al., 2020).

O conhecimento sobre a qualidade estrutural do solo obtido através do monitoramento hídrico do solo e da cultura possibilita o conhecimento acerca da ocorrência de prováveis déficits hídricos e, desta forma, é possível adequar o manejo do solo à

cultura implantada, tornando-o sustentável ambientalmente. Dessa forma, a exploração e estudo das raízes da linhaça foram fundamentais para melhor entendimento sobre o desenvolvimento dessas plantas, e sua influência na formação de agregados do solo em sistema de manejo conservacionista.

## **4 | MELHORAMENTO GENÉTICO DA LINHAÇA: DESEMPENHO E SELEÇÃO LINHAGENS PROMISSORAS NA MICRORREGIÃO DE CURITIBANOS**

### **4.1 A espécie: sua origem e domesticação**

O linho ou linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é uma planta anual de inverno, diploide ( $2n=2x=30$  cromossomos) e autógama (ALLABY, 2005), e seu genoma conta com um total de 373 Mpb e 43.471 genes (WANG et al., 2012). O termo *linho* sugere o uso de suas fibras extraídas do caule da planta e o termo *linhaça* sugere o uso de suas sementes oleaginosas. A espécie pertence à família Linaceae e gênero *Linum*, que tem cerca de 230 espécies distribuídas por cinco secções: *Linum*, *Dasylinum*, *Linastrum*, *Cathartolium* e *Syllinum*, separadas pelo número de cromossomos, morfologia floral e compatibilidade interespecífica (GILL, 1987).

Acredita-se que a planta de linhaça tenha se originado ao sul da Europa, no Oriente Próximo ou na Ásia Central (HELBÆK, 1959). A domesticação ocorreu possivelmente há mais de 8.000 anos, em vários lugares simultaneamente, e não se sabe ao certo qual foi o uso que forneceu o ímpeto para sua domesticação, sendo que registros arqueológicos sugerem que a domesticação ocorreu para fibra e para óleo ao mesmo tempo (VAN ZEIST & BAKKER, 1975). Sendo assim, a linhaça cultivada apresenta indeiscência de cápsulas, resistência ao frio e maior teor de óleo e de fibra, com uma ampla gama de variedades locais adaptadas para os diferentes usos e condições ambientais.

### **4.2 Os primeiros passos do cultivo e do melhoramento genético no Brasil**

No Brasil, a linhaça foi introduzida no ano de 1550 na Região Sul, e no início do século XVIII, os jesuítas iniciaram o cultivo da linhaça no Rio Grande do Sul (FLOSS, 1983), sendo São Borja o município pioneiro no cultivo da linhaça. No ano de 1930, a empresa conhecida como Lojas Renner S.A., impulsionou a cultura do linho para a indústria têxtil. Adicionalmente, a Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, participou da seleção das cultivares nacionais Farrroupilha, Viamão e Caxias (LEAL, 1967) e a introdução das cultivares Concorrente da Holanda e a Calchaqui M. da Argentina (FLOSS, 1983). Com o desenvolvimento de produtos têxteis sintéticos, o linho perdeu seu mercado, e somado ao aumento da área de trigo e cevada na região, fez com que a importância econômica da cultura fosse drasticamente reduzida (TOMASINI, 1980).

O uso da planta de linhaça para óleo foi fomentado pelo desenvolvimento das cultivares nacionais Taperaju e Nhu Porã, na Estação Experimental de São Borja. Há

registros também do uso das cultivares argentinas Oliveiros Timbu, Pergamino Puelche, Tezanos Pinto e Pergamino Mocoretá (LEAL, 1967). A entrada de derivados de petróleo e a descaracterização das cultivares utilizadas, ocorrida após uma mistura acidental de sementes, prejudicou a continuidade do melhoramento genético e do interesse pela cultura da linhaça (TOMASINI, 1983), reduzindo a área de 60.000 (década de 60) para menos de 5.000 hectares (década de 70) (FLOSS, 1983).

Com o objetivo de dar continuidade à avaliação e seleção de genótipos promissores, a Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa – CEP - Fecotrigo, em Cruz Alta (RS), implementou o resgate das cultivares nacionais e, em 1981, o Centro Nacional de Pesquisa do Trigo (EMBRAPA) em Passo Fundo (RS), realizou a introdução das cultivares Linott, Noralta e Dufferin, oriundas da *Morden Research Station*, Winipeg, Canadá. Além destas, foram introduzidos genótipos dos Estados Unidos, Argentina, Alemanha, Rússia e Uruguai (FLOSS, 1983).

Durante um longo período, cessaram os esforços e investimentos em pesquisas que almejassem a avaliação e o desenvolvimento de cultivares de linhaça, bem como a produção de sementes genética para o cultivo na Região Sul. Uma busca no Registro Nacional de Cultivares (BRASIL, 2021), indica que as sementes disponíveis para os produtores no Brasil são, em quase sua totalidade, de genética importada (Tabela 2). O aumento do cultivo da linhaça na Região Sul pode ser promovido pelas pesquisas nacionais com enfoque no melhoramento genético de cultivares nacionais, desenvolvidas e validadas sob as condições edafoclimáticas brasileiras. Na atualidade, programas de melhoramento genético vêm sendo conduzidos com este intuito, como o programa do grupo de pesquisa Genética e Melhoramento da Linhaça (GenLin) do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Curitiba (ORSI, 2019; BENEVIDES, 2019; KONKOL et al., 2020) e o programa do grupo de pesquisa da Sociedade Educacional Três de Maio – SETREM, em Três de Maio no RS (DIAS et al., 2019).

Cultivar	Detentor	País de origem
Ariane	-	França
Astella	-	-
Belinka	-	Países Baixos
CDC Normandy	Giovelli & Cia Ltda.	Canadá
CDC Sorreal	Celena Alimentos S.A.	Canadá
Natasja	Feltrin Sementes Ltda.	Países Baixos
Regina	-	Países Baixos
ST Pioneira	Leomar Luis Tombini	Brasil
Viking	-	Países Baixos

Tabela 2 – Cultivares de linhaça registradas no Brasil.

Fonte: adaptado de BRASIL (2021).

Um breve relato da história do cultivo e do melhoramento genético da linhaça na Região Sul do Brasil pode ser visualizado na Figura 6.

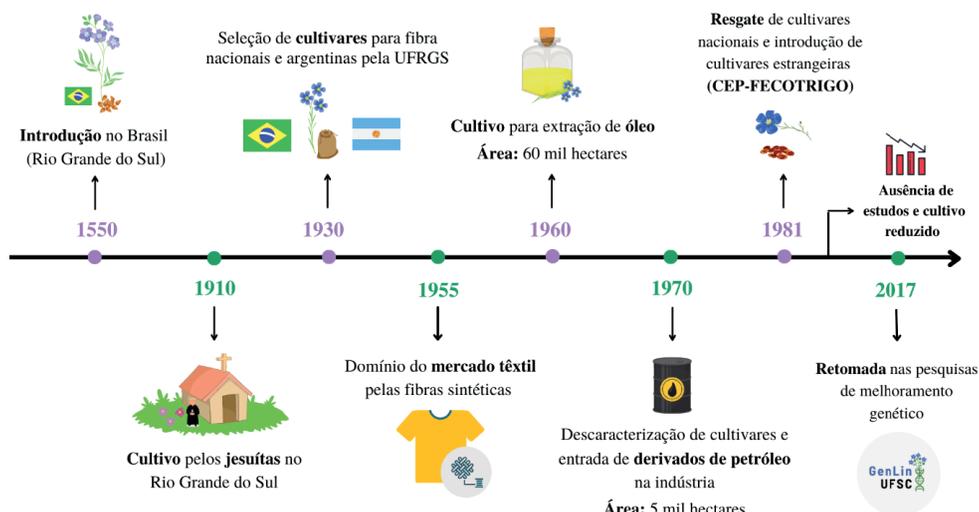


Figura 6 – Linha do tempo do cultivo e melhoramento genético da linhaça na Região Sul do Brasil.

As atividades do grupo GenLin da UFSC tiveram início com observações de lavouras comerciais no município de Zórtea em SC, realizada em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) de Campos Novos. Constatou-se que os poucos produtores de linhaça da região faziam uso de sementes de multiplicação de genótipos das quais desconhecem a origem genética, em especial as sementes de linhaça dourada, já que não existem cultivares comercializadas no Brasil. O uso dessas sementes implica em lavouras desuniformes, pois são desenvolvidas plantas com fenótipos variáveis para altura e arquitetura de planta, número de ramificações e potencial de produção de flores e cápsulas (Figura 7). A heterogeneidade entre as plantas aumenta a duração do ciclo, da sementeira até a maturação e colheita, reduz seu desempenho produtivo e atrasa a sementeira da cultura subsequente de verão. Com isso, a ausência de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras, em especial à Microrregião de Curitibaanos, aliado à crescente demanda pela diversificação de cultivos e o crescimento de mercado para as oleaginosas alimentares, constituía motivação para os estudos e pesquisas genéticas com a linhaça.



Figura 7 - Diferentes fenótipos de plantas de linhaça encontrados em lavoura comercial de Zórtea, SC em 2017.

### 4.3 Variabilidade genética dos caracteres na linhaça

O melhoramento genético da linhaça ocorre para dois propósitos: (i) desenvolvimento de cultivares para produção de sementes e óleo e (ii) desenvolvimento de cultivares para a produção de fibra. Alguns esforços foram demandados para cultivares de duplo propósito, embora com pouco sucesso, pois a fibra de alta qualidade é colhida antes do amadurecimento das sementes (DEYHOLOS, 2006).

Os programas de melhoramento genético avaliam o desempenho dos genótipos e fazem uso da seleção direta e indireta de caracteres. A seleção indireta é baseada na estimativa da correlação ( $r$ ) existente entre os caracteres, sugerindo ganho indireto na seleção. Adicionalmente, no caso da seleção simultânea, que é a seleção para dois caracteres ao mesmo tempo, a estimativa da correlação é também importante, pois o ganho deverá ser obtido para ambos os caracteres (CRUZ et al., 2012). No desenvolvimento de cultivares para produção de sementes são selecionadas plantas com menor altura, maior número de ramificações e sementes de maior tamanho, pois estas apresentam maior produtividade de sementes. Em cultivares para produção de fibra, a seleção baseia-se em plantas mais altas, com menor diâmetro do caule e sem ramificações (RODRIGUES, 1998; DIEDERICHSEN & FU, 2006).

#### 4.3.1 Produtividade de sementes

A produtividade de sementes em linhaça relaciona-se com o número de cápsulas por planta, o número de sementes por cápsula, a massa de mil sementes e a produtividade por planta. A produtividade de sementes é um caráter quantitativo, que embora possa apresentar ampla variabilidade genética, é influenciado por condições edafoclimáticas e pelo sistema de manejo empregado, a exemplo da densidade populacional. Para o número

de cápsulas por planta, as linhagens GenLin mostraram variações de 10 a 110 cápsulas por planta (ORSI, 2019), sob a mesma densidade populacional. De maneira geral, altas densidades populacionais resultam em plantas com menor número de cápsulas.

O desempenho das linhagens GenLin para a produtividade por planta e por área variou entre 0,22 a 4,54 gramas por planta, e de 0,87 a 2,86 Mg ha<sup>-1</sup> de produtividade, para 74 linhagens (Dados do ano agrícola de 2018). Após seleção das linhagens superiores, no ano de 2019, a média de produtividade das linhagens foi de 2,85 Mg ha<sup>-1</sup>, com linhagens produzindo 3,6 Mg ha<sup>-1</sup>, valor bem acima da média de produtividade nacional (0,95 Mg ha<sup>-1</sup>) e com melhor desempenho em relação às cultivares canadenses (1,7 Mg ha<sup>-1</sup>) (FAOSTAT, 2021). O efeito dos anos agrícolas sobre o desempenho produtivo dos genótipos sugere atenção especial para a seleção de plantas superiores, pois a ampla variância ambiental tem efeito sobre o coeficiente de herdabilidade ( $h^2$ ). A herdabilidade pode ser definida como a proporção da variância fenotípica que pode ser herdada, ou seja, aquela que reflete a variância genética, e varia de 0 a 1, em função do tipo de característica e da estrutura genética das plantas (ALLARD, 1971; CRUZ et al., 2012). Valores próximos a 1 indicam maiores possibilidades de ganhos com a seleção. KONKOL et al. (2020) estimaram valores de coeficientes de herdabilidade de 0,65 e 0,69 para produtividade de sementes por planta e produtividade por área. O desempenho produtivo dos genótipos deve ser estável, ou seja, mostrar superioridade em locais diferentes e nos anos de avaliação, sendo importante que os ensaios de avaliação sejam realizados em uma gama de ambientes.

#### *4.3.2 Duração do ciclo*

Na seleção de cultivares de linhaça é relevante considerar a duração do ciclo da cultura, pois esta definirá as possibilidades de datas de sementeiras dentro das janelas de cultivo para a linhaça. No Estado de SC, a sementeira da linhaça ocorre entre os meses de maio a junho, sendo ideal que a colheita não se prolongue até o final de novembro, para a sementeira das culturas de verão. Adicionalmente, busca-se a uniformidade da maturação das cápsulas, pois a colheita em lavouras desuniformes pode prejudicar o desempenho das máquinas e reduzir a qualidade das sementes. Nos ensaios de avaliação em Curitiba, com sementeira em meados de junho, em dois anos consecutivos, as linhagens apresentaram ciclo de 133 a 157 dias (ORSI, 2019; BENEVIDES, 2019), da sementeira (SE) até a senescência das cápsulas (SN) (Figura 1).

O tempo de maturação das cultivares de linhaça pode variar amplamente em função dos genótipos e dos ambientes de cultivo. A influência do ambiente é elevada, e se reflete em baixos coeficientes de herdabilidade, como verificado ORSI (2019) e BENEVIDES (2019). Baixos valores de herdabilidade podem indicar que as variações fenotípicas entre os genótipos são mais influenciadas pelo ambiente do que pela diferença entre os genótipos, e tal fato prejudica a seleção de genótipos superiores.

A uniformidade e a precocidade na maturação são consideradas na seleção de genótipos superiores de linhaça. Contudo, observa-se que genótipos precoces apresentam menor potencial produtivo, o que compromete a seleção simultânea para maturação e produtividade de sementes (ORSI, 2019).

### 4.3.3 *Altura de planta e comprimento técnico*

A altura de planta é considerada uma característica importante na linhaça considerando a colheita mecanizada, com o objetivo de obter eficiência das máquinas e reduzir a perda no campo. Adicionalmente, a altura de plantas em linhaça está relacionada à resistência ao acamamento. Na Microrregião de Curitibaanos, em condições de ventos fortes, plantas com maior altura, no início do florescimento ou já na fase de maturação, são mais propensas ao acamamento, o que prejudica o desempenho produtivo da lavoura (Figura 8).

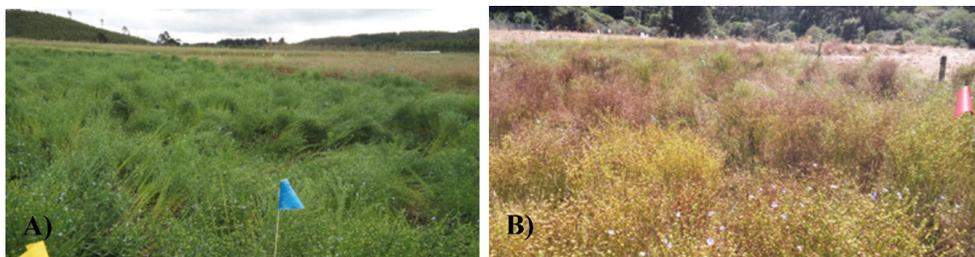


Figura 8 - Acamamento de plantas em ensaios de campo de linhaça dourada, em Curitibaanos, SC, no ano de 2018 nas fases de florescimento (A) e maturação (B).

A variabilidade genética para a característica altura de planta em linhaça é ampla. Genótipos em ensaios de campo em Curitibaanos apresentaram variações de 78 a 114 cm. Estudo realizado com 1.177 acessos de linhaça, mostrou que no quesito genótipos para produção de semente, as alturas variaram entre 24 e 90 cm, e genótipos para produção de fibra as alturas variaram de 42 a 106 cm (DIEDERICHSEN & ULRICH, 2009). Fatores relativos ao manejo da cultura como a densidade populacional (GABIANA, 2005) e a dose de nitrogênio também influenciam a altura de planta de linhaça (GRANT et al. 1999).

O comprimento técnico (CT) é a medida do comprimento entre o colo da planta da linhaça até a região de inserção dos primeiros ramos com cápsulas (Figura 9). Cultivares para produção de fibra, devem possuir longas fibras que possam ser obtidas das partes sem ramos secundários e sem cápsulas. Ensaios de campo em SC com genótipos de linhaça dourada mostraram variações de 56,2 a 84,1 cm para o comprimento técnico. Os ganhos genéticos obtidos com a seleção para altura de planta e comprimento técnico podem ser elevados, em virtude dos altos valores de herdabilidade que foram apresentados pelos genótipos em SC ( $h^2$  altura de planta = 0,76,  $h^2$  comprimento técnico = 0,73) e apresentam

correlação positiva. A altura de plantas também apresentou correlação negativa com dias para maturação das cápsulas e com a produção de sementes, verificado em ensaios de campo conduzidos em três anos em SC.

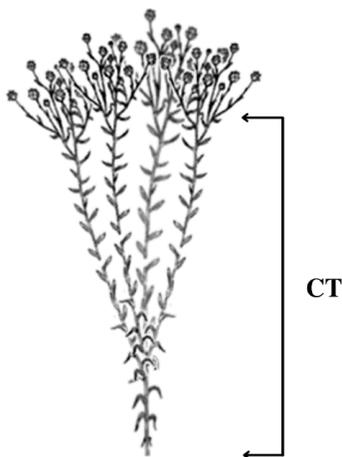


Figura 9 – Comprimento técnico (CT) de planta de linhaça.

#### 4.3.4 Cor da semente

A cor da semente de linhaça é ponto importante a ser considerado nos programas de melhoramento genético, podendo variar de marrom a dourada. A maior parte das cultivares apresentam semente marrom, contudo, existe valorização dos grãos dourados para consumo humano, muito embora estudos afirmam que não existem diferenças nutricionais entre ambas (BARROSO et al., 2014). A cor marrom e dourada é governada por três genes, e a cor dourada se expressa na presença de qualquer um dos *locus* em recessividade (MITTAPALLI & ROWLAND, 2003). Alguns trabalhos sugerem que a cor marrom está relacionada ao alto teor de ácido alfa-linolênico (ALA) e a cor dourada estaria presente em sementes com baixo teor de ALA (BJELKOVÁ et al. 2012). O conhecimento da herança da cor da semente de linhaça é importante, pois a ampliação da variabilidade genética pode ser obtida com as hibridações entre genótipos de cor de semente diferente, sendo fácil a recuperação da cor desejada para a cultivar.

#### 4.3.5 Resistência a patógenos

A resistência genética a patógenos é o pilar do manejo integrado de pragas e doenças, visando um cultivo ambientalmente correto e economicamente viável. Nesse sentido, atenção especial tem sido dada à resistência à ferrugem do linho (*Melampsora lini*), à murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum* f.sp. lini (Bolley) Snyder e Hansen), à doença de pasmo (*Septoria linicola* (Speg.) Garassini) e ao oídio (*Oidium lini*), doenças

de importância econômica da cultura da linhaça. As cultivares canadenses apresentam resistência moderada a todas as doenças citadas (HALL et al., 2016). Em ensaios de campo com genótipos de linhaça dourada em Curitiba foi observada a murcha de *Fusarium* em poucas plântulas, em início do desenvolvimento. Contudo, não houve nenhum impacto no desempenho dos genótipos. Ensaios futuros com linhagens superiores nacionais devem ser realizados com objetivo específico de avaliar a resistência às doenças em linhaça.

#### 4.4 Princípios e métodos de melhoramento genético

Nos programas de melhoramento genético da linhaça o desenvolvimento de cultivares ocorre através de métodos convencionais que utilizam a variabilidade genética natural, e métodos que primeiramente criam ou ampliam a variabilidade genética através de cruzamentos manuais ou mutações, para posteriormente realizar a seleção. Em todos os métodos, ao final, a homozigose é restaurada e as cultivares são consideradas linhas puras (ALLARD, 1971; BORÉM, 1998). Muito embora a taxa de fecundação cruzada seja baixa (<5%), distâncias de isolamento devem ser estabelecidas em programas de melhoramento genético para evitar contaminações genéticas (HALL et al., 2016).

A seleção de linhas puras tem por objetivo aproveitar a variabilidade genética natural, oriunda de mutações espontâneas, pequenas taxas de cruzamento e mistura acidental de sementes. Nesse método, seleções em lavouras comerciais costumam gerar ganhos genéticos satisfatórios, pois normalmente há variabilidade genética nessas áreas. Plantas fenotipicamente diferentes podem ser linhagens diferentes, e estas são testadas em ensaios de campo para comprovar a superioridade, como vem sendo realizado pelo GenLin (Figura 10).

### Programa de Melhoramento Genético de Linhaça (GenLin)

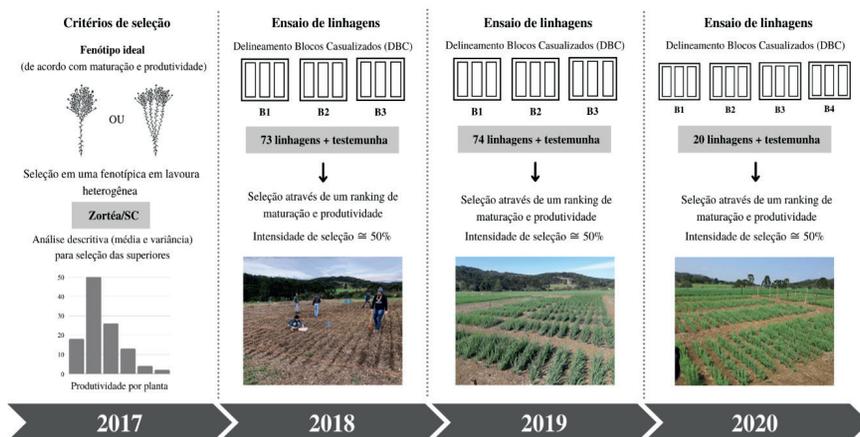


Figura 10 – Programa de Melhoramento Genético do Grupo de Genética e Melhoramento da Linhaça (GenLin), UFSC.

No melhoramento de autógamias como a linhaça, quando a variabilidade genética natural entre as plantas já foi explorada, outros métodos devem ser utilizados, como o método *Pedigree* ou Genealógico (HALL et al., 2016). A hibridação entre genitores promissores e divergentes, e a seleção em todas as gerações de avaliações no campo, permite o conhecimento detalhado da genealogia das linhagens e do controle genético dos caracteres. Adicionalmente, os métodos *Single Seed Descent* (Descendente de uma única semente - SSD) e o método da População ou *Bulk* também são utilizados para a cultura da linhaça.

Com o objetivo de selecionar caracteres qualitativos, o retrocruzamento é o método ideal e foi utilizado pela primeira vez em linhaça para desenvolver um conjunto de cultivares diferenciais, transferindo alelos de resistência à ferrugem do linho para a cultivar Bison (FLOR, 1955), e hoje desempenha um papel importante na transferência de novos alelos de plantas mutantes para linhagens superiores (DRIBNENKI & GREEN, 1995).

Os princípios e métodos de melhoramento genético de autógamias permitem explorar a variabilidade genética existente para os caracteres de importância em linhaça. O desempenho das linhagens de linhaça dourada na Microrregião de Curitiba demonstra que avanços genéticos substanciais serão obtidos com a seleção das linhagens superiores, sendo estas promissoras como futuras cultivares.

## REFERÊNCIAS

- ALLABY R.G., PETERSON G.W., MERRIWETHER D.A., FU Y.B. Evidence of domestication history of flax (*Linum usitatissimum* L.) from genetic diversity of the sad2 locus. **Theor Appl Genet.** v.112, n.1, p.58-65. 2005
- ALLARD R.W. **Princípios do melhoramento genético de plantas.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blüthcher; 1971. 381 p.
- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO; 1998. 300 p.
- BARROSO A.K.M. et al. Linhaça marrom e dourada: propriedades químicas e funcionais das sementes e dos óleos prensados a frio. **Ciência Rural.** v.44, n.1, p.181-187. 2014.
- BASSEGIO D., SANTOS R.F., NOGUEIRA C.E.C., CATTANEO A.J., ROSSETTO C. Manejo da irrigação na cultura da linhaça. **Acta Iguazu.** v.1, n.3, p.98-107. 2012.
- BENEVIDES J.P.A. **Teste de progênies de linhaça dourada (*Linum usitatissimum* L.) visando à maturação precoce** [dissertation on the Internet]. Curitiba: Universidade Federal de Santa Catarina; 2019 [cited 2020 Dec 8]. 31 p. Available from: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197828>
- BJELKOVÁ M., NÔŽKOVÁ J., FATRCOVÁ-ŠRAMKOVÁ K., TEJKLOVÁ E. Comparison of linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes with respect to the content of polyunsaturated fatty acids. **Chemical Papers.** v.66, n.10, p.972-976. 2012.

BERGAMASCHI H., BERGONCI J.I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. 1. ed. Guaíba: Agrolivros; 2017. 352 p.

BORÉM A. **Melhoramento de plantas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV; 1998. 453 p.

BOSCO L.C., BECKER D., STANCK L.T., CARDUCCI C.E., HARTHMANN O.E.L. Relação das condições meteorológicas com produtividade e fenologia da linhaça em agroecossistemas do Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Development**. v.6, n.5,p.24838-24868. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares. [Internet]. Brasília: MAPA; 2021. [cited 2021 Jan 15]. Available from: [http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)

BRUTCH N., KOSHKIN V., MATVIENKO I., POOKHOVINOVA E., TAVARES D.E., SOUSA M., DOMANTOVICH A. Influence of low temperatures and short photoperiod on the time of flowering of flax. **In: International Conference on Flax and Other Bast Plants**; 2008, Saskatoon, Canada. Saskatoon: Fiber foundations – transportation, clothing and shelter in the bioeconomy, 2008.

BRUTCH N., MATVIENKO I., POROKHOVINOVA E., PAVLOV A., NOZKOVA J., KOSHKIN V. Effect of photoperiod on *Linum usitatissimum* L. characters. **J. Nat. Fibers**. v.17, n.9,p.1345-1354. 2020.

DIAS C.M.B., WITCZAK G., CAPPELLARI L., ZAWACKI M.E., DANIELOWSKI R. Ensaio comparativo de linhagens e cultivares de linho. **In: Resumo do 17th Salão de Pesquisa SETREM**, 2019 Oct 1-3; Três de Maio, Brazil. Três de Maio: SETREM, 2019.

CARDUCCI C.E., BOSCO L.C., KOHN L.S., BARBOSA J.S., BENEVENUTE P.A.N., REGAZOLLO M. Dinâmica da água em cambissolo húmico sob cultivo do linho no planalto catarinense. **Scientia Agraria**. v.18, n.1, p.1-11. 2017.

CASA R., RUSSEL G., LO CASCIO B., ROSSINI F. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities. **Eur J Agron**. v.11,n.3-4, p.267-278. 1999.

COSMO B.M., CABRAL A.C., PINTO .LP., FRIGO J.P., FRIGO K.D.A., BONASSA G. Linhaça *Linum usitatissimum*, suas características. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v.3, n.1, p.189-196. 2014.

COSTA A., ALBUQUERQUE J.A., COSTA A., PÉRTILE P., SILVA F.R. Water retention and availability in soils of the state of Santa Catarina – Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.37, n.6, p.1535-1548. 2013.

CRUZ C.D., REGAZZI A.J., CARNEIRO P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV; 2012. 514 p.

DARAPUNENI M.K., MORGAN G.D., IBRAHIM A.M.H., DUNCAN W. Effect of vernalization and photoperiod on flax flowering time. **Euphytica**. v.195, p.279-285. 2014.

DEYHOLOS M.K. Bast fiber of flax (*Linum usitatissimum* L.): biological foundations of its ancient and modern uses. **Isr. J. Plant Sci**. v.54, n.4, p.273-280. 2006.

- DIEDERICHSEN A., FU Y. Phenotypic and molecular (RAPD) differentiation of four infraspecific groups of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L. subsp. *usitatissimum*). **Genet Resour Crop Ev.** v.53, p.77-90. 2006.
- DIEDERICHSEN A., ULRICH A. Variability in stem fibre content and its association with other characteristics in 1177 flax (*Linum usitatissimum* L.) genebank accessions. **Ind Crop Prod.** v.30, n.1, p.33-39. 2009.
- DRIBNENKI J.C.P., GREEN A.G. Linola™ '947' low linolenic flax. **Can. J. Plant Sci.** v.75, p.201-202. 1995.
- DU G., WU L., DENG G., YANG Y., LIU F., ROWLAND G. Influence of diurnal temperature range on the development of fiber cells in flax (*Linum usitatissimum*). **Int J Agric Biol.** v.19, p.595-600. 2017.
- FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. Crops. Roma: FAOSTAT. 2021 [updated 2021 Jan 5; cited 2021 Jan 5]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FLOR H.H. Host-parasite interaction in flax rust: its genetics and other implications. **Phytopathology.** v.45, p.680-685. 1955.
- FLOSS E.L. **Linho: cultivo e utilização.** 3. ed. Passo Fundo: UPF; 1983. 39p.
- GABIANA C.P. **Response of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to irrigation, nitrogen and plant population.** [master's thesis]. New Zealand: Lincoln University; 2005. 85p.
- GILL K.S. **Linseed.** New Delhi, India: Indian Council of Agricultural Research; 1987. 386 p.
- GOREEVA V., KOREPANOVA E., FATYKHOV I., ISLAMOVA C. Response of oil flax varieties to abiotic conditions of the Middle Cis-Ural region by formation of seed yield. **Not Bot Horti Agrobo.** v.48, n.2, p.1005-1016. 2020.
- GORDEYEVA Y., SHESTAKOVA N. The influence of agroclimatic factors on the formation of oil content in flax seeds in the North of Kazakhstan. **J. Ecol. Eng.** v.19, n.3, p.102-105. 2018.
- GRANT C.A., DRIBNENKI J.C.P., BAILEY L.D. A comparison of the yield response of solin (cv. Linola 947) and flax (cvs. McGregor and Vimy) to application of nitrogen, phosphorus, and Provide (*Penicillium bilaji*). **Can. J. Plant Sci.** v.79, p.27-533. 1999.
- GUO R., HAO W., GONG D. Effects of water stress on germination and growth of linseed seedlings (*Linum usitatissimum* L.), photosynthetic efficiency and accumulation of metabolites. **J. Agric. Sci.** v.4, n.10, p.253-265. 2012.
- HALL L.M., BOOKER H., SILOTO R.M.P., JHALA A.J., WESELAKE R.J. **Flax (*Linum usitatissimum* L.).** In: MCKEON T.A., HILDEBRAND D.F., HAYES D.G., WESELAKE R.J., Editors. Industrial Oil Crops. AOCS: Elsevier Inc. 2006, p.157-194.
- HELBAEK H. Domestication of food plants in the Old World. **Science.** v.130, n.3372, p.365-372. 1959.

HELLER K. et al. A comparative study between Europe and China in crop management of two types of flax: linseed and fibre flax. **Ind Crop Prod.** v.68, n.6, p.24-31. 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE. 2020. [updated 2020 Dez 05; cited 2020 Dez 15]. Available from: [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76489](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76489)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE. 2021. [updated 2021 Jan 05; cited 2020 Jan 15]. Available from: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa/14/10193?tipo=grafico&indicador=10319>

KAESTNER A., SCHNEEBELI M., GRAF F. Visualizing three-dimensional root networks using computed tomography. **Geoderma.** v.136, n.1-2, p.459-469. 2006.

KAR G., KUMAR A., MARTHA M. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. **Agric. Water Manag.** v.87, n.1, p.73-82. 2007.

KLIMEK-KOPYRA A. et al. Vertical distribution of the root system of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and legumes in pure and mixed sowing. **Acta Agrobot.** v.68, n.1, p.43-52. 2015.

KOHN L.S., CARDUCCI C.E., SILVA K.C.R., BARBOSA J.S., FUCKS J.S., BENEVENUTE P.A.N. Desenvolvimento das raízes de linho (*Linum usitatissimum* L.) em dois anos de cultivo sobre cambissolo húmico. **Sci Agrar.** v.17, n.1, p.36-41. 2016.

KOHN L.S., CARDUCCI C.E., BARBOSA J.S., BOSCO L.C., ROSSONI D.F. Effect of flaxseed root performance on the structural quality of a Haplumbrept under conservationist management system, in Santa Catarina, Brazil. **Semin., Ciênc. Agrár.** v.1, n.6, p.2523-2540. 2020.

KONKOL A.C.B., FIOREZE A.C.C.L., KRASSMANN K.A., GARCIA A., ANTUNES C.E., PARIZOTTO C. Seleção de linhas puras em linhaça dourada. In: **Resumo do 2nd Simpósio de Genética, Melhoramento e Conservação de Plantas**; 2020 Ago 25-26; Goiania, Brazil. Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2020.

LEAL J.C. **Plantas da Lavoura Sul Riograndense**. 1. ed. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária UFRGS. Capítulo 1, Linho; 1967. p.139-148.

LYNCH J.P. Roots of the second green revolution. **Aust. J. Bot.** v.55, p.493-512. 2007.

MILISICH H.J., GIECO L.C. **Catálogo de variedades vegetales** [Internet]. Buenos Aires:INTA; 2017 [cited 2021 Jan 14]. Available from: <http://inta.gov.ar/busqueda/tipo-de-contenido/variedades/especie-variedad/lino-7832/p/buscar/>

MIRZAI A., MOHAMMADI K., PARVINI S., KHORAMIVAF A., SAEIDI M. Yield quantity and quality of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by sowing date. **Ind Crop Prod.** v.158, e112947. 2020.

MITTAPALLI O., ROWLAND G.G. Inheritance of seed color in flax. **Crop Sci.** v.43, p.1945-1951. 2003.

MONTEIRO J.E.B.A. Org. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília: INMET. 2009. 530p.

O'CONNOR B.J., GUSTA L.V. Effect of low temperature and seeding depth on the germination and emergence of seven flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. **Can. J. Plant Sci.** v.74, n.2, p.247-253. 1994.

ORSI N. **Seleção de progenies de linhaça dourada (*Linum usitatissimum* L.) com base em caracteres produtivos.** [dissertation on the Internet]. Curitiba: Universidade Federal de Santa Catarina; 2019 [cited 2020 Dec 8]. 51 p. Available from: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197339>

PAGEAU D., LAJEUNESSE J. Effet de la date de semis sur la productivité du lin oléagineux cultivé en climat frais. **Can. J. Plant Sci.** v.91, p.29-35. 2011.

PEIXOTO, A. R. **Plantas Oleaginosas Herbáceas.** 1. ed. São Paulo: Livraria Nobel; 1972. Capítulo 5, Linho; p. 89-104.

RODRIGUES F.M. **A Cultura do Linho.** Porto Alegre: Instituto Politécnico de Portalegre; 1998. 21 p.

ROSSETTO C., SANTOS R.F., SOUZA S.N.M., DIAS P.P., KLAUS O. Diferentes doses de Potássio na cultura da linhaça (*Linum Usitatissimum* L.). **Acta Iguazu.** v.1, n.3, p.98-105. 2012.

SALTON J.C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.** v.32, p.11-21. 2008.

SANTOS H.G. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. Brasília: Embrapa; 2018. 356p.

SANTOS H.P., LHAMBY J.C.B., REIS E.M., AMBROSI I. **Avaliação de cultivares de linho (*Linum usitatissimum* L.) em diferentes épocas de semeadura.** In: Embrapa, organizador. Linho: resultados de pesquisa. Passo Fundo: Embrapa Trigo; 1983. p. 27-39.

SCHEWE L.C., SAWHNEY V.K., DAVIS A.R. Ontogeny of floral organs in flax (*Linum usitatissimum*; Linaceae). **Am. J. Bot.** v.98, n.7, p.1077-1085. 2011.

SERAFIM M.E., DE OLIVEIRA G.C., DE LIMA J.M., SILVA B.M., ZEVIANI W.M., LIMA V.M.P. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** v.17, n.4, p.362-370. 2013.

SMITH J.M., FROMENT M.A. A growth stage key for winter linseed (*Linum usitatissimum*). **Ann. Appl. Biol.** v.133, n.2, p.297-306. 1998.

SORLINO D. Respuesta fotoperiódica de tres cultivares de lino (*Linum usitatissimum* L.). **Rev. de la Fac. de Agron.** v.14, n.3, p.265-270. 1994.

SORLINO D. Research applied to global knowledge of flax development. **J. Nat. Fibers.** v.2, n.2, p.111-116. 2005.

STANCK L.T., BECKER D., BOSCO L.C. Crescimento e produtividade de linhaça. **Agrometeoros.** v.25, n.1, p.249-256. 2017.

SUN J., YOUNG L.W., HOUSE M.A., DABA K., BOOKER H.M. Photoperiod sensitivity of Canadian flax cultivars and 5-azacytidine treated early flowering derivative lines. **BMC Plant Biol.** v.19, e177. 2019.

TOMASINI R.G.A. Linho: uma opção para rotação com trigo. **Lavoura Pecuária.** v.15, n.9, p.26-29. 1980.

TOMASINI R.G.A. **Multiplicação de sementes de linho canadenses.** In: Embrapa, organizador. Linho: resultados de pesquisa. Passo Fundo: Embrapa Trigo; 1983. p. 4-8.

VAN RAIJ B. **Gesso na agricultura.** 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico; 2008. 233 p.

VAN-ZEIST W., BAKKER-HEERES J.A.H. Evidence for linseed cultivation before 6000 BC. **J. Archaeol. Sci.** v.2, n.3, p.215-219. 1975.

WANG Z. et al. The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads. **Plant J.** v.72, n.3, p.461-473. 2012.

WANG L., ZHAO B., TAN M., LIU J., WANG L., YAN X. Effects of plastic film mulching on flax (*Linum usitatissimum* L.) root distribution and water use efficiency. **Oil Crop Science.** v.2, n.1, p.49-56. 2017.

WERNER O.V., SANTOS R.F., VIDOTTO M.L., ROSA H.A., VIEIRA M.D., CARPINSKI M. Uréia e sulfato de amônio aplicados em cobertura em Linhaça (*Linum usitatissimum* L.). **Acta Iguazu.** v.1, n.1, p.42-47. 2012.

WHITELEY G.M., DEXTER A.R. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. **Soil Tillage Res.** v.2, n.4, p.379-393. 1982.

YANG F., LIU F., ROWLAND G. Effects of diurnal temperature range and seasonal temperature pattern on the agronomic traits of fibre flax (*Linum usitatissimum* L.). **Can. J. Plant Sci.** v.93, p.1249-1255. 2013.

## LINHAÇA: COMPOSIÇÃO, COMPOSTOS BIOATIVOS E EFEITOS FISIOLÓGICOS NA SAÚDE HUMANA

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 10/05/2021

### **Regiane Lopes de Sales**

Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba  
Rio Paranaíba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/8498699023722562>

### **Alexandre Vinco Pimenta**

Universidade Federal do Espírito Santo,  
Campus de Alegre  
Alegre – ES  
<http://lattes.cnpq.br/8658179567763257>

### **Neuza Maria Brunoro Costa**

Universidade Federal do Espírito Santo,  
Departamento de Farmácia e Nutrição,  
Campus de Alegre  
Alegre – ES  
<http://lattes.cnpq.br/9592871700382838>

## 1 | INTRODUÇÃO

A linhaça ou semente do linho “*Linum usitatissimum L.*”, cujo significado traduzido do latim é “muito útil”, apresenta várias características que fazem jus ao seu nome. A planta foi cultivada inicialmente como fibra para fabricação de tecido, cordas e papéis, as sementes utilizadas para extração do óleo, usado na ração animal, na produção de tintas e lubrificantes (GOYAL et al., 2014;

AYDEMIR et al., 2018). O consumo da linhaça como alimento também remonta ao homem paleolítico, entretanto apenas no último século intensificaram as pesquisas sobre seu valor nutricional (SONI et al., 2016). A semente apresenta versatilidade culinária podendo ser consumida inteira ou moída, crua, torrada, utilizada em bolos, pães, biscoitos, sucos etc. e frações isoladas da semente têm sido utilizadas como nutracêuticos (PARIKH et al., 2019).

## 2 | COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL

A linhaça é uma das principais fontes de ácidos graxos ômega 3 do reino vegetal. Apresenta de 30 a 40% de lipídios, dos quais cerca de 60% são compostos de ácido alfa-linolênico (ômega 3); 15% de proteína; e 40% de carboidratos totais, dos quais apenas 1% a 2% estão na forma disponível, estando a maioria dos carboidratos na forma de fibras alimentares (Tabela 1).

Nutriente/ composto bioativo	Quantidade/ 100g	Nutriente/composto bioativo	Quantidade/100g
Carboidratos totais (g) <sup>a</sup>	43,3	Riboflavina (mg)	Tr
Carboidratos disponíveis (g)	9,81	Niacina (mg)	Tr
Proteína (g)	14,1	Piridoxina (mg)	0,13
Lipídio total (g)	32,3	Alfa-tocoferol (mg) <sup>c</sup>	552,0
Ácidos graxos saturados (g)	4,2	Cálcio (mg)	211,0
Ácidos graxos monoinsaturados (g)	7,1	Cobre (mg)	1,09
Ácidos graxos polinsaturados (g)	25,3	Magnésio (mg)	347
Ácido alfa- linolênico (g)	19,81	Manganês (mg)	2,81
Ácido linoleico (g)	5,42	Fósforo (mg)	615
Fibra alimentar (g)	33,5	Potássio (mg)	869
Lignananas (mg) <sup>b</sup>	82 – 2.600	Sódio (mg)	9
Ácido ascórbico (mg)	Tr	Zinco (mg)	4,4
Tiamina (mg)	0,12	Ferro (mg)	4,7

<sup>a</sup>Valores incluem fibras

<sup>b</sup>Bassett *et al.* (2009)

<sup>c</sup>Valores em mg/kg de lipídio (Goyal *et al.*, 2014)

Tr = Traços

Tabela 1 – Composição química dos nutrientes e compostos fotoquímicos da linhaça

Fonte: TBCA (2020)

A linhaça contém 30% de fibras alimentares totais, das quais 75% são insolúveis e 25% solúveis, sendo as principais frações de fibra compostas de celulose, mucilagens e lignina (PARIKH *et al.*, 2018). É rica em vitamina E e vitaminas do complexo B. Potássio e fósforo são os minerais mais abundantes, que contém ainda ferro, zinco, manganês e carotenoides como luteína e violaxantina (DAUN *et al.*, 2003; TBCA, 2020).

É também uma das fontes alimentares mais ricas em lignanas, que são substâncias fenólicas, não calóricas, capazes de se ligar a receptores de estrógeno nas células, interferindo no metabolismo dele. A linhaça possui cerca de 80 vezes mais lignanas do que qualquer outro alimento (IMRAN *et al.*, 2015). O secoisolariciresinol diglicosídeo (SDG) é a principal substância presente e, em menor proporção, ácido glicosídeo cinâmico, ácido hidroximetilglutárico (HMGA), matairesinol e pinioresinol (TOURÉ & XUEMING, 2010, PARIKH *et al.*, 2018).

É encontrada em duas variedades, marrom e dourada, ambas com composição nutricional muito semelhante. Existe ainda uma terceira variedade, também dourada, conhecida como *linola*, que possui baixos níveis de ácidos graxos ômega 3. A linhaça dourada se adapta mais facilmente em climas frios, é cultivada em maior intensidade nos países europeus e América do Norte, a variedade marrom se adaptou em países de clima tropical, sendo cultivada na América do Sul, África e Ásia.

A linhaça apresenta ainda compostos com propriedades antinutricionais, como o tanino (80-82 EC/100 g), ácido fítico/fitato (1290-1440 mg/100 g) e o ácido oxálico/oxalato (290-310 mg/100 g) (PIMENTA et al., 2020). Entretanto, as quantidades presentes não representam risco para consumo humano. O consumo de 540 mg de SDG, equivalentes a 80 g de linhaça/dia por 6 meses também se mostrou segura para humanos (NOAEL) (DAUN et al., 2003; BILLINSKY et al. 2013). O tratamento térmico (MORAIS et al., 2011) e a germinação (PIMENTA et al., 2020) são sugeridos para inativar parte dos fatores antinutricionais.

Em virtude da sua composição nutricional, a linhaça é estudada como uma possível aliada na redução de risco de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT). São reportados na literatura vários benefícios associados ao seu consumo regular, entre eles efeitos hipocolesterolemiantes (SAXENA & KATARE, 2014; KAWAKAMI et al., 2015; AKRAMI et al., 2018; PRASAD et al., 2020; HADI et al., 2020a), hipoglicemiante (HUTCHINS et al., 2013; ZHU et al., 2020; KUANG et al., 2020), anti-hipertensivo (URSONIU et al., 2016) anticancerígeno (DE SILVA & ALCORN, 2019; PAL et al., 2019; TANNOUS et al., 2020), antioxidante (BIAO et al., 2020), redutor da inflamação (BASHIR et al., 2019; ASKARPOUR et al., 2020; PALLA et al., 2020) e laxativo (PARIKH et al., 2019).

Os compostos bioativos responsáveis por todas essas ações são especialmente as lignanas, o ácido alfa-linolênico (ALA) e as fibras, que atuam por meio de diversos mecanismos, dos quais descreveremos a seguir:

## 2.1 Lignanas

As lignanas são conhecidas como fitoestrógenos, compostos conhecidos por exibir uma ampla gama de funções biológicas, incluindo atividades estrogênicas, cardioprotetoras, bem como antiestrogênicas, propriedades antioxidantes e anticarcinogênicas (BRITO & ZANG, 2019).

As lignanas vegetais SDG, matairesinol (MAT) e pinoresinol (PINO) são pobremente absorvidas diretamente, a maior parte é convertida por betaglicosidase bacteriana no cólon, em lignanas de mamíferos enterodiol (END) e enterolactona (ENL), que são, então, absorvidas e exercem ações estrogênicas, ou são excretadas (Figura 1). No fígado, sob ação de enzimas hepáticas, sofrem nova transformação metabólica, com atuação similar à dos estrogênios sintéticos (DE SILVA & ALCORN, 2019).

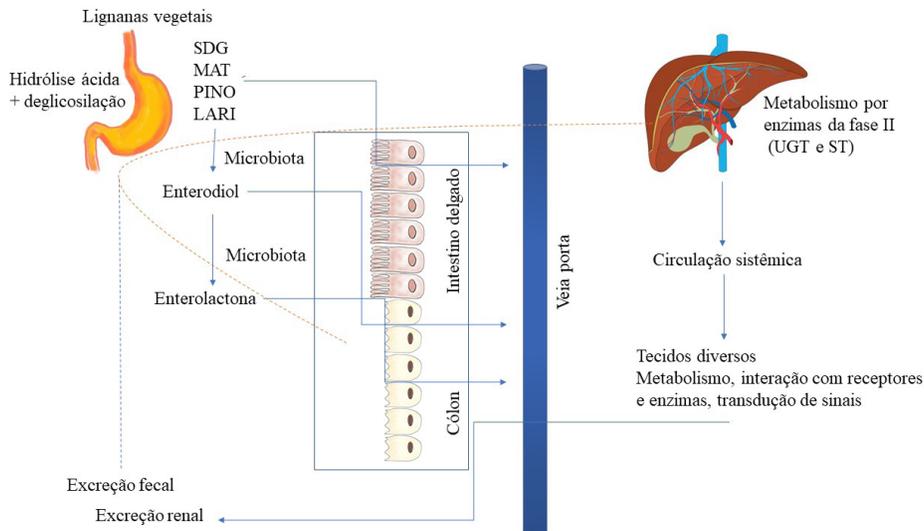


Figura 1. Metabolismo das lignanas vegetais. As lignanas vegetais SDG, MAT, PINO, LARI por seu conteúdo lipofílico podem ser absorvidas diretamente por absorção passiva, mas a maior parte sofre transformação pela microbiota, nas lignanas mamárias enterodiol e enterolactona, que são absorvidas no cólon. As lignanas caem na veia porta, sofrem metabolização pelas enzimas da fase II no fígado, uma parte é excretada via bile, caindo na circulação entero-hepática. Após entrarem na circulação sistêmica atingem tecidos diversos, interagindo com receptores, enzimas e transdução de sinais. Sofrem excreção renal ou fecal quando não absorvidas. Adaptado de KEPERMAN et al., (2010).

O enterodiol e enterolactona formados exercem então potentes efeitos antioxidantes nos tecidos onde se depositam, exercendo tanto ação antioxidante direta, estabilizando espécies reativas de oxigênio e radicais lipídicos, como ação indireta, por diferentes mecanismos que auxiliam o sistema antioxidante endógeno. Um desses mecanismos é a regulação da expressão de enzimas antioxidantes e enzimas da fase II de detoxificação. A enterolactona se mostrou capaz de ativar o fator nuclear eritróide 2 relacionado ao fator 2 (Nrf2), que é conhecido como regulador chave da resposta antioxidante do organismo (KIVELÄ et al., 2008). Por meio dessa ação antioxidante e anti-inflamatória, as lignanas atuam em diversos tecidos, reduzindo o risco de desenvolvimento de DCNT como câncer, diabetes, aterosclerose (RHEE & BRUNT, 2011; GOYAL et al., 2014; PARIKH et al., 2019). Estudos prévios mostram que a atividade antioxidante das enterolignanas é 4,5 a 5 vezes mais forte do que o da vitamina E (TOURÉ & XUEMING, 2010).

As lignanas podem ainda interferir no metabolismo hepático, intensificando a atividade de receptores de LDL, aumentando a remoção de LDL e VLDL (lipoproteína de muito baixa densidade) pelo hepatócito, modulando a ação da enzima acil-CoA colesterol transferase, o que pode contribuir para redução dos teores de LDL (PRASAD et al., 2020). Alguns estudos observaram que as lignanas podem exercer efeitos sobre a redução da trigliceridemia, na relação cintura-quadril (RCQ), na lipoproteína (a) [Lp(a)] e em alguns

marcadores inflamatórios como a proteína C reativa (PCR) (HALLUND et al., 2008; HADI et al., 2020b). As lignanas atuam ainda no metabolismo de ácidos biliares, aumentando a sua excreção e reduzindo a absorção de colesterol de origem alimentar (HADI et al., 2020a).

## 2.2 Ácido alfa-linolênico

A linhaça é a principal fonte dietética de ácido graxo alfa-linolênico (ALA), cuja concentração é de 60% dos lipídios totais (TBCA, 2020). O ALA é um ácido graxo essencial ao ser humano, precursor do ácido eicosapentaenoico (EPA) e do ácido docosaenoico (DHA), que são ácidos graxos da série ômega 3 de cadeia longa, encontrados em óleos de peixes de águas profundas e geladas. Esses ácidos graxos são precursores de eicosanoides anti-inflamatórios como prostaglandina E3 e F3 (PGE3 e PGF3), estão altamente associados à redução do risco de doenças cardiovasculares, pela prevenção de arritmias (ABDELHAMID et al., 2018; WATANABE & TATSUNO, 2020) diminuição da concentração de lipídios plasmáticos, da glicemia (O'MAHONEY et al., 2018), da pressão arterial (BERCEA et al., 2021), da agregação plaquetária e da inflamação (CALDER, 2001; OIKONOMOU et al., 2019). Cerca de 10% do ALA é metabolizado no nosso organismo em EPA e 1% em DHA (BACKER et al., 2018).

O consumo de óleo de linhaça, ou ALA, reduz a síntese de TXA2, TXB2 e PGE2 e aumenta a concentração de prostanóides não inflamatórios, como PGE3 (YADAV et al., 2018). O ALA pode alterar a produção de eicosanoides e as suas funções por vários mecanismos. SALE-GHADIMI et al. (2020) verificaram que o consumo de óleo de linhaça foi capaz de reduzir os metabólitos do ácido araquidônico nas membranas de eritrócitos de indivíduos com doença cardiovascular, alteração essa capaz de impactar a agregação plaquetária e trombose, pressão arterial, reduzindo os riscos cardiovasculares.

A maior parte do ALA é metabolizada em compostos di-hidroxiados que exercem atividades anti-inflamatórias e anti-agregatórias e podem ser responsáveis pela maioria dos efeitos do ALA (GUICHARDANT et al., 2019). O incremento da dieta com doses maiores de ALA também pode provocar redução de moléculas de adesão e proteínas da fase aguda da inflamação (RAHIMLOU et al., 2019). O ALA parece exercer efeitos anti-inflamatórios via ativação do receptor gama de proliferação ativada do peroxissomo (PPAR-gama). Diminui, ainda, a PCR sérica e as moléculas de adesão celular, incluindo molécula 1 de adesão celular, molécula 1 de adesão intercelular, selectina E, TNF- $\alpha$  e IL-6 (YADAV et al., 2018; ZHU et al., 2020).

## 2.3 Fibras

Dietas com baixo teor de fibras estão associadas a muitas doenças crônicas, incluindo a doença inflamatória intestinal, doença cardíaca, obesidade, diabetes e câncer colorretal. O incremento de fibras alimentares na dieta, oriundas de alimentos integrais, frutas e verduras é capaz de reduzir consideravelmente o risco dessas doenças crônicas.

TREAPLETON et al. (2013) concluíram em meta-análise, que o aumento de 7g de fibras na dieta é capaz de reduzir 9% de risco de doença cardiovascular e doença coronariana.

A linhaça é rica em fibras, 100g da semente contém cerca de 20g de fibras solúveis e 9g de fibras insolúveis, presentes principalmente na casca (PARIKH et al., 2019). O seu conteúdo de fibra a torna um complemento ideal para uma dieta balanceada voltada para o reduzido risco dessas doenças crônicas.

Evidências sugerem que as fibras solúveis se ligam aos ácidos biliares e ao colesterol durante a formação de micelas intraluminares (NAUMANN et al., 2020), o que resulta em menor conteúdo de colesterol nas células hepáticas, levando à regulação positiva nos receptores de LDL e aumentando a depuração de colesterol LDL (EVANS, 2020). Entretanto, o aumento da excreção dos ácidos biliares é um dos principais mecanismos, mas não é suficiente para a redução do colesterol total observada. Outro mecanismo proposto inclui inibição da síntese hepática de ácidos graxos por produtos da fermentação (ácidos graxos de cadeia curta [AGCC] como acetato, butirato, propionato) (NISHINA et al., 1990), alteração na motilidade intestinal (SUN et al., 2020), aumento da viscosidade diminuindo a absorção de macronutrientes (KRISTENSEN et al., 2012), o que leva ao aumento da sensibilidade à insulina, aumento da saciedade e menor ingestão calórica (BURTON-FREEMAN, 2000).

A produção de ácidos graxos de cadeia curta pelas fibras solúveis, principalmente o propionato, pode agir como fator anti-inflamatório por vários mecanismos, especialmente pela redução da expressão do gene relacionado ao TNF- $\alpha$  (AL-LAHHAN & REZAEI, 2019). Recente meta-análise concluiu que uma dieta rica em fibras solúveis é capaz de aumentar os efeitos das estatinas, sendo possível complementar a monoterapia com estatinas, na redução da dose prescrita, reduzindo efeitos colaterais e melhorando a tolerabilidade ao medicamento (SOLIMAN, 2019).

Já a fibra insolúvel, reduz a resistência à insulina, é útil no tratamento da constipação e ajuda a manter a saúde geral do intestino com o aumento do volume das fezes e a normalização do tempo de trânsito intestinal (SUN et al., 2020).

## 3 | EFEITOS FISIOLÓGICOS DO CONSUMO DE LINHAÇA

### 3.1 Perfil lipídico

AFZAL et al. (2020) analisaram a incorporação de farinha de linhaça (10%) e a inclusão de extrato etanólico de linhaça (5%) em ratos com uma dieta hipercolesterolemia. Os ensaios de bioavaliação revelaram redução de 13,10% do colesterol sérico sobre o fornecimento do extrato de linhaça e redução de 7,85% utilizando a farinha de linhaça na dieta. Além disso, foi relatada redução na LDL (14,28%) com a suplementação de extrato de linhaça, sendo que a intervenção baseada em extrato de linhaça mostrou uma maior bioeficácia para lidar com a hipercolesterolemia em comparação com a farinha de linhaça.

NAIK et al. (2018) relataram que ratos suplementados com 7,5 g de linhaça/kg/dia

durante 90 dias tiveram redução significativa nos níveis de colesterol total, triacilgliceróis, LDL, HDL, juntamente com enzimas antioxidantes celulares como catalase, superóxido dismutase, glutatona peroxidase, glutatona redutase e glutatona S transferase.

Em pacientes submetidos à aférese de lipoproteína para hiperlipidemia grave, a suplementação de um biscoito enriquecido com linhaça (28 g/dia) promoveu redução consistente e significativa nos níveis de colesterol total e LDL. Por outro lado, não houve efeito significativo da linhaça nas concentrações de lipoproteína A, proteína C reativa e interleucina 6 (KANIKOWSKA et al., 2020).

Vários outros trabalhos têm mostrado de forma consistente a melhoria do perfil lipídico de humanos após o consumo regular de linhaça (EDEL et al., 2015; AKRAMI et al., 2018; SOLTANIAN & JANGHORBAN, 2018), principalmente quando os valores plasmáticos de colesterol total, LDL e TG estão elevados (PRASAD et al., 2020). Em uma meta-análise recente, baseado em 62 trabalhos clínicos randomizados, HADI et al (2020a), relatam que a linhaça é capaz de reduzir o colesterol total, LDL e TG principalmente de indivíduos não saudáveis com valores iniciais altos desses lipídios. O consumo de linhaça também parece ser eficaz para redução de lipoproteína (a) em indivíduos hipercolesterolêmicos em cerca de 15% dos valores iniciais (ARJMANDI et al., 1998; BLOEDON et al., 2008; HADI et al., 2020b).

Mais trabalhos precisam ser realizados para identificar a dose-resposta capaz de promover esses benefícios, entretanto a maioria dos estudos foi realizada com 30 a 40 g de linhaça/dia (PATADE et al., 2008; WU et al., 2010; KATARE et al., 2013; SAXENA & KATARE, 2014; TORKAN et al., 2015; EDEL et al., 2015, YARI et al., 2020).

Trabalhos realizados com o óleo de linhaça e a linhaça desengordurada também foram realizados para avaliar a alteração no perfil lipídico (STUGLIN & PRASAD, 2005; HALLUND et al., 2006; KAWAKAMI et al., 2015; MIRFATAHI et al., 2016; AKRAMI et al., 2018) com resultados mais discretos, evidenciando que a linhaça integral seria mais eficaz que os seus componentes isolados (HADI et al., 2020b; PRASAD et al., 2020). Para humanos, a dosagem de farinha de linhaça desengordurada, contendo SDG para reduzir a colesterolemia pode ser inviável de introduzir na dieta (HALLUND et al., 2006). Em meta-análise, PRASAD et al. (2020) concluem que o óleo de linhaça é eficaz em reduzir os lipídios plasmáticos quando fornece quantidades de ALA superiores a 25g/dia (cerca de 42g de óleo de linhaça/dia).

Embora a redução no perfil lipídico não seja muito pronunciada (de 7 a 15% na fração LDL e colesterol total respectivamente), os compostos bioativos da linhaça atuam em outros mecanismos, reduzindo o risco de doenças cardiovasculares, como redução do processo inflamatório e da pressão arterial descritos posteriormente.

### 3.2 Agregação plaquetária e processo inflamatório

O estudo de MORSHEDZADEH et al. (2019) avaliou o possível efeito da linhaça (30 g/dia) e do óleo de linhaça (10 g/dia) nos níveis de marcadores inflamatórios no soro, parâmetros metabólicos e a gravidade da doença em pacientes com colite ulcerativa. Comparando-se a alteração das variáveis, houve diminuição significativa na calprotectina fecal, escore de Mayo, taxa de sedimentação de eritrócitos, INF- $\gamma$ , IL-6, circunferência da cintura, pressão arterial diastólica e sistólica e um aumento significativo no escore TGF- $\beta$  e no Escore de Questionário-Curto da Doença Inflamatória Intestinal em comparação com o controle. Não houve diferença entre os grupos linhaça e óleo de linhaça, exceto o TGF- $\beta$ , concluindo que tanto o óleo de linhaça quanto a linhaça atenuam marcadores inflamatórios, a gravidade da doença, pressão arterial e circunferência da cintura.

PALLA et al. (2020) avaliaram a base farmacológica para o uso medicinal de linhaça em doenças inflamatórias intestinais. Extratos brutos aquosos-etanoicos de linhaça e óleo de linhaça foram testados contra colite induzida por ácido acético em camundongos. O óleo de linhaça foi mais eficaz na redução da mortalidade e úlceras coloniais do que o extrato, já o extrato foi mais eficaz no aumento do teor de mucina, apresentando um efeito anti-inflamatório ligeiramente maior e redução da profundidade da lesão. Os resultados deste estudo sugeriram que a linhaça possui ação anti-inflamatória, antibacteriana e antiespasmódica através de múltiplas vias e, portanto, oferece potencial promissor a ser desenvolvido para controle da doença inflamatória intestinal.

BASHIR et al. (2019) avaliaram o efeito da suplementação de óleo de linhaça nos macrófagos de tecido adiposo, resolvinas E e D e inflamação do tecido adiposo em camundongos por 4 semanas. O estudo mostrou que a suplementação levou a níveis aprimorados de ácido eicosapentaenoico e docosaenoico, resolvinas da série E e D, interleucinas 4 e 10 e arginase 1, juntamente com a infiltração de células imunes alteradas e expressão reduzida de NF- $\kappa$ B. Segundo os autores, a suplementação suprime a infiltração de células imunes no tecido adiposo e altera o fenótipo de tecido adiposo para o estado anti-inflamatório através do aprimoramento das resoluções da série E e D, expressão arginase 1 e nível de citocinas anti-inflamatórias (IL-4 e IL-10), levando à amenização da resistência à insulina em camundongos suplementados com óleo de linhaça.

Alguns trabalhos demonstraram redução do processo inflamatório (BARANOWSKI et al., 2012; BOWERS et al., 2019; MORSHEDZADEH et al., 2019) e menor agregação plaquetária (NANDISH et al., 2020); após o consumo de óleo de linhaça e de linhaça em grão. Como citado anteriormente, o EPA produzido a partir de ALA pode inibir a produção ou a conversão dos metabólitos do AA, que são pró-inflamatórios. E, metabólitos di-hidroxiados do ALA também exercem atividades anti-inflamatórias e reduzem a agregação plaquetária (GUICHARDANT et al., 2015). A linhaça em grão parece ser mais eficaz na redução dos marcadores inflamatórios, pela junção dos nutracêuticos (fibra solúvel, ALA e

lignanás).

Os marcadores inflamatórios, no entanto, sofrem grande variabilidade, dependendo do tipo de tratamento/dieta, índice de massa corporal (IMC), idade, estilo de vida, histórico genético, dificultando a compreensão do comportamento desses parâmetros (ASKARPOU et al., 2020). RAHIMLOU et al. (2019), em meta-análise recente concluíram que indivíduos que apresentam valores elevados de CRP, TNF- $\alpha$ , IL-6, ou seja, uma inflamação ativa, apresentam reduções desses parâmetros de forma mais expressiva, com o consumo da linhaça ou seus derivados.

### 3.3 Pressão arterial

110 pacientes com hipertensão foram recrutados para receber uma variedade de alimentos (*bagels*, *muffins*, pães, massas e biscoitos) que continham 30 g de farinha de linhaça/dia durante um ano. No ensaio clínico, a linhaça dietética gerou uma redução na pressão arterial sistólica e diastólica. As oxilipinas foram implicadas como potenciais mediadores mecanísticos, os dados apoiam várias oxilipinas específicas como mediadores potenciais nas propriedades anti-hipertensivas da semente de linhaça, sendo que a linhaça induziu uma diminuição em muitas oxilipinas, o que correspondeu a um risco reduzido da pressão arterial elevada. Esses dados apoiam o uso de linhaça dietética para o manejo da hipertensão em pacientes que tomam medicamentos anti hipertensivos e ainda permanecem com a pressão arterial descontrolada (CALIGIURI et al., 2016).

Foi realizado um estudo com 80 pacientes hiperlipidêmicos e hipertensos que receberam 36 g de linhaça durante 8 semanas. Foi encontrada redução significativa em índices antropométricos (circunferência da cintura e relação cintura-quadril) e perfis lipídicos (triacilglicerol, colesterol total e LDL) dentro do grupo de linhaça em comparação com o grupo placebo. Com base nesses efeitos benéficos da linhaça sobre fatores de risco cardiovasculares, parece que o consumo de linhaça pode ser considerado como uma abordagem terapêutica útil para pacientes hipertensos (HAGHIGHATSIAR et al., 2019).

MODARRES et al. (2020) avaliaram 100 pacientes hipertensos que receberam pães contendo 30 g de linhaça por 14 semanas. Pressão arterial, circunferência abdominal e IMC foram medidos no início, sétima semana e no final do estudo. A linhaça reduziu significativamente a pressão arterial sistólica e diastólica, o IMC e a circunferência abdominal também apresentaram reduções significativas, contribuindo para o controle da pressão arterial dos indivíduos.

SALEH-GHADIMI et al. (2019) objetivaram investigar os efeitos do óleo de linhaça nos índices antropométricos e no perfil lipídico em pacientes com doença arterial coronariana. Os resultados indicaram que a suplementação com óleo de linhaça não teve impacto nos índices antropométricos, mas ao final da intervenção, a pressão arterial diastólica diminuiu significativamente, além disso, o nível de triacilglicerol também reduziu.

Trabalhos realizados com indivíduos normo e hipertensos, consumindo cerca de

30 g de linhaça por 10 semanas, identificaram queda na pressão arterial, principalmente na diastólica (RODRIGUES-LEYVA et al., 2013; SAXENA & KATARE, 2014; MACHADO et al., 2015). Entretanto, esse resultado não foi encontrado por HAGHIGHATSIAR et al (2019), fornecendo 24 g de farinha de linhaça para indivíduos dislipidêmicos e hipertensos durante 8 semanas. Neste trabalho, outras variáveis sofreram reduções significativas que impactam na doença cardiovascular, como variáveis antropométricas e lipídios séricos, mas a pressão arterial não se alterou.

PIERCE et al. (2015) publicaram uma revisão sobre o efeito da linhaça na pressão arterial e discutiram alguns mecanismos propostos para esse efeito:

- O ALA pode ser responsável por grande parte do efeito, por meio da sua ação anti-inflamatória. O ALA reduz atividade da oxilipina epóxido hidrolase solúvel (responsável pela perda da vasodilatação em indivíduos hipertensos); outra oxilipina que reduz a ação com o consumo de linhaça é a oxilipina agregadora de neutrófilos;
- As lignanas presentes na linhaça, além do seu efeito antioxidante, podem inibir a enzima angiotensina I e ativar a guanilato ciclase;
- E por fim, os peptídeos ricos no aminoácido arginina (precursor do óxido nítrico) auxiliam na vasodilatação. Os autores discutem vários trabalhos comprovando cada mecanismo, que em conjunto podem auxiliar na redução da pressão arterial sistólica e diastólica.

O estudo mais bem delineado sobre a redução da pressão arterial proporcionada pelo consumo da linhaça (FLAX-PAD trial), foi um estudo prospectivo, duplo cego, com 110 pacientes hipertensos, consumindo 30 g de linhaça por 6 meses. Ao final do estudo, houve queda de 10 mmHg na pressão sistólica e 7 mmHg na pressão diastólica, para o grupo que consumiu linhaça.

KHALESI et al. (2015) relataram um mínimo 12 semanas de consumo crônico da linhaça necessário para se obter alguma alteração na pressão arterial, e que a linhaça integral, moída seria mais benéfica em relação ao consumo do óleo ou das lignanas para controle da pressão arterial.

### **3.4 Manutenção do peso e prevenção da síndrome metabólica**

53 adultos com sobrepeso e obesos foram recrutados e randomizados para consumir biscoitos suplementados com farinha de linhaça desengordurada por 60 dias (aproximadamente 100 g/dia). Os resultados mostraram que o peso corporal, IMC, triacilglicerol e IL-6 do grupo que ingeriu a farinha de linhaça foram significativamente menores do que o do grupo controle, evidenciando que os biscoitos suplementados com farinha de linhaça têm efeito benéfico em indivíduos com sobrepeso e obesidade (KUANG et al., 2020).

Em um ensaio clínico controlado randomizado, 60 pacientes com síndrome

metabólica receberam óleo de linhaça (25 mL/dia) durante 7 semanas. Após este período, observou-se que o consumo de óleo de linhaça melhorou os níveis de soro IL-6, mas não teve efeito sobre o estresse oxidativo e o escore de coagulação em pacientes com síndrome metabólica. A ingestão de óleo de linhaça como a principal fonte de gordura dietética poderia melhorar o estado inflamatório entre os pacientes, no entanto, não foram observadas alterações significativas nos níveis séricos da capacidade antioxidante total e no escore de coagulação, mas no que diz respeito ao nível básico de inflamação em síndrome metabólica que leva a doenças cardiovasculares e diabetes *mellitus* tipo 2, o óleo de linhaça pode ser útil (AKRAMI et al., 2020).

YANG et al. (2020) investigaram os efeitos do polissacarídeo de linhaça no metabolismo lipídico e na microbiota intestinal em camundongos alimentados com dieta rica em gordura. O polissacarídeo reduziu efetivamente a glicose de jejum de soro, triacilglicerol total e níveis totais de colesterol. O acúmulo de gordura proveniente do consumo desse polissacarídeo impactou na microbiota intestinal em diferentes níveis taxonômicos, aumentando as proporções de substâncias benéficas e diminuindo a doença ou obesidade associada. Essas alterações foram altamente correlacionadas com a regulação dos níveis de expressão do metabolismo lipídico envolvendo genes no fígado, sugerindo que o polissacarídeo de linhaça pode ser usado como um prebiótico para reduzir o risco de síndrome metabólica, modulando a microbiota intestinal.

A combinação da linhaça com outros compostos bioativos presentes em outros tipos de alimentos também pode promover melhorias nos fatores que compõem a síndrome metabólica. É o caso da combinação com a hesperidina, um composto encontrado principalmente no mesocarpo de citrinos não maduros, como *grapefruit*, laranja, limão e tangerina.

YARI et al. (2020) compararam o efeito clínico da linhaça (30 g/dia) e hesperidina (1 g/dia) sozinhos e combinados em pacientes com síndrome metabólica e observaram que, o grupo linhaça mostrou melhora significativa nas concentrações de triacilgliceróis, insulina e, conseqüentemente, resistência à insulina, já a combinação de linhaça e hesperidina melhorou três dos cinco componentes da síndrome metabólica. Sendo que a coadministração de linhaça e hesperidina promoveu redução de 77% na prevalência de síndrome metabólica, enquanto a linhaça isolada promoveu 76% de redução e o grupo hesperidina 54%. Outro estudo de YARI et al. (2021) também observou que a administração combinada de linhaça e hesperidina em indivíduos com pré diabetes promoveu redução do peso, da circunferência da cintura, da pressão arterial, além de melhorias do perfil lipídico, índices aterogênicos, parâmetros de homeostase de glicose e biomarcadores inflamatórios.

OLIVEIRA et al. (2012) verificaram que o consumo diário de 70 g de linhaça promoveu redução da absorção lipídica, sendo apresentada menor disponibilidade energética. Os autores sugerem que a biodisponibilidade de nutrientes pode estar comprometida pela presença de fibras e estruturas celulares que não são rompidas durante o processo

digestivo, entretanto a duração do estudo não foi suficiente para verificar alteração no peso corporal.

Dietas hipolípídicas, ou com controle calórico, complementadas com linhaça foram benéficas na redução do peso corporal, obesidade central e pressão arterial (WU et al., 2010; EDEL et al., 2015).

Em estudos com animais os resultados em relação ao peso e composição são mais promissores: a redução da hipertrofia dos adipócitos, níveis de MCP-1 e infiltração de células T no tecido adiposo de ratos Zucker foram observados após dieta rica em óleo de linhaça (BARANOWSKI et al., 2012). E em outro estudo com camundongos consumindo 10% de SDG por 4 semanas, os pesquisadores relataram um aumento na expressão de adiponectina e menor acúmulo de gordura visceral (FUKUMITSU et al., 2008).

MOHAMMADI-SARTANG et al. (2017) realizaram uma revisão sistemática e meta-análise de 45 estudos clínicos randomizados sobre a linhaça e o controle de peso corporal, concluíram que o uso de linhaça inteira em doses  $\geq 30$  g/dia, intervenções de longo prazo ( $\geq 12$  semanas) e estudos incluindo participantes com IMC mais alto ( $\geq 27$  kg m<sup>2</sup>) tiveram efeitos positivos na composição corporal. A linhaça inteira é uma boa escolha para controle de peso, especialmente para redução de peso em participantes com sobrepeso e obesos.

### 3.5 Glicemia e níveis de insulina

Um estudo de RAYGAN et al. (2019) comparou os efeitos da suplementação de linhaça e óleo de peixe em parâmetros de risco cardiovascular em pacientes diabéticos com doença cardíaca coronariana. Os participantes receberam 1.000 mg de ácidos graxos ômega-3 do óleo de peixe ou 1.000 mg de ácidos graxos ômega-3 de óleo de linhaça ou placebo duas vezes por dia, durante 12 semanas. Observou-se redução significativa nos níveis de insulina após suplementação de óleo de linhaça e de óleo de peixe em comparação com o placebo. Além disso, também foi observada redução significativa na proteína C-reativa de alta sensibilidade e um aumento significativo da capacidade antioxidante total e no nitrito total após a ingestão dos óleos de linhaça e de peixe em comparação com o placebo. No geral, o estudo revelou os efeitos benéficos da suplementação do óleo de linhaça em perfis metabólicos, sugerindo que o efeito do óleo de linhaça na redução da insulina e no aumento da capacidade total de nitrito e antioxidante total é semelhante ao óleo de peixe, já reconhecido e amplamente utilizado para esses fins.

40 pacientes pré-diabéticos com sobrepeso receberam óleo de linhaça (duas cápsulas de 1000 mg por dia) por 14 semanas. Os resultados indicaram diminuição significativa do peso e do IMC. A insulina e a sensibilidade das células beta diminuíram significativamente no grupo da linhaça, quando comparadas com o placebo, entretanto, as alterações médias de sensibilidade e de resistência à insulina não foram significativas entre os grupos, sendo que uma suplementação de óleo de linhaça por 14 semanas pode melhorar o peso e o IMC sem efeito sobre índices glicêmicos e inflamatórios em pacientes

pré-diabéticos (HAJIAHMADI et al., 2020).

SOLTANIAN & JANGHORBANI (2018) avaliaram a administração de 20 g de linhaça/dia, adicionados em biscoitos, em pacientes constipados com diabetes tipo 2 e observaram que os escores dos sintomas de constipação intestinal, peso, IMC, glicemia plasmática de jejum, colesterol total, triacilgliceróis, LDL e HDL diminuíram significativamente do controle.

HASANIANI et al. (2019) introduziram o consumo diário de um iogurte enriquecido com 30 g de linhaça na dieta de pacientes com diabetes tipo 2 e observaram que houve redução significativa da hemoglobina A1c, nos perfis de triacilgliceróis, colesterol total e pressão arterial sistólica e diastólica. No entanto, não foi encontrada diferença significativa para os valores de LDL, HDL, peso corporal e circunferência da cintura.

O alto consumo de ácidos graxos saturados e poliinsaturados da série ômega 6 pode levar à resistência à insulina, principalmente por causa dos efeitos no músculo oxidativo. As alterações fisiológicas no fluxo metabólico induzido por alimentação rica em saturados mimetizam a reação verificada em pacientes dependentes de insulina. Entretanto, a substituição por ácidos graxos ômega 3 pode prevenir a resistência à insulina (HOLNESS et al., 2004; GOYAL et al., 2014).

ARMSTRONG et al. (1996) observaram que o aumento dos níveis de espécies reativas de oxigênio também pode danificar as células beta pancreáticas, por meio da peroxidação das membranas, o que resulta em produtos da peroxidação lipídica e altera a permeabilidade da célula, levando à hiperglicemia e diminuindo a tolerância à glicose. Esses resultados sugerem que a linhaça, pelo seu poder antioxidante, pode ser eficaz na redução da glicemia e melhoria da tolerância à glicose (PRASAD, 2001; RHEE & BRUNT, 2011).

25 ensaios clínicos randomizados foram revisados e analisados sistematicamente por MOHAMMADI-SARTANG et al. (2017) para verificar os efeitos do consumo de linhaça no controle glicêmico. A meta-análise sugeriu uma associação significativa entre a suplementação de linhaça e uma redução na glicose no sangue (diferença da média ponderada de 2,94 mg / dL), níveis de insulina (7,32 pmol / L) e índice HOMA-IR (*homeostasis model assessment*) (0,49) e um aumento no índice QUIKI (*quantitative insulin-sensitivity check index*) (0,019). Na análise de subgrupo, uma redução significativa em glicose no sangue, insulina e HOMA-IR e um aumento significativo no QUIKI foram encontrados apenas em estudos usando linhaça inteira, mas não óleo de linhaça e extrato de lignana.

### 3.6 Câncer

BUCKNER et al. (2019) examinaram os efeitos anti-oncológicos do óleo de linhaça estudando seus efeitos no crescimento de células cancerosas *in vitro*. O tratamento de uma variedade de linhagens de células cancerígenas com óleo de linhaça diminuiu o crescimento de forma dependente de doses, enquanto as linhagens celulares não malignas

mostraram pequenos aumentos no crescimento celular. O tratamento de melanoma murina B16-BL6 e células cancerígenas de mama MCF-7 com óleo de linhaça induziu apoptose conforme determinado por alterações na morfologia celular, fragmentação de DNA e/ou ativação de caspase. Além disso, o tratamento com óleo de linhaça também interrompeu a função mitocondrial nas células B16-BL6 e MCF-7. Esses resultados indicam que o óleo de linhaça pode inibir especificamente o crescimento de células cancerosas e induzir apoptose em algumas células cancerosas e sugere que tem mais potencial na terapia anticâncer.

CHIKARA et al. (2018) avaliaram o efeito da linhaça na tumorigênese pulmonar induzida pelo tabaco em camundongos. Os camundongos expostos foram alimentados com uma dieta 10% suplementada por linhaça por 26 semanas. Os camundongos alimentados com linhaça apresentaram redução da incidência de tumores pulmonares em comparação com o grupo controle. Além disso, os camundongos alimentados com linhaça apresentaram menor incidência de adenocarcinomas. Dados do RNA-Seq obtidos a partir de tumores normais de controle e camundongos alimentados com linhaça sugeriram que a ingestão de linhaça resultou em expressão diferencial de genes envolvendo sinalização de citocina mediada por inflamação (*IL-1, -6, -8, -9, e -12α*), metabolismo xenobiótico (vários *CYPs, GSTs* e *UGTs*), e vias de sinalização (AKT e MAPK) envolvidas na proliferação de células tumorais.

O estudo de DIKSHIT et al. (2017) demonstrou que uma dieta suplementada com linhaça fez com que tumores ovarianos na galinha fossem submetidos à apoptose, resultando em uma redução da carga tumoral, reduzindo a frequência e a gravidade do câncer de ovário.

HU et al. (2019) investigaram os efeitos *in vitro* do extrato de linhaça no crescimento e apoptose das células MCF-7 do câncer de mama humano. As células MCF-7 tratadas com extrato de linhaça mostraram uma diminuição dependente de dose na viabilidade celular. O extrato de linhaça induziu espécies de oxigênio reativo e a análise citométrica de fluxo demonstrou que os ácidos graxos de linhaça desencadearam apoptose das células MCF-7, o que também foi demonstrado pela perda do potencial da membrana mitocondrial e da reação em cascata de caspase. Assim, o extrato de linhaça regulamentou o crescimento das células MCF-7 e induziu a apoptose, sendo que, eventualmente, a linhaça poderia ser usada como suplemento dietético para prevenir o câncer de mama.

TANNOUS et al. (2020) investigaram o potencial efeito anti oncológico das lignanas de linhaça SDG, END e ENL em células de leucemia mieloide aguda (LMA) *in vitro* para decifrar o mecanismo molecular subjacente. As linhagens celulares AML (KG-1 e Monomac-1) e uma linhagem celular linfoblástica normal foram cultivadas e tratadas com as lignanas purificadas. A ENL foi considerada a lignana mais promissora, pois exibe uma dose seletiva significativa e efeito citotóxico dependente do tempo em ambas as linhagens celulares AML, ao contrário das células normais. Os efeitos citotóxicos observados foram atribuídos à indução da apoptose das células LMA com concentrações ENL crescentes.

A análise da expressão proteica confirmou a ativação da via apoptótica intrínseca após o tratamento ENL. Isso também foi acompanhado por um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) intracelularmente. Este estudo demonstra que a ENL tem efeitos anticâncer promissores nas linhagens celulares LMA *in vitro*, promovendo a fragmentação do DNA e a via apoptótica intrínseca, destacando os a redução de riscos para o desenvolvimento de leucemia.

A presença de lignanas da linhaça e seu efeito estrogênico e antiestrogênico podem proteger contra a formação de alguns tipos de tumores dependentes de estrógeno, além de auxiliar na redução do processo de metástase, por reduzir a proliferação celular e a síntese de metabólitos carcinogênicos do estrógeno. Assim, o aumento da absorção e do metabolismo das enterolignanas pode oferecer maior proteção contra os cânceres dependentes de hormônio (CALADO et al., 2018; DA SILVA & ALCORN, 2019). Pesquisas em laboratórios mostraram que a linhaça inibe a formação de tumores de cólon, mama, pele e pulmão (KIVELÄ et al., 2008).

Vários trabalhos relatam aumento sérico e urinário de enterolignanas após consumo de linhaça ou do isolado de lignanas, que, em longo prazo, podem ajudar na redução do risco da carcinogênese de alguns tipos, como o câncer de mama (BUCK et al., 2011; GUGLIELMINI et al., 2011; RODRIGUES-LEYVA et al., 2013; LOWCOCK et al., 2013; CALADO et al., 2018).

As lignanas regulam a transcrição do Nrf2 com subsequente modulação do fator de transcrição NFκB e subsequentes vias oxidativas (BOWERS et al., 2019). As vias moleculares conectadas a estas e várias atividades antioxidantes contribuem para o controle de várias características do câncer, como células resistentes à morte, instabilidade e mutação do genoma, desregulando o metabolismo energético celular e outros (GOYAL et al., 2014).

CHAMBERLAND & MOON (2015) observaram que o ALA presente no óleo de linhaça foi capaz de prevenir a metástase de células do câncer de cólon, pela modulação da adesão celular e formação de colônias. Resultados semelhantes foram relatados por WIGGINS et al. (2015), em culturas de células do câncer de mama. Esses resultados sugerem que a linhaça pode ser, no futuro, um forte aliado em estratégias para redução de risco de alguns tipos de cânceres.

Tem sido descrita uma relação sinérgica entre o consumo de linhaça e o uso do medicamento tamoxifeno (para tratamento de câncer de mama), o consumo de linhaça pode auxiliar a redução das ondas de calor (efeito colateral provocado pelo tratamento) e possivelmente aumentar a eficácia do medicamento (CHEN et al., 2007; CALADO et al., 2018; LINDAHL et al., 2019).

### 3.7 Outros efeitos benéficos

XU et al. (2020) avaliaram o efeito de oligossacarídeos de linhaça (FOS) por 14 dias

em camundongos induzidos a desenvolver colite ulcerativa. Os resultados mostraram que o tratamento com FOS amenizou significativamente a colite pela diminuição do índice de atividade da doença, aumento do comprimento do cólon e melhoria da histologia colonial. O tratamento também regulou os marcadores críticos de tensões oxidativas, incluindo malonaldeído e mieloperoxidase. Além disso, FOS suprimiu significativamente os níveis de citocinas pró-inflamatórias, incluindo TNF- $\alpha$ , IL-6 e IL-1 $\beta$ , e aumentou os de citocina anti-inflamatória IL-10. Os resultados de sequenciamento de alto rendimento do gene 16S rDNA indicaram que o tratamento com FOS aumentou a diversidade microbiana intestinal e inibiu a proliferação de bactérias relacionadas à inflamação. Também foi observado um aumento no total de ácidos graxos de cadeia curta. FOS também protegeu a barreira intestinal aumentando os níveis proteicos de Claudina1 e Ocludina, sendo que de maneira geral, o FOS atenuou a colite induzida modulando a microbiota intestinal e reparando a barreira intestinal, podendo ser considerado um agente anti-inflamatório promissor contra a inflamação intestinal.

Estudos clínicos emergentes sugerem que o óleo de linhaça pode ser uma intervenção eficaz para o manejo da depressão. O estudo de POORBAFERANI et al. (2020) foi realizado para avaliar o efeito da suplementação de óleo de linhaça (cápsula de óleo de linhaça de 1000 mg duas vezes por dia durante 10 semanas) no fator neurotrófico derivado do cérebro, e o estado psicológico em 60 mulheres com depressão. O estudo mostrou que a concentração de soro do fator neurotrófico derivado do cérebro aumentou significativamente após a intervenção em comparação, enquanto o escore total do inventário de depressão de Beck-II foi significativamente menor, mostrando que a suplementação de óleo de linhaça pode melhorar o estado depressivo em mulheres deprimidas, sendo que os achados deste estudo podem oferecer uma nova perspectiva para uma possível intervenção por fatores alimentares na depressão.

HAIDARI et al. (2020) estudaram o efeito da farinha de linhaça (30 g/dia) e mudanças no estilo de vida de 41 mulheres com síndrome do ovário policístico, durante 12 semanas. Após esse intervalo, a linhaça se mostrou eficaz em reduzir o peso corporal, concentração de insulina (HOMA-IR), triacilgliceróis, PCR, leptina, IL-6 e aumentou QUICKI, HDL e adiponectina, comparado com o momento anterior à intervenção, sendo um auxiliar no tratamento de mulheres com síndrome do ovário policístico.

AQEEL et al. (2019) investigaram a eficácia protetora do SDG presente na linhaça na nefrotoxicidade induzida por cloreto de mercúrio. A administração de SDG restaurou níveis normais de albumina e superóxido dismutase. Exame histológico dos rins confirmou que o pré-tratamento do SDG antes da indução reduziu significativamente seus efeitos patológicos, sugerindo que o SDG pode reduzir significativamente os perfis bioquímicos de danos renais, soros e tecidos causados pela nefrotoxicidade induzida. Assim, conclui-se que o SDG protege significativamente o rim contra o dano renal induzido pelo mercúrio, inibindo a formação de radicais livres. Desse modo, a linhaça e suas lignanas podem

oferecer benefícios à saúde e efeitos protetores da doença. Portanto, o uso de linhaça é mais eficaz na inibição do estresse oxidativo e este pode atuar como um agente protetor contra doenças crônicas como insuficiência renal, hiperlipidemia e diabetes.

SHIRVANI et al. (2019) investigaram o efeito do treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e da suplementação de óleo de linhaça na irisina plasmática, nesfatina-1 e resistência em ratos machos. O óleo de linhaça reduziu significativamente os níveis de resistência plasmática e os níveis de irisina plasmática no grupo de suplementação foram superiores a todos os grupos. O programa HIIT com óleo de linhaça como modalidade pode criar um *crossstalk* metabólico entre músculo esquelético e tecidos adiposos e ter benefícios para a saúde, indicado pelo o efeito positivo do HIIT e do óleo de linhaça na melhoria da irisina plasmática, nesfatina-1 e resistência nos níveis. Provavelmente, essas mudanças são consideradas como mecanismos para aumentar o metabolismo e reduzir a síndrome metabólica em pacientes, e assim requerem mais pesquisas.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A linhaça é fonte de vários compostos bioativos distintos que apresentam efeitos tanto isolados como agregados. É uma das melhores fontes alimentares de ALA e lignanas, além de ser rica em fibras solúveis e peptídeos ricos em arginina e outros micronutrientes que tornam sua composição ímpar e de interesse para redução do risco das DCNT.

Na maioria dos estudos que demonstrou efeito benéfico da linhaça, foram utilizadas doses entre 20 e 50 g de linhaça/dia por 12 semanas, e por reunir todos os compostos bioativos, a farinha de linhaça, integral se mostrou superior ao óleo de linhaça ou a farinha desengordurada.

Individualmente, os efeitos na colesterolemia, pressão arterial, manutenção de peso corporal, glicemia e estresse metabólico não se mostraram muito pronunciados, entretanto em conjunto, podem representar um ganho significativo para redução do risco de DCNT.

Muitos trabalhos em modelos animais e humanos foram publicados, entretanto a dose eficaz e os efeitos com longo tempo de administração não estão totalmente elucidados, assim como os benefícios do óleo de linhaça, pelo seu alto teor de ALA, ou o consumo de farinha de linhaça desengordurada, pelo seu teor de SDG.

## REFERÊNCIAS

ABDELHAMID, A.S. et al. Omega-3 fatty acids for the primary and secondary prevention of cardiovascular disease (review). **Cochrane Database of Systematic Review**, issue 7, 2018.

AFZAL, U. et al. Bioassessment of flaxseed powder and extract against hyperglycemia and hypercholesterolemia using Sprague Dawley rats. **Clinical Phytoscience**, v. 6, n. 1, p. 5, 2020.

AKRAMI, A. et al. A Comparative Study of the Effect of Flaxseed Oil and Sunflower Oil on the Coagulation Score, Selected Oxidative and Inflammatory Parameters in Metabolic Syndrome Patients. **Clinical Nutrition Research**, v. 9, n. 1, p. 63-72, 2020.

AKRAMI, A. et al. Comparison of the effects of flaxseed oil and sunflower seed oil consumption on serum glucose, lipid profile, blood pressure, and lipid peroxidation in patients with metabolic syndrome. **Journal of Clinical Lipidology**, v. 12, n. 1, p. 70-77, 2018.

AL-LAHHAN, S. REZAEI, F. Propionic acid counteracts the inflammation of human subcutaneous adipose tissue: a new avenue for drug development. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v.27, p.645-652. 2019.

AQEEL, T. et al. Evaluation of protective efficacy of flaxseed lignan-Secoisolariciresinol diglucoside against mercuric chloride-induced nephrotoxicity in rats. **Molecular Biology Reports**, v. 46, n. 6, p. 6171-6179, 2019.

ARJMANDI, B. H. et al. Whole flaxseed consumption lowers serum LDL-cholesterol and lipoprotein(a) concentrations in post-menopausal women. **Nutrition Research**, v. 18, n. 7, p. 1203-1214, 1998.

ARMSTRONG, A.M. et al. The effect of dietary treatment on lipid peroxidation and antioxidant status in newly diagnosed noninsulin dependent diabetes. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 21, n. 5, p. 719-726, 1996.

ASKARPOUR, M. et al. Effect of flaxseed supplementation on markers of inflammation and endothelial function: A systematic review and meta-analysis. **Cytokine**, v. 126, p. 154922, 2020.

AYDEMIR, C. et al. The examination of vegetable and mineral oil based inks' effects on printing effects with diferente oils. **J Applied Biomaterials & Functional Materials**, v.16. n. 3, p.137-143, 2018.

BAKER, E. J. et al. Metabolism and functional effects of plant-derived ômega-3 fatty acids in humans. **Progress in Lipid Research**, v.64, p. 30-56, 2016.

BARANOWSKI, M. et al. Dietary flaxseed oil reduces adipocyte size, adipose monocyte chemoattractant protein-1 levels and T-cell infiltration in obese, insulin-resistant rats. **Cytokine**, v. 59, n. 3, p. 382-391, 2012.

BASHIR, S. et al. Alteration of adipose tissue immune cell milieu towards the suppression of inflammation in high fat diet fed mice by flaxseed oil supplementation. **PLoS One**, v. 14, n. 10, p. 0223070, 2019.

BASSETT, C.M.; RODRIGUEZ, L.; PIERRE, G.N. Experimental and clinical research findings on the cardiovascular benefits of consuming flaxseed. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism**, v. 34, p. 965-974, 2009.

BERCEA, C.I. et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and hypertension: a review of vasodilatory mechanisms of docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid. **British Journal of Pharmacology**, p. 1-18, 2021.

BIAO, Y. et al. Identification and characterization of antioxidant and immune-stimulatory polysaccharides in flaxseed hull. **Food Chemistry**, v. 315, p. 126266, 2020.

- BILLINSKY, J. et al. No evidence of hypoglycemia or hypotension in older adults during 6 months of flax lignin supplementation in a randomized controlled trial: a safety evaluation. **Pharmaceutical Biology**, v. 51, n. 6, p. 778-782, 2013.
- BLOEDON, L.T. et al. Flaxseed and cardiovascular risk factors: results from a double blind, randomized, controlled clinical trial. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 27, n. 1, p. 65-74, 2008.
- BOWERS, L. W. et al. The flaxseed lignan seoisolariciresinol diglucoside decreases local inflammation, suppresses NFkB signaling, and inhibits mammary tumor growth. **Breast Cancer Research and Treatment**, v.173, p.545-557, 2019.
- BRITO, A.; ZANG, Y. A review of lignan metabolism, milk enterolactone concentration, and antioxidant status of dairy cows fed flaxseed. **Molecules**, p. 24-41, 2019.
- BUCKNER, A. L. et al. Treatment with flaxseed oil induces apoptosis in cultured malignant cells. **Heliyon**, v. 5, n. 8, p. 02251, 2019.
- BURTON-FREEMAN, B. Dietary fiber and energy regulation. **The Journal of Nutrition**, v. 13, n. 2, p. 272-275, 2000.
- CALADO, A. et al. The effect of flaxseed in breast câncer: a literature review. **Frontiers in Nutrition**, v.5, n. 4, 2018.
- CALDER, P.C. Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and immunity. **Lipids**, v. 36, n. 9, p. 1007-1024, 2001.
- CALIGIURI S. P. B. et al. Dietary flaxseed reduces central aortic blood pressure without cardiac involvement but through changes in plasma oxylipins. **Hypertension**, v. 68, n. 4, p. 1031-1038, 2016.
- CHAMBERLAND, J.P.; MOON, H.S. Down-regulation of malignant potential by alpha linolenic acid in human and mouse colon cancer cells. **Familial Cancer**, v. 14, n. 1, p. 25-30, 2015.
- CHEN, J. et al. Dietary flaxseed interaction with tamoxifen induced tumor regression in athymic mice with MCF-7 xenografts by downregulating the expression of estrogen related gene products and signal transduction pathways. **Nutrition and Cancer**, v. 58, n. 2, p. 162-170, 2007.
- CHIKARA, S. et al. Flaxseed consumption inhibits chemically induced lung tumorigenesis and modulates expression of phase II enzymes and inflammatory cytokines in A/J mice. **Cancer Prevention Research**, v. 11, n. 1, p. 27-37, 2018.
- DAUN, J. K. et al. Structure, composition, and variety development of flaxseed. In: Thompson, L.U.; Cunnane S.C. Flaxseed in human nutrition 2<sup>a</sup> ed, 2003. Urbana: AOCS, 2003. p. 1-40.
- DA SILVA, S. F.; ALCORN, J. Flaxseed lignans as important dietary polyphenols for cancer prevention and treatment: Chemistry, pharmacokinetics, and molecular targets. **Pharmaceuticals**, v. 12, n. 2, p. 68, 2019.
- DIKSHIT, A.; HALES, K.; HALES, D. B. Whole flaxseed diet alters estrogen metabolism to promote 2-methoxestradiol-induced apoptosis in hen ovarian cancer. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 42, p. 117-125, 2017.

EDEL, A.L. et al. Dietary flaxseed independently lowers circulating cholesterol and lowers it beyond the effects of cholesterol-lowering medications alone in patients with peripheral artery disease. **The Journal of Nutrition**, 2015.

FUKUMITSU, S. Flaxseed lignan attenuates high-fat diet-induced fat accumulation and induces adiponectin expression in mice. **British Journal of Nutrition**, v. 100, p. 669-676, 2008.

GOYAL, A. et al. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. **Journal of Food Science Technology**, v. 51, n. 9, p. 1633-1653, 2014.

GUICHARDANT, M. et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and oxygenated metabolismo in atherothrombosis. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1851, n. 4, p. 485-495, 2015.

GUICHARDANT, M. et al. Biological relevance of double lipoyxygenase products of polyunsaturated fatty acids, especially within blood vessel and brain. **Biochimie**, v. 159, p. 55-58, 2019.

HADI, A. *et al.* Effect of flaxseed supplementation on lipid profile: An updated systematic review and dose-response meta-analysis of sixty-two randomized controlled trials. **Pharmacological Research**, 2020a.

HADI, A. et al. Impact of flaxseed supplementation on plasma lipoprotein (a) concentrations: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Phytotherapy Research**, v. 34, n. 7. P. 1599-1608, 2020b.

HAGHIGHATSIAR, N. et al. Effect of flaxseed powder on cardiovascular risk factor in dyslipidemic and hypertensive patients. **International Journal of Preventive Medicine**, v. 10, 2019.

H Aidari, F. et al. The effects of flaxseed supplementation on metabolic ovary syndrome: a randomized open-labeled controlled clinical trial. **Nutrition Journal**, v.19, n.1, p.8. 2029.

Hajiahmadi, S. et al. Effect of flaxseed oil on glycemic control and inflammatory markers in overweight adults with pre-diabetes: A double-blind randomized controlled clinical trial. **Journal of Herbal Medicine**, v. 24, p. 100387, 2020.

HAGIGHATSIAR, N. et al. Effect of flaxseed powder on cardiovascular risk fator in dyslipidemic and hypertensive patients. **International Journal of Preventive Medicine**, v. 10, 218, 2019.

HALLUND, J. et al. A lignan complex isolated from flaxseed does not affect plasma lipid concentrations or antioxidant capacity in healthy postmenopausal women. **Journal of Nutrition**, v. 136, n.1, p. 112-116, 2006.

HALLUND, J. et al. The effect of a lignin complex isolated from flaxseed on inflammation markers in healthy postmenopausal women. **Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases**, v. 18, n. 7, p. 497-502, 2008.

HASANIANI, N. et al. The effect of flaxseed enriched yogurt on the glycemic status and cardiovascular risk factors in patients with type 2 diabetes mellitus: randomized, open-labeled, controlled study. **Clinical Nutrition Research**, v. 8, n. 4, p. 284-295, 2019.

- HOLNESS, M. J. et al. Acute w-3 fatty acid enrichment selectively reverses high-saturated fat feeding-induced insulin hypersecretion but does not improve peripheral insulin resistance. **Diabetes**, v. 53, n. 1, p. 166-171, 2004.
- HU, T. et al. Flaxseed extract induces apoptosis in human breast cancer MCF-7 cells. **Food and Chemical Toxicology**, v. 127, p. 188-196, 2019.
- HUTCHINS, A. M. et al. Daily flaxseed consumption improves glycemic control in obese men and women with pre-diabetes: a randomized study. **Nutrition Research**, v. 33, n. 5, p. 367-375, 2013.
- IMRAN, M. et al. Potential protective properties of flax lignan secoisolariciresinol diglucoside. **Nutrition Journal**, v. 14, 2015.
- KANIKOWSKA, D. et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Supplementation in Patients Undergoing Lipoprotein Apheresis for Severe Hyperlipidemia - A Pilot Study. **Nutrients**, v. 12, n. 4, p. 1137, 2020.
- KAWAKAMI, Y. et al. Flaxseed oil intake reduces serum small dense low-density lipoprotein concentrations in Japanese men: a randomized, double blind, crossover study. **Nutrition Journal**, v. 14, n. 1, p. 39, 2015.
- KEPERMAN, R. A. et al. Noval approaches for analysing gut microbes and dietary polyphenols: challenges and opportunities. **Microbiology**, v. 156, p. 3224-3231, 2010.
- KIVELÄ, A. M. et al. Enterolactone Induces Heme Oxygenase-1 Expression through Nuclear Factor-E2-Related Factor 2 Activation in Endothelial Cells. **Journal of Nutrition**, v. 138, p. 1263-1268, 2008.
- KRISTENSEN, M. et al. Flaxseed dietary fibers lower cholesterol and increase fecal fat excretion, but magnitude of effect depend on food type. **Nutrition & Metabolism**, v. 9, n.8, 2012.
- KUANG, X. et al. Defatted flaxseed flour improves weight loss and lipid profile in overweight and obese adults: a randomized controlled trial. **Food & Function**, v. 11, n. 9, p. 8237-8247, 2020.
- LINDAHL, G. et al. Dietary flaxseed and tamoxifen affect the inflammatory microenvironment in vivo in normal human breast tissue of postmenopausal women. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 73, n. 9, p. 1250-1259, 2019.
- MACHADO, A. M. et al. Effects of brown and golden flaxseed on the lipid profile, glycemia, inflammatory biomarkers, blood pressure and body composition in overweight adolescents. **Nutrition**, v. 31, n. 1, p. 90-96, 2015.
- MIRFATAHI, M. et al. Effects of flaxseed oil on serum lipids and lipoproteins in hemodialysis patients. **Iranian Journal of Kidney Diseases**, v. 10, n. 6, p. 405-412, 2016.
- MOHAMMADI-SARTANG, M. et al. Flaxseed supplementation on glucose control and insulin sensitivity: a systematic review and meta-analysis of 25 randomized, placebo-controlled trials. **Nutrition Review**, v. 76, n. 2, p. 125-139.
- MORAIS, D. C. et al. Heat treatment and thirty-day storage period do not affect the stability of Omega-3 fatty acid in brown flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) whole flour. **Food and Nutrition Sciences**, v. 2, n. 4, p. 281-286, 2011.

- MORSHEDZADEH, N. et al. Effects of flaxseed and flaxseed oil supplement on serum levels of inflammatory markers, metabolic parameters and severity of disease in patients with ulcerative colitis. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 46, p. 36-43, 2019.
- MODARRES M. M. et al. Comparison of The Effect of Breads Containing Milled Sesame or Flaxseed on Blood Pressure of Patient in Stage I Hypertension. **Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences**, v. 28, n. 10, p. 3153-3163, 2020.
- NANDISH, S. K. M. et al. Flaxseed cysteine protease exhibits Strong anticoagulante, antiplatelet, and clot-dissolving properties. **Biochemistry**, v.85, n.9, p. 113-1126, 2020.
- NAIK, H. S. et al. Supplementation of whole grain flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.) along with high cholesterol diet and its effect on hyperlipidemia and initiated atherosclerosis in Wistar albino male rats. **Veterinary World**, v. 11, n. 10, p. 1433, 2018.
- NAUMANN, S. *et al.* Mechanisms of interactions between bile acids and plants compounds - a review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, p. 64-95, 2020.
- NISHINA, P. M.; FREEDLAND, R. A. The effects of dietary fiber feeding on cholesterol metabolism in rats. **Journal of Nutrition**, v. 120, n. 7, p. 800-805, 1990.
- O'MAHONEY, L. L. et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids favorably modulate cardiometabolic biomarkers in type 2 diabetes: a meta-analysis and meta-regression of randomized controlled trials. **Cardiovascular Diabetology**, v. 17, n. 1, p. 98, 2018.
- OIKONOMOU, E. et al. Effects of ômega-3 polyunsaturated fatty acids on fibrosis, endothelial function and myocardial performace, in ischemic heart failure patients. **Clinical Nutrition**. V.38, n.3, p. 1188-1197, 2019.
- OLIVEIRA, C. G. et al. Flaxseed energy and macronutrients balance. **Nutrición Hospitalaria**, v. 27, n. 5, p. 1598-1604, 2012.
- PAL, P. et al. Pro-apoptotic and anti-angiogenic actions of 2-methoxyestradiol and docosahexaenoic acid, the biologically derived active compounds from flaxseed diet, in preventing ovarian cancer. **Journal of Ovarian Research**, v. 12, n. 1, p. 49, 2019.
- PALLA, A. H. et al. Multiple Mechanisms of Flaxseed: Effectiveness in Inflammatory Bowel Disease. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, 2020.
- PARIKH, M. et al. Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. **Nutrients**, v. 11, n. 5, p. 1171, 2019
- PARIKH, M.; NETTICADAN, T.; PIERCE, G. N. Flaxseed: its bioactive components and their cardiovascular benefits. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, v. 314, n. 2, p. 146-159, 2018.
- PATADE, A. *et al.* Flaxseed reduces total and LDL cholesterol concentrations in native American Postmenopausal women. **Journal of Women's Health**, v. 17, n. 3, p. 355-366, 2008.

PIERCE, G. N. et al. Systematic review and meta-analysis of flaxseed. **The Journal of Nutrition**, v. 145, n. 11, p. 2630-2631, 2015.

PIMENTA, A. V. et al. Bioaccessibility and bioavailability of calcium in sprouted brown and golden flaxseed. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2020.

POORBAFERANI, F. et al. Flaxseed oil supplementation on severity of depression and brain-derived neurotrophic factor: a randomized, double blind placebo controlled clinical trial. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 1518-1526, 2020.

PRASAD, K.; JHAN, A.; SHOKER, M. Flaxseed and its components in treatment of hyperlipidemia and cardiovascular disease. **International Journal of Angiology**, v.19. 216-222, 2020.

PRASAD, K. Hypocholesterolemic and antiatherosclerotic effect of flax lignan complex isolated from flaxseed. **Atherosclerosis**, v. 179, n. 2, p. 269-275, 2005.

PRASAD, K. Secoisolariciresinol diglucoside from flaxseed delays the development of type 2 diabetes in Zucker rat. **Journal of Laboratory and Clinical Medicine**, v. 138, n. 1, p. 32-39, 2001.

RAHIMLOW, M. et al. Effects of flaxseed interventions on circulating inflammatory biomarkers: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Advances in Nutrition**, v.10, n. 6, p. 1108-1119, 2019.

RAYGAN, F. et al. A comparison between the effects of flaxseed oil and fish oil supplementation on cardiovascular health in type 2 diabetic patients with coronary heart disease: A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. **Phytotherapy Research**, v. 33, n. 7, p. 1943-1951, 2019.

RHEE, Y.; BRUNT, A. Flaxseed supplementation improved insulin resistance in obese glucose intolerant people: a randomized crossover design. **Nutrition Journal**, v. 10, n. 1, p. 44, 2011.

RODRIGUEZ-LEYVA, D. et al. The effects of dietary flaxseed on cardiac arrhythmias and claudication in patients with peripheral arterial disease. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 97, n.6, p. 557-561, 2019.

SALEH-GHADIMI, S. et al. Effect of flaxseed oil supplementation on anthropometric and metabolic indices in patients with coronary artery disease: a double-blinded randomized controlled trial. **Journal of Cardiovascular and Thoracic Research**, v. 11, n. 2, p. 152, 2019.

SAXENA, S.; KATARE, C. Evaluation of flaxseed formulation as a potential therapeutic agent in migration of dyslipidemia. **Biomedical Journal**, v. 37, n. 6, p. 386-390, 2014.

SHIRVANI, H.; RAHMATI-AHMADABAD, S. Irisin interaction with adipose tissue secretions by exercise training and flaxseed oil supplement. **Lipids in Health and Disease**, v. 18, n. 1, p. 1-9, 2019.

SOLIMAN, G. A. Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. **Nutrients**, v. 11, p. 1115, 2019.

SOLTANIAN, N.; JANGHORBANI, M. A randomized trial of the effects of flaxseed to manage constipation, weight, glycemia, and lipids in constipated patients with type 2 diabetes. **Nutrition & metabolism**, v. 15, n. 1, p. 36, 2018.

SONI, R. P. et al. Flaxseed - composition and its health benefits. **Research in Environment Life Sciences**, v. 9, n. 3, p. 310-316, 2016.

SUN, J. et al. Effects of flaxseed supplementation on functional constipation and quality of life in a Chinese population: a randomized trial. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, v.29, n. 1, p. 61-67, 2020.

STUGLIN, C.; PRASAD, K. Effect of flaxseed consumption on blood pressure, serum lipids, hemopoietic system and liver and kidney enzymes in healthy humans. **Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics**, v. 10, n. 1, p. 23-27, 2005.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.1. São Paulo, 2020. [Acesso em: 14/01/2021]. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>.

TANNOUS, S. et al. The anti-cancer effect of flaxseed lignan derivatives on different acute myeloid leukemia cancer cells. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 132, p. 110884, 2020.

THREAPLETON, D. E. et al. Dietary fibre intake and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. **BMJ**, v.347, f6879, 2013.

TORKAN, M. et al. Effect of flaxseed on blood lipid level in hyperlipidemic patients. **Reviews of Recent Clinical Trials**, v. 10, n. 1, p. 61-67, 2015.

TOURÉ, A., XUEMING, X. Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bioactive components, and health benefits. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 3, p. 261-269, 2010.

URSONIU, S. et al. Effects of flaxseed supplements on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trial. **Clinical nutrition**, v. 35, n. 3, p. 615-625, 2016.

WATANABE, Y.; TATSUNO, I. Prevention of cardiovascular events with omega-3 polyunsaturated fatty acids and the mechanism involved. **Journal of Atherosclerosis and Thrombosis**, v. 27, n. 3, p. 183-198, 2020.

WIGGINS, A. K. A.; MASON, J. K.; THOMPSON, L. U. Growth and gene expression differ over time in alpha-linolenic acid treated breast cancer cells. **Experimental Cell Research**, v. 333, n. 1, p. 147-154, 2015.

WU, H. et al. Lifestyle counseling and supplementation with flaxseed or walnuts influence the management of metabolic syndrome. **The Journal of Nutrition**, v. 140, n. 11, p. 1937-1942, 2010.

XU, Z. et al. Flaxseed oligosaccharides alleviate DSS-induced colitis through modulation of gut microbiota and repair of the intestinal barrier in mice. **Food & Function**, v. 11, n. 9, p. 8077-8088, 2020.

YANG, C. et al. Beneficial effects of flaxseed polysaccharides on metabolic syndrome via gut microbiota in high-fat diet fed mice. **Food Research International**, v. 131, p. 108994, 2020.

YARI, Z. et al. Combination therapy of flaxseed and hesperidin enhances the effectiveness of lifestyle modification in cardiovascular risk control in prediabetes: a randomized controlled trial. **Diabetology & Metabolic Syndrome**, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2021.

YADAV, R. K. *et al.* Modulation of oxidative stress response by flaxseed oil: Role of lipid peroxidation and underlying mechanisms. **Prostaglandins and Other Lipid Mediators**, v. 135, p. 21-26, 2018.

YARI, Z.; CHERAGHPOUR, M.; HEKMATDOOST, A. Flaxseed and/or hesperidin supplementation in metabolic syndrome: an open-labeled randomized controlled trial. **European Journal of Nutrition**, p. 1-12, 2020.

ZHU, L. et al. Dietary flaxseed oil rich in omega-3 suppresses severity of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in rats. **Lipids in Health and Disease**, v. 19, n. 1, p. 1-16, 2020.

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 10/05/2021

### **Rafaela de Carvalho Baptista**

Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Campinas – SP  
<http://lattes.cnpq.br/5539145973657966>

### **Roberto de Paula do Nascimento**

Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Campinas – SP  
<http://lattes.cnpq.br/6150432233889446>

### **Lívia Mateus Reguengo**

Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Campinas – SP  
<http://lattes.cnpq.br/3075684143407503>

### **Cibele Priscila Busch Furlan**

Universidade São Francisco, Pós-Graduação  
em Ciências das Saúde  
Bragança Paulista - SP  
<http://lattes.cnpq.br/4364997399181850>

### **Mário Roberto Maróstica Junior**

Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Campinas – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1687867777815752>

Ácidos Graxos de Cadeia Curta (AGCC)

Catalase (CAT)

Câncer de mama (CM)

Colite ulcerativa (UC)

Diabetes mellitus gestacional (DMG)

Diabete tipo 1 (DT1)

Diabetes tipo 2 (DT2)

Doenças inflamatórias intestinais (DIIs)

Fator de necrose tumoral alfa (TNF- $\alpha$ )

Fator nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B)

Glucagon (GLP-1)

Glutaciona peroxidase (GPx)

Glutaciona reduzida (GSH)

Índice de massa corporal (IMC)

Índice de resistência à insulina (HOMA-IR)

Interferon-gama (IFN- $\gamma$ )

Interleucina (IL)

Lipopolisacarídeos (LPS)

Monofosfato de adenosina (AMPK)

Neuropeptídeo Y (NPY)

Peptídeo YY (PYY)

Proteases cisteína-aspártico (caspase-1)

Receptores do tipo Toll (TLR)

Proteína com porção C-terminal rica em repetições de leucina e de domínio pirina (NLRP3)

Secoisolariciresinol (SDG)

Superóxido dismutase (SOD)

## LISTA DE ABREVIÇÕES

Ácido alfa-linolênico (ALA)

## 1 | INTRODUÇÃO

A linhaça é a semente da planta do linho (*Linum usitatissimum L.*) pertencente à família Lineaceae (BEKHIT et al., 2018). Esta cultura apresenta-se em duas variedades nutricionalmente idênticas: a semente de coloração amarelo dourado e a marrom avermelhado (SONI et al., 2016). O uso da linhaça pelo ser humano remonta desde os tempos antigos (5000 a.C.) na mesopotâmia, por onde se espalhou ao redor do mundo, sendo hoje comercialmente explorada pelas indústrias de tecidos, papéis, tintas e alimentícia, esta última impulsionada por suas propriedades nutricionais e medicinais (SONI et al., 2016).

Nas últimas décadas, a linhaça despontou no cenário alimentício como um alimento com propriedades funcionais, ou seja, além das suas propriedades nutricionais básicas, a semente apresenta numerosos compostos biologicamente ativos e benéficos à saúde. A semente de linhaça, além de ser uma das fontes alimentícias com maior teor de ômega-3, tornando-a uma excelente alternativa para a incorporação dos ácidos graxos na dieta, também é fonte de fibras dietéticas, proteínas de alta qualidade, peptídeos bioativos, fitoesteróis e compostos fenólicos (WU et al., 2019; KANIKOWSKA et al., 2020).

O excelente perfil nutricional da semente de linhaça reflete nos seus efeitos benéficos à saúde humana. Estudos demonstram que a semente de linhaça pode ajudar na prevenção e tratamento de várias doenças, tais como: minimizar os distúrbios da obesidade, reduzir o risco de câncer de mama, controlar a diabetes, além de apresentar propriedades antiinflamatórias, antioxidantes e de regulação da função intestinal (CHISTHY & BISSU, 2016; WU et al., 2019).

Deste modo, a linhaça é de grande interesse para o mercado consumidor, sendo amplamente recomendada por nutricionistas, pesquisadores e médicos como um alimento funcional, seguro e barato para o tratamento de doenças (SHEKHARA et al., 2020).

O alimento pode ser incorporado nas dietas em suas diferentes formas, incluindo a semente inteira, ou os subprodutos da semente: farinha, goma, óleo, extrato/isolado fenólico, hidrolisado proteico, uma vez que há relatos de suas atividades anti-inflamatória, antioxidante e prebiótica (PARIKH et al., 2019).

Portanto, este capítulo busca fornecer uma revisão robusta e atualizada das atividades biológicas da semente de linhaça como recurso terapêutico à saúde humana.

## 2 | COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA SEMENTE DE LINHAÇA

A composição nutricional média da semente de linhaça está apresentada na Tabela 1, sendo que a concentração de seus nutrientes apresenta algumas variações conforme os fatores genéticos e ambientais.

Conforme observado na tabela, a semente apresenta um excelente perfil de ácidos

graxos, caracterizada pelos ácidos poliinsaturados (aproximadamente 73% do total de gorduras) e monoinsaturados (cerca de 18%) (SHEKHARA et al., 2020). O principal ácido graxo presente na linhaça é o ômega-3, principalmente na forma de ácido alfa-linolênico (ALA), correspondendo a cerca de 57% dos ácidos graxos totais, seguido pelo ômega-6 (16% do total de ácidos graxos) (MORRIS, 2003). O ômega 3 e ômega 6 são essenciais ao organismo humano, devendo ser adquiridos através da alimentação. Estes ômegas destacam-se na nutrição por suas propriedades anti-inflamatórias, sendo capazes de reduzir o risco de obesidade (KANIKOWSKA et al., 2020). Estudos demonstram que o elevado conteúdo de ácidos graxos ômega 3 na semente de linhaça é capaz de atender os requisitos diários necessários para uma boa nutrição, tornando a linhaça uma das principais fontes alternativas para a obtenção do composto. Dentre os produtos comerciais à base de linhaça, o óleo proveniente da semente apresenta a maior biodisponibilidade de ácidos graxos ômega 3, seguida pela farinha e, em último lugar, a semente inteira (PELLIZZON et al., 2007). Contudo, o processamento da semente (ex: óleo e farinha), contribui para a maior rancificação dos ácidos graxos, devido a sua exposição à luz e ao oxigênio (ORLOVA et al., 2021).

Em relação ao teor de carboidratos, a semente de linhaça possui pequenas concentrações de açúcares e amidos (1%) (BERNACCHIA et al., 2014), os quais estão presentes na forma dos polissacarídeos ramnogalacturonano e arabinoxilano, na proporção 1:3, respectivamente (BERNACCHIA et al., 2014), o que a torna um alimento recomendado para dietas com restrições de açúcares. A linhaça também apresenta elevado conteúdo de carboidratos na forma de fibras dietéticas presente como gomas e mucilagens (20-25%). As fibras dietéticas se subdividem em fibras solúveis (20-40% do total das fibras) e insolúveis (60-80% das fibras totais) (GOYAL et al., 2014). As primeiras destacam-se por seu importante papel na redução do colesterol no sangue, enquanto o segundo tipo de fibra, presente na forma de celulose e lignina, possui efeitos na redução da resistência à insulina, regulação do trânsito intestinal e estímulo a micro-organismos produtores de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) (CHISHTY & BISSU, 2016).

Nutrientes	Quantidade por 100g	Nutrientes	Quantidade por 100g
Energia	495 kcal	Tiamina (B <sub>1</sub> )	0,12 mg
Proteína	14,1g	Riboflavina (B <sub>2</sub> )	0,23 mg
Gorduras Totais	32,3g	Niacina (B <sub>3</sub> )	3,21 mg
Saturadas	4,2g	Ácido pantotênico (B <sub>5</sub> )	0,57 mg
Monoinsaturadas	7,1g	Piridoxina (B <sub>6</sub> )	0,13 mg
Poliinsaturadas	25,3g	Biotina (B <sub>7</sub> )	6 mg
Carboidratos totais	43,3g	Folato (B <sub>9</sub> )	112 µg
Açúcar	1g	Vitamina E	0,6 mg

Fibra dietética total	33,5g	Ferro	4,7 mg
Cálcio	211 mg	Potássio	869 mg
Magnésio	347 mg	Zinco	4,4 mg
Fósforo	615 mg	Manganês	281 mg

Tabela 1 - Composição nutricional da linhaça

Fonte: MORRIS (2003); TACO (2011).

Em relação ao teor de proteínas, a concentração varia entre 20%-25%, observando-se maiores níveis na semente de linhaça descascada (RABETAFIKA et al., 2011). A proteína se apresenta nas formas de albumina e globulina, na proporção de 1:3, respectivamente (CHISHTY & BISSU, 2016). As proteínas da linhaça são fontes principalmente de aminoácidos de cadeia ramificada como a arginina, ácido aspártico e ácido glutâmico e limitante em aminoácidos aromáticos como a lisina, metionina e cisteína (RABETAFIKA et al., 2011). Nutricionalmente, a proteína da linhaça apresenta um perfil de aminoácidos similar à proteína de soja, considerada uma das proteínas de maior escore no reino vegetal (RABETAFIKA et al., 2011). A linhaça também é fonte de orbitídeos, peptídeos cíclicos com propriedades bioativas, como os ciclolinopeptídeos. Os orbitídeos apresentam diferentes efeitos à saúde, atuando como imunossuppressores, antiproliferativos, antioxidantes, antiinflamatórias, entre outros (WU et al., 2019).

A semente de linhaça também é uma boa fonte de minerais, tais como o fósforo, magnésio e potássio (Tabela 1). O óleo por sua vez destaca-se com uma boa fonte de vitamina E, na forma de  $\gamma$ -tocoferol, atuando na proteção de compostos químicos (tais como lipídeos e proteínas) contra a oxidação, tornando um excelente aliado contra a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (BERNACCHIA et al., 2014).

A semente de linhaça também possui pequenas concentrações de compostos bioativos com poderosos efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios. O principal composto fenólico da semente de linhaça é a lignana e, em menor concentração, são encontrados uma mistura de ácidos fenólicos (principalmente os ácidos ferúlico, clorogênico e gálico), além de flavonoides, fenilpropanoides e taninos (ANWAR & PRZYBYLSKI, 2012; KASOTE, 2013; SHEKHARA et al., 2020). Dentre os flavonoides, destaca-se a herbacetina (Figura 1), um composto fenólico com propriedade anti-hiperglicêmica (VEERAMANI et al., 2018).

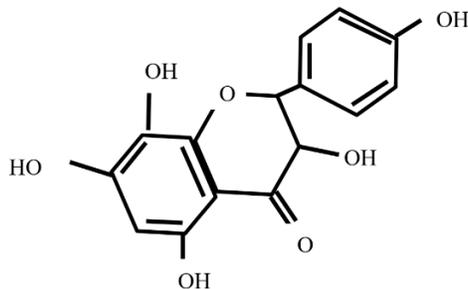


Figura 1 – Estrutura química da Herbacetina

A lignana é um composto com ação fitoestrogênica. Dentre os principais lignanos, o secoisolariciresinol (SDG) é o diglucosídeo predominante, apresentando uma concentração entre 2312.1 to 4886.0 mg/kg, e em menor quantidade podemos citar os lignanos matairesinol, pinoresinol e lariciresinol (Figura 2) (KRAJČOVÁ et al., 2009). No organismo dos mamíferos, as lignanas são convertidas em poderosos antioxidantes (enterodiol e enterolactona) pelas microbiota intestinal, podendo exercer efeitos anticâncer de mama (CALADO et al., 2018).

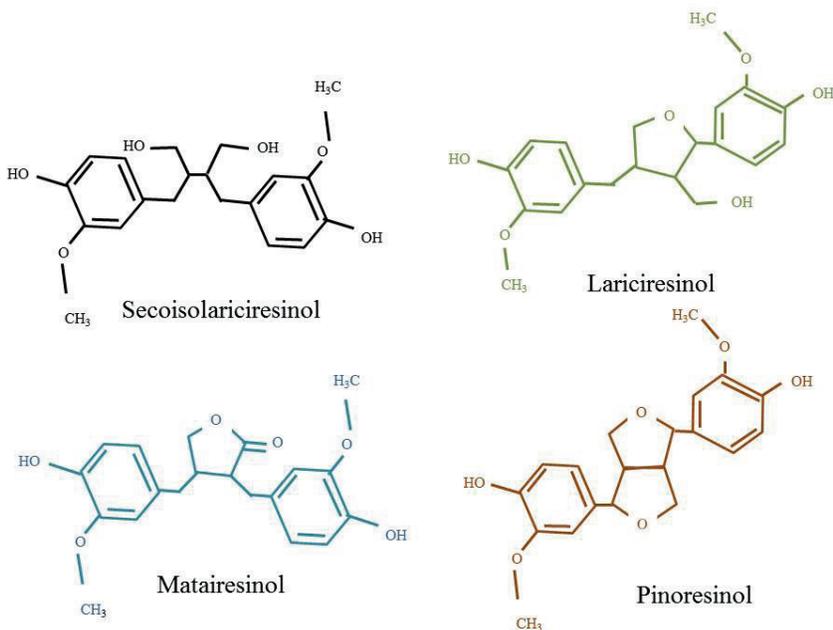


Figura 2 – Estrutura química das lignanas presentes na semente de linhaça. Adaptado de DURAZZO et al. (2018).

### 3 | MECANISMOS DE SINALIZAÇÃO CELULAR DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DA LINHAÇA

A linhaça contém compostos bioativos capazes de ativar cascatas de sinalização celular de modo a promover benefícios à saúde em diversos tecidos e órgãos. Dentre os benefícios relacionados à obesidade, diabetes tipo 2 (DT2) e doenças cardiometabólicas pode-se destacar a ação dos polissacarídeos, lignanas e ômega-3, que apresentam papel fundamental na saúde por ativarem a modulação do eixo microbiota – intestino – cérebro, um mecanismo de sinalização bidirecional entre o trato gastrointestinal e o sistema nervoso central onde a microbiota residente pode exercer influência considerável sobre a saúde física e mental do hospedeiro (YASMEEN et al., 2018; ARORA et al., 2019; CRYAN et al., 2019; LUO et al., 2019).

O consumo de polissacarídeos e lignanas da linhaça promove modulação da microbiota intestinal quando fermentados de modo a resultar em Ácidos Graxos de Cadeia Curta (AGCC), tais como butirato, acetato e propionato, com consequente redução do pH local, ação anti-inflamatória pela inibição de interleucina-6 (IL-6), IL-1 $\beta$  e ação inibitória sobre histona desacetilases suprimindo a expressão de genes relacionados a doenças crônicas não transmissíveis (RHEE, 2016; PARADA VENEGAS et al., 2019).

Além disso, os AGCC advindos da fermentação dos polissacarídeos e lignanas da linhaça podem atuar como moléculas de ativação de receptores acoplados à proteína G, como o GPR41 e GPR43, presentes nas células L enteroendócrinas das bordas em escova, localizados principalmente na região do íleo e cólon, onde estimulam a liberação de dois hormônios de saciedade: o hormônio intestinal peptídeo 1 tipo glucagon (GLP-1) e peptídeo YY (PYY) (ZHOU et al., 2008; ARORA et al., 2019).

Ainda, o receptor GPR120, que em humanos é codificado pelo gene GRP120 e abundante nas células intestinais e nas células  $\beta$  das ilhotas pancreáticas, apresenta igualmente ativação na presença de ácidos graxos como o ômega-3 e o ALA, ambos presentes na semente e no óleo de linhaça. Esses ácidos graxos ao estimularem o receptor GPR120 promovem a secreção de hormônios intestinais anorexígenos, GLP-1 e PYY, além da translocação do transportador de glicose tipo 4 para a superfície da membrana celular com posterior captação de glicose (Figura 3) (HIRASAWA et al., 2005).

O eixo microbiota-intestino-cérebro se completa quando os hormônios intestinais anorexígenos alcançam o cérebro pelas vias aferentes vagais e simpáticas do núcleo do trato solitário, localizado no tronco cerebral. Uma vez presente no cérebro, o GLP-1 e PYY, parecem promover ação na saciedade e aumento da gasto energético, porém o GLP-1, resultante do estímulo promovido pela fermentação dos polissacarídeos e lignanas da linhaça, e da presença do ômega-3 e ALA, promove o aumento da adiponectina, hormônio responsável por reduzir as células de adesão endotelial, como a proteína 1 de adesão de células vasculares, e regulação da oxidação de lipídios, principalmente no músculo

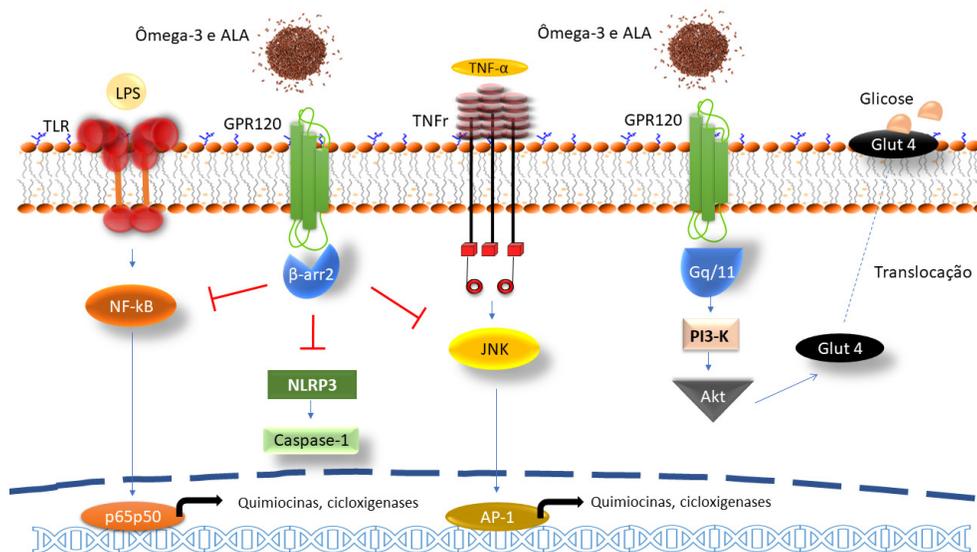


Figura 3 - Sinalização celular proposta mediada pelo receptor GPR120 ativado pelos compostos bioativos ômega-3 e ácido alfa-linolênico da linhaça.

Abreviaturas: LPS: lipopolissacarídeo; TLR: receptor do tipo Toll; NF-κB: transcrição fator nuclear kappa B; p65p50: heterodímero ligado ao elemento PRDII do promotor do interferon B; β-arr2: Beta-arrestina-2; NLRP3: proteína com porção C-terminal rica em repetições de leucina e de domínio pirina; caspase-1: proteases cisteína-aspártico; TNFr: receptor do fator de necrose tumoral; TNF-α: fator de necrose tumoral alfa; JNK: c-Jun N-terminal quinases; AP-1: proteína ativadora-1; Gq/11: subunidade alfa da proteína G heterotrimérica; PI3-K: Fosfoinositídeo 3-quinases; Akt: proteína quinase B; Glut-4: transportador de glicose tipo 4.

Figura adaptada de WANG & LEUNG (2017) e FURLAN et al. (2020).

O aumento do nível de adiponectina no cérebro, promove regulação positiva da proteína quinase ativada por monofosfato de adenosina (AMPK), que controla o balanço energético e ingestão alimentar, além de ativar a enzima lipase de triglicerídeos de tecido adiposo e hormônio sensível a lipase, de modo a promover a lipólise. Por outro lado, a AMPK bloqueia a ação da via da proteína de ligação do elemento de regulação do estero1 e ácido graxo sintase, com supressão da lipogênese e apoptose neuronal, mas ativa a via da acetil-CoA carboxilase e carnitina palmitoiltransferase-1 de modo a promover a oxidação de ácidos graxos (LUO et al., 2019).

Por outro lado, e igualmente importante, há o efeito promovido pelos compostos bioativos da linhaça, principalmente o ômega 3, que ao inibirem os fatores de transcrição fator nuclear kappa B (NF-κB) e a proteína ativadora-1, estimulada pelas c-Jun N-terminal quinases, reduzem o processo inflamatório subclínico muito comum na obesidade, e que está relacionada com a ativação de receptores do tipo Toll 4 (TLR-4) pelos lipopolissacarídeos (LPS), um dos componentes principais da membrana exterior de bactérias gram-negativas

presentes na microbiota de animais e de humanos. Os LPS são constituídos de frações lipídicas saturadas e insaturadas, tais como ácidos palmítico, palmitoléico e oleico responsáveis pela ativação do TLR-4 (CHO & SALTON, 1966; FURLAN et al., 2020; WANG et al., 2018a; ZHU et al., 2020).

Além disso, a translocação de LPS do meio intestinal para o sistema linfático e sanguíneo é um dos responsáveis pelo início do processo da inflamação subclínica na obesidade e na síndrome metabólica. Os LPS podem ativar a proteína com porção C-terminal rica em repetições de leucina e de domínio pirina (NLRP3) responsável pelo gatilho de sinalização celular da família das proteases cisteína-aspártico (caspase-1), consideradas inflamatórias, pois promovem o amadurecimento da IL-1 $\beta$ , porém são inibidas pela presença dos ácidos graxos ômega-3 e ALA presentes na linhaça (Figura 3) (NUNES et al., 2014; WANG & LEUNG, 2017).

Devido à inibição da transcrição de quimiocinas e cicloxigenases pelos compostos bioativos da linhaça a resistência a leptina pode ser revertida ou mesmo diminuída. Esse processo ocorre por meio da dose/resposta e está submetido à condição inflamatória do animal ou do ser humano (Tabela 2). No entanto, à medida que a leptina consegue ativar seus receptores ocorre a sinalização positiva da proteína de transdutor de sinal e ativador de transcrição 3 e proteína quinase B resultando na supressão da expressão de neuropeptídeo Y (NPY), relacionado ao aumento do apetite, e ativação do metabolismo lipídico por meio da via de sinalização da AMPK (BOWERS et al., 2019; LUO et al., 2019).

Assim, ainda que a maioria dos estudos de sinalização celular seja *in vitro* ou em animais, eles explicam as ações encontradas nos estudos com humanos, sendo o consumo da linhaça em semente ou em óleo, considerado promissor devido aos efeitos anti-inflamatórios (REN et al., 2016), antiobesogênicos (GOYAL et al., 2014), antiateroscleróticos (PRASAD & JADHAV, 2016), e regulador de apetite pela ação no sistema da saciedade ligados ao sistema nervoso central como demonstrado (SHIVA FAGHIH AND HODA AHMADNIA, 2017).

## 4 I EFEITOS PREVENTIVOS E CURATIVOS DA LINHAÇA EM DOENÇAS CRÔNICAS

### 4.1 Obesidade

A obesidade é uma síndrome metabólica mundial que está relacionada a outras doenças crônicas e abnormalidades metabólicas, como por exemplo a dislipidemia, a resistência à insulina e a hipertensão. O exponencial crescimento desta doença traz consigo a urgência por métodos de tratamento e prevenção eficazes. A utilização de alimentos funcionais e nutracêuticos para a manutenção da obesidade e de doenças associadas é extensivamente evidenciado na literatura (GOYAL et al., 2018).

Resultados de estudos *in vitro* e *in vivo* sugerem que a linhaça é capaz de modular

processos biológicos relacionados à prevenção da obesidade e, principalmente, atenuar os seus efeitos metabólicos, evitando as possíveis complicações desta doença (Tabela 2). Os efeitos antiobesogênicos da linhaça são comprovados tanto para sua semente como um todo, como para seu óleo e fibras (KASPRZAK et al., 2018).

Alguns efeitos antiobesogênicos, como a sensação de saciedade, redução de peso e índice de massa corporal (IMC), e redução de massa gorda, são comuns à linhaça e seus nutrientes isolados (óleo e fibra), apesar de atuarem por mecanismos diferentes. Uma revisão sistemática e meta-análise de 45 ensaios randomizados controlados por placebo, estudou os efeitos do consumo de produtos de linhaça em índices de composição corporal de indivíduos adultos (MOHAMMADI-SARTANG et al., 2017). A partir da análise de ensaios clínicos foi possível concluir que os participantes que ingeriram os produtos de linhaça obtinham menor peso corporal, IMC e circunferência da cintura, após as intervenções quando comparados com o grupo controle. Além disso, MOHAMMADI-SANTANG et al. (2017) também constataram que ensaios de longa duração ( $\geq 12$  semanas) e em indivíduos com IMC mais elevado ( $\geq 27$  kg m<sup>-2</sup>) apresentaram melhores resultados na manutenção de índices corporais. O polissacarídeo de linhaça, isoladamente, também demonstra efeitos nos índices corporais de ratos induzidos à obesidade pela dieta, induzindo à perda de peso corporal e redução de massa gorda abdominal e total, além de possuir efeito de saciedade ao recuperar a transdução do sinal de leptina e afetar o hormônio NPY (LUO et al., 2019).

Produto	Dosagem, período	Modelo experimental	Resultados*	Referência
Óleo	4, 8 ou 16 mg/kg m.c., via gavagem, 4 semanas, prevenção e tratamento.	Camundongos C57BL/6 machos (obesidade) e Camundongos Swiss Albino machos (estudo imunomodulatório).	Positivos. 4: ↓ Índice de adiposidade, ↓ Inflamação hepática. 8: ↓ TG sérico. 16: ↓ TG sérico, ↓ Inflamação aguda, ↑ Peso relativo de órgãos. Todos os tratamentos: ↑ Sensibilidade à insulina, ↑ Efeito hipoglicêmico, ↑ Fisiologia do tecido adiposo.	(BASHIR et al., 2015)
Fibra	10% na dieta, 12 semanas, prevenção.	Camundongos GPR41-RFP machos e fêmeas.	Positivos. ↑ <i>Firmicutes</i> , ↑ <i>Actinobacteria</i> , ↑ <i>Verrucomicrobia</i> , ↑ <i>Lactobacillus</i> ↓ <i>Bacteroidetes</i> , ↑ AGCC, ↑ Expressão gênica, ↓ Ganho de peso, ↓ Gordura corporal, ↑ Gasto Energético, ↓ Glicose em jejum, ↓ Insulina em jejum.	(ARORA et al., 2018)
Semente, semente desengordurada e óleo	10% semente, 6% semente desengordurada e 4% óleo nas respectivas dietas, 8 semanas, prevenção.	Camundongos C57BL/6 machos.	Negativos. Semente: ↑ Ganho de peso Positivos. Semente desengordurada: ↓ Ganho de peso, ↓ Expressão de leptina Óleo: ↓ Consumo de dieta, ↓ Ganho de peso, ↓ Expressão de leptina, ↑ PPAR- $\alpha$ no tecido muscular. Todos os tratamentos: ↓ Expressão de DNMT no tecido adiposo.	(EVENOCHECK et al., 2020)

Óleo (52,3% ALA) e exercício físico.	100 µL de óleo/dia, via gavagem, 4 semanas, tratamento.	Camundongos Swiss Albino machos.	Positivos. Exercício: ↓Glicose em jejum, ↑K <sub>ITT</sub> , ↓Inflamação hepática, ↑GPR120, ↓IL-1β, ↓ Fosforilação de IκBα. Óleo + exercício: ↓Ganho de peso, ↓Glicose em jejum, ↑K <sub>ITT</sub> , ↓Inflamação hepática, ↓Acúmulo de gordura no tecido adiposo, ↑GPR120, ↑Imunoprecipitação de GPR120 e β-arrestina 2, ↓IL-1β, ↑Performance em exercício físico. Todos os tratamentos: ↓ TNF-α, ↓ Fosforilação de JNK.	(GASPAR et al., 2019) improving hepatic metabolism in obesity and type 2 diabetes. Our aim was to investigate GPR120/40 in the liver of lean and obese mice after acute or chronic physical exercise, with or without the supplementation of ω3 rich flaxseed oil (FS)
Goma	30%, 20% ou 10% da dieta, 5 semanas, tratamento.	Ratos Sprague-Dawley machos.	Positivos. 10%: ↓Ganho de peso 20%: ↓Ganho de peso, ↓Taxa de gordura abdominal, ↑AGCC, ↑ <i>Elusimicrobia</i> 30%: ↓Colesterol Total, ↓Taxa de gordura abdominal, ↓Taxa de gordura epididimal, ↑ <i>Verrucomicrobia</i> , ↑ <i>Sutterella</i> , ↑ <i>Serratia</i> , ↑ <i>Akkermansia</i> , ↑ <i>Unclassified_Burkholderiales</i> Todos os tratamentos: ↓TG, ↑ <i>Proteobacteria</i> e ↑ <i>Cyanobacteria</i> , ↑ <i>Clostridium</i> , ↑ <i>Unclassified_Enterobacteriaceae</i> , ↑ <i>Unclassified_YS2</i> , ↑ <i>Unclassified_Burkholderialesand</i> , ↑ <i>Veillonella</i> , ↓ <i>Unclassified_Clostridiales</i> , ↓ <i>Lactobacillus</i> , ↓ <i>Unclassified_[Mogibacteriaceae]</i> , ↓ <i>Ruminococcus</i> , ↓ <i>Oscillospira</i> , <i>Unclassified_Coriobacteriaceae</i> , ↓ <i>Turicibacter</i>	(LUO et al., 2018)
Farinha ou pão	40 g/dia, 12 semanas, tratamento.	Estudo clínico randomizado, cross-over, adultos obesos com intolerância à glicose.	Positivos. Linhaça: ↓Glicose em jejum, ↓HOMA-IR, ↓TBARS Farelo de trigo: ↓Insulina em jejum	(RHEE e BRUNT, 2011)
Óleo	77 µg/mg (dose baixa), 155 µg/mg (dose média) e 230 µg/mg (dose alta) na dieta, 16 semanas, prevenção.	Camundongos C57BL/6 machos.	Positivos. Dose Média: ↓TG hepático, ↓AGL, ↓Resistência à insulina, ↓SREBP-1c, ↑MMP, ↓ Razão n-6/n-3, ↑LC3II, ↓p62, ↑LAMP2, ↑VDAC1, ↑Mfn, ↑OPA1, ↑SIRT1 Dose Alta: ↓TG hepático, ↓AGL, ↓Resistência à insulina, ↓SREBP-1c, ↑MMP, ↓ Razão n-6/n-3, ↑LC3, ↓p62, ↓LAMP2, ↑VDAC1, ↑Mfn, ↑OPA1, ↑SIRT1 Todos os tratamentos: ↓ACC, ↓FAS, ↑PPARα, ↑CPT1, ↑ACOX, ↑RCR, ↑Parkin, ↑GAPDH, ↓DRP1, ↓Fis1, ↑p-ERK, ↑p-AMPK, ↑PGC1α nuclear	(YU et al., 2019)
Polissacarídeo	10% na dieta, 54 dias, tratamento.	Ratos Wistar machos.	Positivos. ↓Ganho de peso, ↓Glicose em jejum, ↑Insulina, ↓Taxa de gordura abdominal, ↓Gordura Total, ↓TG, ↓TNF-α, ↓IL-6, ↓IL-1β, ↓Leptina, ↑Akt, ↑STAT3, ↓NPY, ↑GLP1, ↓ACC, ↓FAS, ↑ATGL.	(LUO et al., 2019)
Óleo rico em ALA	42,5 g/kg de dieta, 8 semanas, prevenção.	Ratos Zucker machos.	Positivos. ↓Razão n-6/n-3, ↓IL-18, ↓TNF-α, ↓Leptina, ↓MCP1, ↓Tamanho dos adipócitos, ↓Marcador célula T (CD3)	(BARANOWSKI et al., 2012) with local and systemic consequences for the inflammatory status of the obese individual. Dietary interventions with omega-3 fatty acids from marine sources have been successful at reducing inflammation. The aim of this study was to determine whether flaxseed oil containing the plant-based omega-3 fatty acid α-linolenic acid (ALA

SDG	10, 100, e 1000 mg/kg por dia, via gavagem, 6 semanas, tratamento	Camundongos C57BL/6J machos.	Positivos. 10: ↓Tolerância à insulina, ↓Massa gorda perirenal 1000: ↓AGL, ↓Tolerância à glicose, ↓Massa gorda perirenal Todos os tratamentos: ↓Glicose sanguínea em jejum, ↓HOMA-IR, ↓HOMA-β, ↓Insulina	(WANG et al., 2015)
Óleo	10% do valor calórico total na dieta, 8 semanas, tratamento	Camundongos Swiss (obesidade) e LDLr-KO (complicações vasculares)	Positivos. Modelo Obesidade: ↓ Ganho de peso, ↓Tolerância À glicose, ↓LDL-colesterol, ↑HDL-colesterol, ↓GPR40, ↓IL-1β, ↓TNF-α, ↓IKK-fosforilada, ↓ATF-6, ↓GPR78, ↑Associação de β-arrestina-2 e GPR120.	(MOURA-ASSIS et al., 2018)

Tabela 2 – Estudos com a linhaça e seus produtos na obesidade

Símbolos: ↑: aumentado; ↓: reduzido. Abreviaturas: ACOX: acil-coenzima A oxidase; AGCC: ácidos graxos de cadeia curta; AGL: ácidos graxos livres; AKT: proteína quinase B; ALA: ácido alfa-linolênico; ATF-6: fator ativador de transcrição 6; ATGL: lipase de triglicerídeo adiposo; CPT1: carnitina palmitoil transferase 1; DNMT: DNA metiltransferase; DRP1: proteína semelhante a dinamina-1; FAS: ácido graxo sintase; FIS1: proteína de fissão mitocondrial 1; GAPDH: gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase; GLP1: peptídeo-1 semelhante ao glucagon; GPR120: receptor acoplado à proteína G 120; GPR40: receptor acoplado à proteína G 40; GPR78: receptor acoplado à proteína G 78; HDL: lipoproteína de alta densidade; HOMA-β: modelo de avaliação da homeostase da capacidade funcional das células beta pancreáticas; HOMA-IR: modelo de avaliação da homeostase de resistência à insulina; IL: interleucina; i.p.: intraperitoneal; JNK: C-jun N-terminal quinase;  $K_{IT}$ : constante de decaimento de glicose; LAMP2: proteína de membrana associada a anti-lisossoma 2; LC3: Cadeia leve 3 da proteína 1 associada a anti-microtúbulos; LDL: lipoproteína de baixa densidade; MCP-1: proteína quimiocítica de monócitos 1; m.c.: massa corporal; MFN: mitofusina; MMP: potencial de membrana mitocondrial; NF-κB: fator nuclear kappa B; NPY: neuropeptídeo Y; OPA1: proteína de atrofia tóxica 1; p-AMPK: proteína quinase ativada por monofosfato de adenosina fosforilada; p-ERK: proteína quinase regulada por sinal extracelular fosforilada; PGC1α: coativador anti-PPARγ 1α; PPARα: receptor alfa de peroxissomo proliferador-ativado; RCR: razão de controle respiratório mitocondrial; SDG: secoisolaricresinol diglucosídeo; SIRT1: sirtuína 1; SREBP-1C: proteína de ligação ao elemento regulador de esterol-1c; STAT3: transdutor de sinal e ativador de transcrição 3; TBARS: substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico; TG: triglicerídeos; TNF-α: Fator de necrose tumoral alfa; VDAC1: canal seletivo de ânions dependente de anti-voltagem. \*Estatisticamente significativos.

O papel da microbiota intestinal na regulação da adiposidade e obesidade vem sendo evidenciado na literatura. Fatores nutricionais, como a maior ingestão de fibras solúveis, são capazes de modular a composição da microbiota, mostrando-se como uma opção atrativa à melhoria do metabolismo humano. Além deste fator, a fermentação de fibras no colón leva à produção de AGCC que, quando secretados na circulação sistêmica, podem ter efeitos na adipogênese, no eixo intestino-cérebro e nas funções imunes. Sendo a linhaça uma ótima fonte de fibras, seu potencial prebiótico vem sendo considerado na regulação da obesidade. A indução de perda de peso por regulação da microbiota intestinal pela fibra solúvel de linhaça foi caracterizada em ratos com obesidade induzida por dieta, evidenciando sua capacidade de modulação da microbiota. A razão de *Firmicutes/Bacteroidetes* está relacionada ao desbalanço do metabolismo energético e consequente acumulação de energia no tecido adiposo, sendo sua redução um importante indicador de modulação microbiana com efeitos antiobesogênicos. As suplementações da dieta hipercalórica com fibras de linhaça e celulose foram capazes de reduzir *Firmicutes* e aumentar *Bacteroidetes*, no entanto apenas a fibra da linhaça obteve efeitos em filós

menos abundantes (*Actinobacteria* e *Verrucomicrobia*), além de aumentar a abundância de gêneros associados à saúde metabólica (*Bifidobacterium* e *Akkermansia*). O perfil microbiano regulado pela fibra da linhaça pôde ser associado a um menor ganho de peso e massa gorda, inclusive quando comparada à outra fibra (celulose) (ARORA et al., 2018). Um estudo com modelo *in vivo* similar também relatou que a intervenção com fibra de linhaça reduziu a abundância relativa de gêneros pertencentes ao filo *Firmicutes*, e aumentou a abundância de *Clostridium*, *Enterobacteriaceae*, *Sutterella*, *YS2*, *Veillonella* e *Burkholderiales*. Esta alteração da microbiota resultou na redução de colesterol total, triglicerídeos totais, índice de gordura abdominal e índice de gordura epididimal (LUO et al., 2018).

De acordo com ARORA et al. (2018), a alteração microbiana também foi capaz de produzir AGCC, restaurando os níveis de butirato e lactato, reduzidos pela dieta hipercalórica. Metabólitos gerados pela fermentação *in vitro* do polissacarídeo de linhaça, por bactérias fecais, foram capazes de regular proteínas e a expressão de mRNA de *PPAR $\gamma$* , *C/EBP $\alpha$*  e *C/EBP $\beta$* , resultando numa menor acumulação intracelular de lipídeos durante a diferenciação dos adipócitos, reforçando assim o forte efeito anti-adipogênico do polissacarídeo de linhaça (LIN et al., 2020).

A obesidade pode levar à disfunção do tecido adiposo pela hipertrofia de adipócitos e infiltração de células do sistema imune (macrófagos e células T), criando um desbalanço de fatores pro- e anti-inflamatórios que podem alterar a resposta imune e status inflamatório, tanto local quanto sistêmico (Figura 4). O desbalanço da razão de ácidos graxo ômega-3/ômega-6 é um fator significativo envolvido nesta mudança. Portanto, alimentos ricos em ômega-3, como o óleo de linhaça, são considerados potenciais agentes bioativos contra a inflamação associada à obesidade.

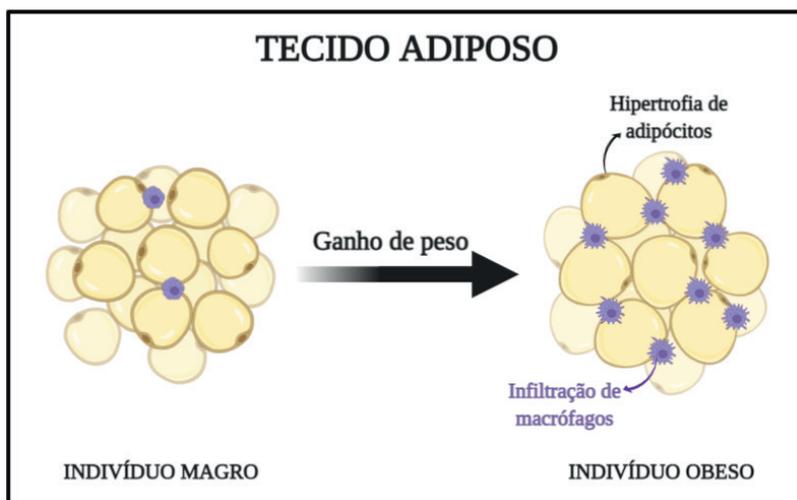


Figura 4 - Infiltração de células imunes no tecido adiposo por sinalização inflamatória.

O óleo de linhaça mostrou-se capaz de causar uma melhora na fisiologia do tecido adiposo de ratos obesos por meio da redução do tamanho dos adipócitos em cerca de 17%, quando comparado ao grupo controle, tendo uma curva de distribuição com grande proporção de adipócitos menores, comparado aos grupos obesos sem intervenção, no entanto, com resultados ainda distantes do grupo magro (BARANOWSKI et al., 2012). Neste mesmo estudo *in vivo* foi possível observar o efeito anti-inflamatório do óleo de linhaça pela redução da infiltração de células T no tecido adiposo de ratos obesos com intervenção dietética. Além disso, a redução de citocinas pró-inflamatórias, como fator de necrose tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), interferon-gama (IFN- $\gamma$ ), IL-18 e proteína quimiotática de monócitos 1, concomitantemente ao aumento de citocinas anti-inflamatórias, como IL-4 e IL-10, são mais um parâmetro comprobatório da atividade anti-inflamatória relacionada à obesidade (BARANOWSKI et al., 2012; BASHIR et al., 2015). A linhaça representa uma alternativa promissora à redução de riscos de doenças associadas ao excesso de peso corporal por ser rica em ALA, lignanas, e fibra alimentar, havendo todos estes apresentado efeitos positivos na regulação da obesidade.

## 4.2 Diabetes

O avanço do quadro de obesidade pode levar ao desenvolvimento de resistência à insulina, hiperglicemia, dislipidemia e dano celular oxidativo, que por sua vez podem causar outras complicações. “Pré-diabetes” é o termo utilizado para o quadro caracterizado por níveis de glicose elevados, frente a um indivíduo normal, no entanto insuficientes para a classificação de diabetes. Esta condição é caracterizada por altas concentrações de glicose sanguínea (glicose plasmática em jejum  $\geq 100$ – $125$  mg/dL ou hemoglobina glicada 5.7%-6.4%), insulina inefetiva ou “resistência à insulina”. A maior parte dos indivíduos pré-diabéticos possuem sobrepeso ou são obesos (IMC  $> 25$ kg/m<sup>2</sup>) e são até 3 vezes mais propensos a desenvolver DT2, do que indivíduos de peso normal (IMC 18,5-24,9 Kg/m<sup>2</sup>). Sobrepeso e acúmulo de gordura excedente no corpo podem causar o desenvolvimento de resistência à insulina e eventualmente DT2 pela produção de citocinas inflamatórias pelo tecido adiposo e seus efeitos endócrinos ( HUTCHINS et al., 2013; AMERICAN DIABETES ASSOCIATION, 2019; HAJIAHMADI et al., 2020).

A semente de linhaça como um todo, assim como seus componentes separados, vem sendo extensivamente relatada na literatura como agente na reversão da resistência à insulina (Tabela 3). Em um estudo randomizado *cross-over* com homens e mulheres (pós-menopausa) com sobrepeso ou obesos e pré-diabéticos, uma intervenção dietética com consumo diário de 13g de linhaça moída por 12 semanas foi capaz de melhorar biomarcadores de pré-diabetes como insulina, glicose, índice de resistência à insulina (HOMA-IR), e frutossamina (HUTCHINS et al., 2013). A lignana SDG também se mostrou efetiva em indivíduos pré-diabéticos (ratos com dieta hiperlipídica) ao reduzir seus níveis de glicose plasmática em jejum, insulina e ácidos graxos livres, e ao melhorar a tolerância oral

à glicose, resposta insulinêmica, e HOMA-IR (WANG et al., 2015). A redução na resistência hepática à insulina e nos danos mitocondriais pôde ser alcançada pelo tratamento de camundongos com óleo de linhaça (YU et al., 2019). Herbacetina, um composto flavonóide presente na linhaça, também é capaz de reverter o quadro de obesidade induzida por dieta hiperlipídica em camundongos, normalizando os parâmetros de glicose sanguínea, insulina, HOMA-IR e hemoglobina glicada, caracterizando sua ação anti-hiperglicêmica (VEERAMANI et al., 2018).

A desregulação dos níveis de glicose sanguínea podem levar à evolução da resistência insulinêmica e pré-diabetes, gerando um quadro de DT2. A DT2 inclui 90-95% de todos os casos de diabetes, sendo predominante em indivíduos obesos, com sobrepeso, ou com percentagem de gordura corporal elevada, distribuída principalmente na região abdominal. Esta forma inclui indivíduos que possuem deficiência insulinêmica relativa (não absoluta) e/ou possuem resistência insulinêmica periférica (AMERICAN DIABETES ASSOCIATION, 2019).

Produto	Dosagem, período	Modelo experimental	Resultados*	Referência
Óleo	Cápsulas de 1000 mg, 2 vezes ao dia, 14 semanas, tratamento.	Estudo clínico duplo-cego, randomizado em adultos com sobrepeso e pré-diabetes.	Positivos. ↓Peso, ↓IMC, ↑SI, ↑Insulina, ↑SB	(HAJIAHMADI et al., 2020)
Semente	0,714g/kg/dia, via gavagem, 12 semanas, tratamento.	Ratos Wistar fêmeas, modelo de diabetes induzido por STZ.	Positivos. ↑Ganho de peso, ↓Glicose em jejum, ↓TG, ↓ALT, ↓AST, ↓G6PD (cérebro, pâncreas, fígado e olho), ↓6PGDH (fígado, pâncreas e olho), ↓GR (fígado e pâncreas), ↑GST (cérebro e pâncreas).	(GOK et al., 2016)
Semente	200 g de iogurte (2.5% gordura) com 30 g de linhaça, 8 semanas, tratamento.	Estudo clínico duplo-cego, randomizado em adultos com diabetes tipo 2.	Positivos. ↓Glicose em jejum, ↓HbA1c, ↓TG, ↓TC, ↓SBP, ↓DBP.	(HASANIANI et al., 2019)
Óleo e farinha.	25% de farinha na dieta OU 7% de óleo na dieta, durante gestação e lactação, tratamento.	Ratos Wistar fêmeas, modelo de diabetes induzido por STZ seguido de gestação e amamentação da prole.	Positivos. Todos os tratamentos: ↓Espessura na camada íntima-média da aorta da prole, ↑Elastina na aorta da prole	(VICENTE et al., 2015)
Óleo	Cápsulas de 1.000 mg de ácidos graxos ômega-3 do óleo da semente de linhaça (400 mg ALA), 2 vezes ao dia, 6 semanas, tratamento.	Ensaio clínico randomizado, duplo-cego, controlado por placebo em mulheres com diagnóstico de diabetes mellitus gestacional (24-28 semanas de gestação).	Positivos. ↑PPAR-γ, ↑LDLR, ↓IL-1, ↓TNF-α, ↓Glicose em jejum, ↓Insulina, ↓HOMA-IR, ↑QUICKI, ↓TG, ↓VLDL-colesterol, ↓TC, ↓Razão colesterol total/HDL-colesterol, ↓hs-CRP, ↓MDA, ↓Nitrito total, ↑GSH.	(JAMILIAN et al., 2020)

Óleo	10% óleo na dieta, 5 semanas, tratamento.	Ratos Sprague-Dawley machos, modelo de diabetes induzido por STZ+NA.	↑Ganho de peso, ↓Glicose em jejum, ↓Hemoglobina glicada, ↓TC, ↓TG, ↓LDL-colesterol, ↑HDL-colesterol, ↑SOD, ↓MDA, ↓LPS, ↓IL-1 $\beta$ , ↓TNF- $\alpha$ , ↓IL-6, ↓IL-17A, ↓ <i>Firmicutes</i> , ↑ <i>Bacteroidetes</i> , ↓Razão <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i> , ↓ <i>Blautia</i> , ↑ <i>Alipites</i> , ↑AGCC.	(ZHU et al., 2020)abnormal lipid profiles, chronic low-grade inflammation and gut dysbiosis. Dietary intervention plays a crucial role in the control of diabetes. Flaxseed oil (FO)
Farinha	28 g por dia, 8 semanas, prevenção.	Estudo clínico randomizado em adultos com diabetes tipo 2.	Positivos. ↑Circunferência da cintura, ↑TBARS, ↑Óxido nítrico.	(RICKLEFS-JOHNSON et al., 2017)
SDG	3 mg/kg, 10 mg/kg ou 30 mg/kg, via gavagem, tratamento crônico (2 vezes por dia, 21 dias) e tratamento agudo (1 vez no vigésimo dia).	Camundongos C57BL/6J machos, modelo de diabetes induzido por STZ.	Positivos. 30 mg/kg crônico: ↑Ganho de peso 10 mg/kg e 30 mg/kg crônico: ↓Hiperalgesia térmica, ↓Alodinia mecânica, ↓MDA, ↑Atividade da catalase, ↑GSH. Tratamentos agudos: sem efeitos significativos.	(HU et al., 2015)
Óleo	Cápsula de 1000 mg óleo (400 mg ALA), 2 vezes ao dia, 12 semanas, tratamento.	Ensaio clínico randomizado, duplo-cego, controlado por placebo, em adultos com diabetes tipo 2 e doença coronariana.	Positivos. ↑PPAR- $\gamma$ , ↓Lipoproteína (a), ↓IL-1, ↓TNF- $\alpha$ .	(HASHEMZADEH et al., 2017)
Óleo	7% de óleo na dieta, durante gestação e lactação, tratamento.	Ratos Wistar fêmeas, modelo de diabetes induzido por STZ seguido de gestação e amamentação da prole.	Positivos. ↑Peso do pâncreas, ↓Diâmetro de ilhota pancreática, ↑Insulina, ↑Massa de células $\beta$ .	(CORREIA-SANTOS et al., 2015)
Farinha	13 g ou 26 g, 12 semanas, tratamento.	Estudo clínico, cross-over, randomizado em adultos com pré-diabetes.	Positivos. 13 g e 26 g: ↑ALA 13 g: ↓Glicose em jejum, ↓Insulina, ↓HOMA-IR.	(HUTCHINS et al., 2013)

Símbolos: ↑: aumentado; ↓: reduzido. Abreviaturas: 6PGDH: 6-fosfogliconato desidrogenase; AGCC: ácidos graxos de cadeia curta; ALA: ácido alfa-linolênico; ALT: alanina aminotransferase; AST: aspartato aminotransferase; DBP: pressão diastólica sanguínea; G6PD: glicose-6-fosfato desidrogenase; GR: glutationa redutase; GSH: glutationa total; GST: glutationa-S-transferase; HbA1c: hemoglobina A1c; HDL: lipoproteína de alta densidade; HOMA- $\beta$ : modelo de avaliação da homeostase da capacidade funcional das células beta pancreáticas; HOMA-IR: modelo de avaliação da homeostase de resistência à insulina; hs-CRP: proteína C-reativa de alta sensibilidade; IL: interleucina; IMC: índice de massa corpórea; LDL: lipoproteína de baixa densidade; LDLR: receptor de lipoproteína de baixa densidade; LPS: lipopolissacarídeo; MDA: malondialdeído; PPAR- $\gamma$ : receptor proliferador-ativado de peroxissomo gamma; QUICKI: índice quantitativo de sensibilidade à insulina; S $\beta$ : sensibilidade de células beta; SBP: pressão sistólica sanguínea; SI: sensibilidade à insulina; SOD: superóxido desmutase; SDG: secoisolariciresinol diglucosídeo; TBARS: substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico; TC: colesterol total; TG: triglicerídeos; TNF- $\alpha$ : Fator de necrose tumoral alfa; VLDL: lipoproteína de densidade muito baixa. \*Estatisticamente significativos.

Tabela 3 – Estudos com a linhaça e seus produtos na diabetes

Modificações no estilo de vida e alimentação, além de serem considerados os modos mais efetivos de prevenção do DT2, podem ainda auxiliar como estratégias alternativas ou complementares na regulação dos sintomas relacionados ao diabetes, mesmo quando se faz necessária a ingestão de medicamentos para controle glicêmico. Assim como no quadro de pré-diabetes, as fibras e outros compostos bioativos da linhaça podem ser potenciais agentes anti-hiperglicêmicos, além de mitigar complicações relacionadas ao DT2. A suplementação de linhaça moída mostrou-se capaz de atenuar os sintomas associados à DT2 incluindo desregulação glicêmica e estresse oxidativo. A semente de linhaça apresentou-se efetiva na redução da circunferência da cintura e peroxidação lipídica em um estudo randomizado com indivíduos adultos com DT2 (RICKLEFS-JOHNSON et al., 2017). A incorporação da linhaça como um ingrediente bioativo em alimentos de consumo diário, também se mostra como uma boa alternativa na melhora da alimentação. Hasaniani et al. (2019) avaliaram o efeito do consumo de iogurte enriquecido com linhaça em um estudo clínico randomizado com pacientes DT2. Os participantes do estudo receberam 200 g de iogurte, contendo 30 g de linhaça, ou iogurte natural por 8 semanas. Ao final deste estudo clínico foi possível observar uma redução nos níveis de hemoglobina glicada, colesterol total e pressão sanguínea no grupo que consumiu o iogurte enriquecido com linhaça (HASANIANI et al., 2019).

A intervenção dietética com óleo de linhaça em um modelo de ratos diabéticos obteve efeitos relevantes na mitigação dos sintomas do DT2 ao suprimir a inflamação e modular a microbiota intestinal dos animais (ZHU et al., 2020) abnormal lipid profiles, chronic low-grade inflammation and gut dysbiosis. Dietary intervention plays a crucial role in the control of diabetes. Flaxseed oil (FO). O óleo de linhaça foi capaz de reduzir os níveis de glicose plasmática em jejum, hemoglobina glicada e lipídeos sanguíneos, além de interferir no status oxidativo pela regulação dos níveis de LPS, IL-1 $\beta$ , TNF- $\alpha$ , IL-6, IL-17A e malondialdeído. Já a modulação da microbiota se deu pela redução da abundância relativa de *Firmicutes* e *Blautia*, assim como da razão *Bacteroidetes-Firmicutes*, e pela elevação da abundância relativa de *Bacteroidetes* e *Alistipes*. Esta composição microbiana reportada por ZHU et al. (2020) levou ao aumento da produção de metabólitos como os AGCC, mais especificamente ácidos acético, propiônico e butírico, após a intervenção com o óleo de linhaça.

Independentemente do tipo de diabetes (1 ou 2), vários fatores genéticos e ambientais podem resultar na redução progressiva da quantidade e/ou função de células- $\beta$ , o que se manifesta clinicamente como hiperglicemia, sendo este quadro responsável pelos riscos associados ao desenvolvimento de complicações crônicas. O diabetes tipo 1 (DT1), representa aproximadamente 5-10% dos pacientes e se dá pela destruição celular de células- $\beta$  pancreáticas mediada pelo sistema autoimune. A destruição autoimune das células- $\beta$  tem diversas predisposições genéticas, ocorrendo em diferentes taxas de destruição, podendo ser rápida (principalmente em crianças) ou mais lenta (especialmente

em adultos) (AMERICAN DIABETES ASSOCIATION, 2019). Ratos diabéticos sob intervenção com linhaça tiveram redução significativa em seu nível de glicose sanguínea, em comparação ao grupo diabético não tratado, porém ainda acima dos valores obtidos para o grupo controle (GOK et al., 2016). A administração crônica da lignana SDG, em ratos induzidos ao DT1, foi capaz de mitigar dores neuropáticas (hiperalgesia e alodinia), supostamente pela correlação de sua ação analgésica à sua capacidade antioxidante (HU et al., 2015).

Diabetes mellitus gestacional (DMG) é o quadro diabético, primeiramente diagnosticado no segundo ou terceiro trimestre de gravidez, que não é claramente proveniente de um DT1 ou DT2 pré-existente. O DMG pode conferir riscos à saúde da mãe, do feto e do neonato. Além disso, ocorre uma elevação do risco de desenvolvimento de DT2 pela mulher, após o nascimento da criança, sendo recomendada a prevenção e avaliação contínua para estes indivíduos (AMERICAN DIABETES ASSOCIATION, 2019). O consumo de óleo de linhaça em modelo de DMG em ratos mostrou-se capaz de reduzir os danos causados por hiperglicemia materna, prevenindo a remodelagem pancreática adversa, mais especificamente pela melhora da expressão de insulina e redução da hipertrofia de ilhotas pancreáticas, além de estabelecer níveis normais de massa de células- $\beta$  na prole feminina (CORREIA-SANTOS et al., 2015). Um estudo clínico randomizado, duplo-cego, controlado por placebo realizado com 60 mulheres com DMG, avaliou os efeitos do consumo de cápsulas de ácidos graxos ômega-3 de linhaça, contendo 400 mg de ALA, por 6 semanas. Além da regulação de marcadores inflamatórios e da expressão gênica de insulina, lipídeos e inflamação, a suplementação com ômega-3 foi capaz de reduzir os níveis de glicose plasmática em jejum, insulina e resistência à insulina, e aumentar a sensibilidade à insulina, quando comparado ao grupo placebo (JAMILIAN et al., 2020).

### 4.3 Doenças inflamatórias intestinais

As DIIs são doenças do trato gastrointestinal com alta prevalência nos países da Europa e América do Norte, mas que nos últimos 20 anos têm crescido de forma mais evidente em países em desenvolvimento, como Brasil, China e Índia. Até 2030, é esperado que as DIIs atinjam pelo menos 1% das populações das diversas regiões do mundo (KAPLAN & WINDSOR, 2020).

As DIIs são causadas pela associação de até quatro fatores distintos, descritos como: 1. predisposição genética caracterizada pela redução ou aumento da expressão de genes específicos (exemplos: *NOD2*, *IL23R*); 2. resposta imunológica exacerbada contra antígenos bacterianos; 3. fatores ambientais, como alimentação inadequada e uso de medicamentos; e 4. desequilíbrio entre bactérias comensais/benéficas e patogênicas do cólon (“disbiose”) (GUAN, 2019). A doença de Crohn e colite ulcerativa (UC) são as principais condições representantes das DIIs; enquanto a primeira pode atingir qualquer porção do trato gastrointestinal, afetando da mucosa à membrana serosa, a segunda é

comumente restrita ao cólon, danificando mucosa, *lamina própria* e/ou submucosa. Ambas promovem respostas e prejuízos ao tecido intestinal, os quais incluem: ulceração, perda de criptas e disfunção de barreira epitelial; infiltração de macrófagos, neutrófilos e linfócitos com produção elevada de citocinas, enzimas e fatores transcricionais pró-inflamatórios; e estresse oxidativo, caracterizado pela liberação de espécies reativas de oxigênio e desregulação de enzimas antioxidantes (TIAN et al., 2017; TORRES et al., 2017; UNGARO et al., 2017).

Os pacientes portadores de DIIs geralmente possuem um quadro sintomático debilitante capaz de promover incapacidade social, profissional e psicológica. Dor abdominal, diarreia, sangramento retal, perda de peso e fadiga/cansaço são os sintomas comumente evidenciados, enquanto que depressão e ansiedade podem surgir de forma associada (GRAFF et al., 2009; KEMP et al., 2012; PERLER et al., 2019). Com o objetivo de abrandar o quadro clínico, os indivíduos com DIIs fazem uso de medicamentos capazes de bloquear ou reduzir a resposta imunológica/processo inflamatório, sendo eles os aminosalicilatos (sulfasalazina, mesalazina), corticosteroides (prednisolona, budesonida), imunossupressores (azatioprina, metotrexato) e/ou anticorpos monoclonais (*anti-TNF- $\alpha$* , *anti- $\alpha$ 4 $\beta$ 7-integrin*, *anti-IL-12/IL-23*), sendo a escolha dependente da severidade da doença e/ou resposta ao tratamento. No entanto, tais terapias podem vir acompanhadas de importantes efeitos adversos em até 50% dos pacientes (HAZEL & O'CONNOR, 2020; LAMB et al., 2019). Nesse sentido, estudos vêm sendo realizados de forma a avaliar a eficácia de produtos naturais com baixa ou nenhuma citotoxicidade, como a linhaça, na prevenção ou tratamento das DIIs (NASCIMENTO et al., 2020a).

Por ter quantidades interessantes em compostos fenólicos, fibras dietéticas, ALA e peptídeos bioativos, a semente de linhaça e/ou os seus produtos (farinha, goma, óleo, extrato/isolado fenólico, hidrolisado proteico) podem exibir atividades anti-inflamatória, antioxidante e prebiótica (PARIKH et al., 2019) capazes de potencialmente postergar o surgimento ou ajudar a tratar as DIIs.

Até o presente momento, 10 estudos (2012-2020) foram realizados na investigação dos efeitos da linhaça ou seus produtos nas DIIs, dos quais a maioria revelou resultados favoráveis (Tabela 4). Especialmente, os extratos ou isolados fenólicos da linhaça estão entre os produtos mais promissores, a serem discutidos a seguir.

Em indivíduos com DIIs, existe uma desregulação dos sistemas anti-inflamatório e antioxidante. É teorizado que o prolongado processo inflamatório típico das doenças é consequência da produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (exemplo: peróxido de hidrogênio) e nitrogênio (exemplo: óxido nítrico) na mucosa intestinal, o que eventualmente promove a desregulação da atividade de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutatona peroxidase (GPx) e glutatona reduzida (GSH) (BASKOL et al., 2008; RANA et al., 2014; GUAN & LAN, 2018). Intervenções capazes de neutralizar radicais livres são visadas para auxiliar na redução dos níveis de

citocinas inflamatórias e aprimorar a capacidade antioxidante das células. Em estudo de Palla et al. (2016), por exemplo, o extrato fenólico cru hidro-metanólico preparado a partir da farinha da linhaça marrom mostrou alta eficácia no aumento da atividade de enzimas antioxidantes (SOD, CAT, GPx, GSH) e na redução dos níveis de citocinas pró-inflamatórias (IL-17, IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ ) no cólon de camundongos com UC induzida por ácido acético. Os benefícios encontrados a nível molecular para as doses de 300 e 500 mg de linhaça por kg de peso foram equiparáveis aos observados pelo medicamento prednisolona no estudo em questão (PALLA et al., 2016).

Em outro estudo, utilizando um reagente mais sofisticado e eficaz para a indução de UC em roedores, o dextran sulfato de sódio (CHASSAING et al., 2014), WANG et al. (2020) observou ter a lignana SDG, um fenólico encontrado em abundância na linhaça (GOYAL et al., 2014), a capacidade de bloquear uma via de sinalização associada ao início da resposta inflamatória. No caso, SDG foi capaz de atuar na inibição do inflamassoma NLRP1, o qual é responsável pela ativação de caspase-1 e produção de IL-1 $\beta$ , uma citocina considerada altamente inflamatória e tradicionalmente associada à UC (RANSON et al., 2019). Adicionalmente, o mecanismo de ação de SDG, sugerem os autores, parece ser parcialmente dependente do bloqueio do NF- $\kappa$ B (WANG et al., 2020), uma proteína que fortemente influencia na progressão das DIIs, apresentando atividade aumentada em portadores (SCHREIBER et al., 1998; ATREYA et al., 2008; HAN et al., 2017). A inibição da ativação recorrente de NF- $\kappa$ B e o consequente aumento da expressão de citocinas pró-inflamatórias constitui promissora estratégia no manejo das DIIs, tendo estudos da literatura demonstrado que isso pode ser atingido através de compostos fenólicos isolados e plantas medicinais (DEBNATH et al., 2013; WANG et al., 2018b; LU & ZHAO, 2020).

Produto	Dosagem, período	Modelo experimental	Resultados*	Referência
Farinha da semente inteira (40% fibras totais, 22% n-3 AGPIs, 1,1% SDG), miolo (36% fibras totais, 29% n-3 AGPIs, 0,12% SDG) e casca (49% fibras totais, 14,5% n-3 AGPIs, 2,67% SDG).	10% (semente), 6% (miolo) ou 4% (casca) na dieta, 21 dias, prevenção.	Camundongos C57BL/6 machos, DSS-UC aguda.	Negativos. Todos os tratamentos: $\uparrow$ AGCC, $\uparrow$ lignanas séricas, $\uparrow$ enterodiol sérico, $\uparrow$ enterolactona sérica, $\uparrow$ ácido araquidônico hepático, $\uparrow$ DHA hepático, $\uparrow$ n-3 AGPIs hepático, $\uparrow$ n-6 AGPIs hepático, $\downarrow$ n-6/n-3. Semente: $\uparrow$ secoisolaricresinol sérico, $\uparrow$ LA hepático, $\uparrow$ ALA hepático, $\uparrow$ EPA hepático, $\uparrow$ IAD, $\uparrow$ escore consistência das fezes, $\downarrow$ massa corporal, $\uparrow$ peso/comprimento do cólon, $\uparrow$ dano histológico, $\uparrow$ apoptose epitelial, $\uparrow$ MPO, $\uparrow$ IL-6 (cólon, soro), $\uparrow$ IFN- $\gamma$ (soro), $\uparrow$ IL-1 $\beta$ (cólon, soro), $\uparrow$ genes relacionados a NF- $\kappa$ B. Miolo: $\uparrow$ LA hepático, $\uparrow$ ALA hepático, $\uparrow$ EPA hepático, $\uparrow$ escore consistência das fezes. Casca: $\uparrow$ secoisolaricresinol sérico, $\uparrow$ massa corporal.	(ZAREPOOR et al., 2014)
Farinha	7% na dieta, 42 dias, prevenção.	Camundongos C57BL/6 machos, <i>Citrobacter rodentium</i> -DII.	Negativos. $\uparrow$ dano histológico, $\uparrow$ IL-22 mRNA, $\uparrow$ <i>Citrobacter rodentium</i> , $\downarrow$ <i>Akkermansia muciniphila</i> , $\downarrow$ <i>Parabacteroides distasonis</i> , $\uparrow$ AGCC.	(MÄÄTTÄNEN et al., 2018)

Oligossacarídeos extraídos da goma, 39,5% xilose, 32% ramnose, 12,5% arabinose, 10% galactose, 6% fucose.	50, 100 e 200 mg/kg m.c., via gavagem, 14 dias, tratamento.	Camundongos C57BL/6 machos, DSS-UC crônica.	Positivos. Todos os tratamentos: ↓dano histológico, ↓TNF- $\alpha$ , ↓IL-6, ↑ <i>Bacteroidetes</i> , ↓ <i>Firmicutes</i> , ↓ <i>Akkermansia</i> . 100: ↑ácido isobutírico. 200: ↑comprimento do cólon, ↓LPS, ↓MPO, ↓MDA, ↓IL-1 $\beta$ , ↑IL-10, ↑claudina 1, ↑ocludina, ↑diversidade microbiana, ↑ <i>Allobaculum</i> , ↑ácido valérico, ↑ácido butírico, ↑ácido isobutírico.	(XU et al., 2020) FOS (50 mg kg-1 d-1, 100 mg kg-1 d-1 and 200 mg kg-1 d-1)
Farinha, óleo (58% ALA).	Farinha 30 g e óleo 10 g, 84 dias, tratamento.	Adultos homens e mulheres com UC, estudo randomizado controlado.	Positivos. Ambos os tratamentos: ↓circunferência da cintura, ↓pressão arterial, ↑TGF- $\beta$ (soro), ↓IFN- $\gamma$ (soro), ↓taxa de sedimentação de eritrócitos, ↓calprotectina fecal, ↓escore clínico, ↑questionário de qualidade de vida. Óleo: ↓IL-6 (soro).	(MORSHED-ZADEH et al., 2019)
Óleo.	1 mL via enema em um único momento, prevenção.	Ratos Wistar fêmeas e machos, AA-UC aguda.	Nenhum efeito significativo.	(DUGANI; ELHELAWI; EDRAH, 2012)1 ml
Óleo (57% ALA).	400, 800 e 1600 mg/kg m.c., via gavagem, 42 dias, prevenção.	Ratos Sprague-Dawley machos, DSS-UC aguda.	Positivos. Todos os tratamentos: ↑SOD, ↑ <i>Proteobacteria</i> . 400: ↑ <i>Lactobacillus</i> , ↑ <i>Lachnospirillum</i> , ↑ <i>Phascolarctobacterium</i> . 800: ↓IAD, ↓peso/comprimento do cólon, ↓dano histológico, ↑GSH, ↓MPO, ↑IL-2, ↓IL-6, ↑IL-10, ↓MCP-1, ↑diversidade microbiana, ↑ <i>Verrucomicrobia</i> , ↓ <i>Romboutsia</i> , ↑ <i>Lachnospirillum</i> , ↑ <i>Phascolarctobacterium</i> . 1600: ↑massa corporal, ↓IAD, ↓peso/comprimento do cólon, ↑GSH, ↓MDA, ↓MPO, ↓IL-6, ↓MCP-1, ↑ <i>Verrucomicrobia</i> , ↑ <i>Bacteroidetes</i> .	(ZHOU et al., 2019)
Óleo (57% ALA, 0,01% CFT).	10% na dieta, 39 dias, prevenção.	Camundongos C57BL/6 fêmeas, DSS-UC aguda.	Sem efeitos ou negativos. ↓massa corporal, ↑peso do baço, ↑IL-6.	(NASCIMENTO et al., 2020b)
Óleo, extrato fenólico da farinha (fonte de taninos, flavonoides, triterpenos, alcalóides e cumarinas).	150, 300 e 500 mg/kg m.c., via i.p., sete dias, prevenção.	Camundongos Balb/c fêmeas, AA-UC aguda.	Positivos. Óleo: ↓mortalidade (300, 500), ↓IAD (300, 500), ↓ulceração (500), ↓inflamação (500), profundidade da lesão (300, 500). Extrato: ↓mortalidade (todas), ↓perda de peso (todas), ↓sangue oculto (todas), ↓IAD (todas), ↓peso/comprimento do cólon e baço (300, 500), ↓área afetada do cólon (todos), ↓ulceração (300), ↓inflamação (300), profundidade da lesão (todas), ↓MPO (todas), ↓MDA (todas), ↑GSH (300, 500), ↑SOD (300, 500), ↑CAT (300, 500), ↑GPx (300, 500), ↑IL-17 (todos), ↓IFN- $\gamma$ (todos), ↓TNF- $\alpha$ (todos).	(PALLA et al., 2016, 2020)
Farinha de linhaça desengordurada: 1. fenólicos isolados; 2. fenólicos hidrolisados; 3. hidrolisado proteico; 4. fenólicos reduzidos mais hidrolisado proteico.	<i>In vitro</i> : a depender da análise. <i>In vivo</i> : 200 mg/kg m.c., via gavagem, prevenção (14) ou tratamento (7 dias).	<i>In vitro</i> : LPS/IFN- $\gamma$ , RAW264.7 (inflamação geral). <i>In vivo</i> : Camundongos Balb/c fêmeas, TNBS-DC aguda.	Positivos. Todos os tratamentos: ↓óxido nítrico ( <i>in vitro</i> ), ↓TNF- $\alpha$ ( <i>in vitro</i> ), ↓dano histológico (prevenção). Fenólicos isolados: ↑massa corporal (prevenção), ↓índice de proliferação de células T baço (tratamento), ↑Foxp3 baço (tratamento), ↓IFN- $\gamma$ baço (prevenção, tratamento), ↓IL-17 baço (prevenção, tratamento), ↓TNF- $\alpha$ baço (prevenção). Hidrolisado proteico: ↓IFN- $\gamma$ baço (prevenção). Fenólicos reduzidos mais hidrolisado proteico: ↑massa corporal (tratamento), ↓IL-17 baço (prevenção).	(E SILVA et al., 2018)

SDG	<i>In vitro</i> : a depender da análise. <i>In vivo</i> : 0,02% na dieta, oito dias, tratamento	<i>In vitro</i> : LPS, RAW264.7 (inflamação geral). <i>In vivo</i> : Camundongos C57BL/6 machos, DSS-UC aguda.	Positivos. <i>In vitro</i> : ↓ASC, ↓caspase-1, ↓NLRP1, ↓IL-1β, ↓IL-18, ↓TNF-α, ↓NF-κB. <i>In vivo</i> : ↑comprimento do cólon, ↑massa corporal, ↓IAD, ↓escore histológico, ↓infiltração de macrófagos, ↓IL-1β, ↓IL-18, ↓TNF-α.	(WANG et al., 2020)
-----	--	---	--	---------------------

Símbolos: ↑: aumentado; ↓: reduzido. Abreviaturas: AA: ácido acético; AGCC: ácidos graxos de cadeia curta; AGPI: ácido graxo poliinsaturado; ALA: ácido alfa-linolênico; ASC - proteína *speck-like* associada à apoptose; CFT: compostos fenólicos totais; DC – doença de Crohn; CAT: catalase; DII: doença inflamatória intestinal; DSS: dextran sulfato de sódio; DHA: ácido docosahexaenoico; EPA: ácido eicosapentaenoico; GPx: glutatona peroxidase; GSH: glutatona reduzida; IAD: índice de atividade da doença; IFN-γ: interferon-gama; IL: interleucina; i.p.: intraperitoneal; LA: ácido linoleico; LPS: lipopolissacarídeo; MCP-1: proteína quimiotática de monócitos 1; MDA: malondialdeído; MPO: mieloperoxidase; m.c.: massa corporal; NLRP1: *nucleotide oligomerization domain (NOD)-like receptor protein 1*; NF-κB: fator nuclear kappa B; SDG: secoisolaricresinol diglucosídeo; SOD: superóxido dismutase; TGF-β: fator de transformação do crescimento beta; TNF-α: Fator de necrose tumoral alfa; UC: colite ulcerativa.  
\*Estatisticamente significativos (p<0.05). Observações: 1. quando não mencionado, os resultados dizem respeito às análises realizadas no cólon; 2. os resultados de ácidos graxos de cadeia curta e microbiota intestinal são a partir de análises das fezes.

Tabela 4 – Estudos com a linhaça e seus produtos nas doenças inflamatórias intestinais

Além de produzir efeitos anti-inflamatórios e antioxidantes, dois estudos revelaram ter os oligossacarídeos e o óleo da linhaça ação prebiótica em roedores com UC induzida, através de observações do aumento da produção de AGCC, maior diversidade microbiana e predomínio de gêneros bacterianos associados à saúde intestinal ( ZHOU et al., 2019; XU et al., 2020). Os AGCC são moléculas produzidas a partir da fermentação de produtos alimentares, principalmente carboidratos não digeríveis, pelas bactérias do cólon, sendo utilizados como substrato energético pela célula epitelial e atuando na indução de mecanismos anti-inflamatórios e manutenção da função de barreira epitelial (PARADA VENEGAS et al., 2019). Indivíduos com DIIs exibem defeitos em permeabilidade epitelial e *tight junctions*, o que ocasiona em respostas imunológicas exacerbadas associadas ao reconhecimento de antígenos e ativação de vias inflamatórias (LEE et al., 2018). Sendo assim, ao constituir um provável indutor da produção de AGCC, a linhaça poderia atuar na proteção da mucosa epitelial intestinal, prevenindo contra as DIIs.

Finalmente, até o presente momento, apenas um estudo com humanos foi realizado na investigação dos efeitos da linhaça nas DIIs. Através do ensaio randomizado controlado de MORSHEDZADEH et al. (2019), foram observados reduções em sintomas clínicos e uma regulação nos níveis de citocinas séricas após quase três meses de alimentação com 30 g farinha ou 10 g de óleo de linhaça. Apesar dos resultados iniciais promissores, é importante ressaltar que ainda são escassos os estudos com linhaça nas DIIs, especialmente os relacionados à microbiota intestinal. Além disso, os estudos com roedores realizados por DUGANI et al. (2012), ZAREPOOR et al. (2014), MÄÄTTÄNEN et al. (2018) e NASCIMENTO et al. (2020a) não encontraram efeitos positivos na ingestão de linhaça na forma de farinha

ou óleo, tendo alguns inclusive, observado uma piora do quadro de colite induzida após a intervenção. Mais estudos são necessários, principalmente aqueles do tipo ensaio clínico duplo-cego controlado randomizado, de forma a confirmar a eficácia da linhaça ou seus produtos nas DIIs.

#### 4.4 Câncer de mama

O câncer de mama (CM) é o segundo tipo de câncer mais comum entre os sexos e o mais diagnosticado para o sexo feminino, tendo atingido em 2018 uma quantidade estimada de 2,1 milhões de mulheres no mundo. Em mais de 100 países do mundo, o CM é a principal causa de morte entre todos os tipos de câncer (BRAY et al., 2018). Quando comparados os anos de 1990 e 2015, os maiores aumentos na mortalidade por CM foram encontrados nas regiões da América Latina e Caribe (AZAMJAH et al., 2019).

Dentre os fatores que elevam o risco para a obtenção de CM, estão: menarca precoce, menopausa tardia, nuliparidade, ingestão oral de hormônios, consumo de álcool, e ganho de peso. Especialmente, a reposição oral de hormônios, comumente realizada após a menopausa, parece contribuir para um risco elevado, visto que promove o aumento dos níveis plasmáticos de estrógeno e seus metabólicos, considerados potencialmente carcinogênicos em diversos tecidos, incluindo as glândulas mamárias (YAGER & DAVIDSON, 2006).

Agentes estrogênicos fracos ou anti-estrogênicos naturais, como as lignanas da linhaça, têm sido propostos no manejo do CM. Ao serem consumidas, as lignanas da linhaça (SDG, lariciresinol, pinoresinol, matairesinol) são convertidas pelas bactérias do cólon em lignanas de mamíferos, enterolactona e enterodiol. Estes são estruturalmente semelhantes ao estrogênio, exibindo fraca ação estrogênica, além de antioxidante. Adicionalmente, as lignanas podem se ligar aos receptores celulares de estrógeno, potencialmente inibindo o crescimento das células de câncer (CALADO et al., 2018). De fato, estudos observacionais têm demonstrado que o consumo da linhaça ou lignanas está associado a uma redução no risco e mortalidade para CM, especialmente em mulheres em estágio pós-menopausa (BUCK et al., 2010; FLOWER et al., 2014). Adicionalmente, ensaios clínicos associam a suplementação com linhaça com a regulação nos níveis circulantes e urinários de hormônios sexuais (HAGGANS et al., 1999; CHANG et al., 2019).

Até o presente momento, cinco estudos com humanos (2005-2020) foram realizados na investigação dos efeitos diretos da linhaça ou SDG em mulheres com história de CM ou apresentando tumor benigno ou maligno de mama (Tabela 5). Nos estudos de MCCANN et al. (2014) e PRUTHI et al. (2012), por exemplo, efeitos mínimos ou nenhum efeito foram observados na suplementação de linhaça em mulheres na pós-menopausa com diagnóstico ou história de CM, respectivamente. Apesar do primeiro estudo ter utilizado uma dose diária elevada de linhaça (25 g), o tempo de tratamento estipulado foi curto (13-16 dias), bem como a amostragem foi reduzida (6 mulheres), o que pode ter dificultado a visualização de

efeitos a nível hormonal (MCCANN et al., 2014). Por outro lado, no segundo estudo, apesar da linhaça ter sido oferecida por seis semanas e prover uma dose relevante de lignanas (410 mg), a mesma não foi capaz de reduzir as ondas de calor de mulheres (PRUTHI et al., 2012).

Os estudos de FABIAN et al. (2010) e THOMPSON et al. (2005) permanecem como os únicos até então a demonstrarem os efeitos positivos da linhaça no tratamento do CM. No estudo piloto de FABIAN et al. (2010), os autores buscaram compreender os efeitos da administração de 50 mg de SDG por 12 meses em aspectos do tecido mamário e na expressão do marcador de proliferação celular *Ki-67* em mulheres pré-menopausa com tumor benigno. Como resultados, os autores observaram uma elevação nos níveis plasmáticos de lignanas, a qual foi associada a uma redução na citologia atípica da mama e da expressão de *Ki-67*, indicando os efeitos protetores de SDG contra o desenvolvimento de malignância (FABIAN et al., 2010). Apesar dos resultados promissores desse estudo, o mesmo foi repetido em 2020 pela mesma autora como um estudo clínico randomizado controlado, no entanto revelou resultados não significativos em análises semelhantes para a intervenção com 50 mg de SDG (FABIAN et al., 2020).

Produto	Dosagem, período	População, tipo de estudo	Resultados	Referência
Muffin contendo 25 g de farinha de linhaça.	1 muffin, 32 dias, tratamento.	19 mulheres na pós-menopausa com câncer de mama primário, estudo randomizado controlado duplo-cego.	Positivos. ↑Excreção urinária de lignanas, ↓ <i>Ki-67</i> , ↓ <i>c-erbB2</i> , ↑apoptose.	(THOMPSON et al., 2005)
Barra de cereal contendo 7,5 g de linhaça, 6 g de proteínas, 20% de fibras e 410 mg de lignanas.	1 barra de cereal, 36 dias, tratamento para ondas de calor e prevenção para câncer de mama.	69 mulheres na pós-menopausa sem ou com história de câncer de mama/tumor benigno, estudo fase III randomizado controlado duplo-cego.	Sem efeitos significativos relevantes.	(PRUTHI et al., 2012)
Farinha da linhaça.	25 g por 13 a 16 dias, tratamento.	6 mulheres na pós-menopausa com câncer de mama em estágio clínico II ou menor, estudo piloto randomizado controlado.	Nenhum efeito significativo.	(MCCANN et al., 2014)
Lignana secoisolariciresinol diglucosídeo.	50 mg por 12 meses, prevenção.	45 mulheres na pré-menopausa com tumor benigno de mama, estudo piloto.	Positivos. ↓ <i>Ki-67</i> , ↓citomorfologia atípica, ↓proteína ligadora 3 do fator de crescimento semelhante à insulina (soro), ↑secoisolariciresinol (soro), ↑enterodiol (soro), ↑enterolactona (soro), ↑lignanas totais (soro).	(FABIAN et al., 2010)
Lignana secoisolariciresinol diglucosídeo.	50 mg por 12 meses, prevenção.	100 mulheres na pré-menopausa com tumor benigno de mama, estudo fase IIB randomizado controlado.	Sem efeitos significativos relevantes.	(FABIAN et al., 2020)

Tabela 5 – Estudos clínicos com a linhaça e seus produtos no câncer de mama

Finalmente, até então o estudo com resultados mais promissores, o ensaio randomizado controlado duplo-cego de Thompson et al. (2005) avaliou os efeitos do consumo de um muffin contendo 25 g de farinha de linhaça (50 mg de SDG) por 32 dias em marcadores tumorais de mulheres pós-menopausa com CM. Neste estudo, o consumo diário da linhaça: 1. reduziu a proliferação celular através da diminuição da expressão de *Ki-67*; 2. aumentou a apoptose medida *in situ*; e 3. reduziu a expressão de *c-erbB2* em biópsias de tumor mamário. A expressão do oncogene *c-erbB2* está associada com um prognóstico piorado de CM, tendo os resultados desse estudo sugerido possuir a linhaça a capacidade de mudar o fenótipo da doença para uma forma menos agressiva (THOMPSON et al., 2005).

Mais estudos clínicos precisam ser realizados de forma a entender o modo de ação das lignanas da linhaça e a sua potencial eficácia, ainda pouco comprovada, no CM.

## 5 | CONCLUSÃO

O potencial bioativo da linhaça, rica em compostos fenólicos, ômega-3, fibras dietéticas, proteínas de alta qualidade e peptídeos bioativos, demonstra que a semente e seus derivados são uma alternativa promissora na redução do riscos de doenças crônicas, tais como a obesidade, o diabetes, as DIIs, e o CM. Deste modo, a linhaça apresenta um papel de destaque como um alimento funcional, devendo ser amplamente explorada pela indústria alimentícia e farmacêutica como ingrediente/suplemento alimentar para enriquecimento da dieta humana.

## AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – código 001; CNPq (403328/2016-0; 301496/2019-6), FAPESP (2015/50333-1; 2018/11069-5; 2015/13320-9, 2019/13465-8)”, Red Iberoamericana de Alimentos Autoctonos Subutilizados (ALSUB-CYTED, 118RT0543).

## REFERÊNCIAS

AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. 2. Classification and diagnosis of diabetes: Standards of medical care in diabetesd2019. **Diabetes Care**, v. 42, n. January, p. S13–S28, 2019.

ANWAR F.; PRZYBYLSKI, R. Effect of solvents extraction on total phenolics and antioxidant activity of extracts from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 11, p. 293–301, 2012.

ARORA, T. et al. Microbial fermentation of flaxseed fibers modulates the transcriptome of GPR41-expressing enteroendocrine cells and protects mice against diet-induced obesity. **American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism**, v. 316, n. 3, p. E453–E463, 2019.

ATREYA, I.; ATREYA, R.; NEURATH, M. F. NF- $\kappa$ B in inflammatory bowel disease. *In: JOURNAL OF INTERNAL MEDICINE* 2008, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1111/j.1365-2796.2008.01953.x.

AZAMJAH, N.; SOLTAN-ZADEH, Y.; ZAYERI, F. Global trend of breast cancer mortality rate: A 25-year study. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, [S. l.], 2019. DOI: 10.31557/APJCP.2019.20.7.2015.

BARANOWSKI, M. et al. Dietary flaxseed oil reduces adipocyte size, adipose monocyte chemoattractant protein-1 levels and T-cell infiltration in obese, insulin-resistant rats. **Cytokine**, v. 59, n. 2, p. 382–391, 2012. DOI: 10.1016/j.cyto.2012.04.004.

BASHIR, S.; ALI, S.; KHAN, F. Partial reversal of obesity-induced insulin resistance owing to anti-inflammatory immunomodulatory potential of flaxseed oil. **Immunological Investigations**, v. 44, n. 5, p. 451–469, 2015.

BASKOL, M.; BASKOL, G.; KOÇER, D.; OZBAKIR, O.; YUCESOY, M. Advanced oxidation protein products: A novel marker of oxidative stress in ulcerative colitis. **Journal of Clinical Gastroenterology**, [S. l.], 2008. DOI: 10.1097/MCG.0b013e318074f91f.

BEKHIT, A. E. D. A. et al. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization and opportunities. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v. 13, p. 129-152, 2018.

BERNACCHIA, R.; PRETI, R.; VINCI, G. Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. **Austin Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 2, n. 8, p. 1045–1054, 2014.

BOWERS, L. W. et al. The flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside decreases local inflammation, suppresses NF $\kappa$ B signaling, and inhibits mammary tumor growth. **Breast Cancer Research and Treatment**, v. 173, n. 3, p. 545–557, 2019.

BRAY, F.; FERLAY, J.; SOERJOMATARAM, I.; SIEGEL, R L.; TORRE, L.A.; JEMAL, A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. **CA: A Cancer Journal for Clinicians**, v. 68, n. 6, p. 394–424, 2018. DOI: 10.3322/caac.21492. DOI: 10.3322/caac.21492.

BUCK, K.; ZAINEDDIN, A.K.; VRIELING, A.; LINSEISEN, J.; CHANG-CLAUDE, J.. Meta-analyses of lignans and enterolignans in relation to breast cancer risk. **American Journal of Clinical Nutrition**, 2010. DOI: 10.3945/ajcn.2009.28573.

CALADO, A.; NEVES, P.M.; SANTOS, T.; RAVASCO, P.. The Effect of Flaxseed in Breast Cancer: A Literature Review. **Frontiers in Nutrition**, 2018. DOI: 10.3389/fnut.2018.00004.

CHANG, V. C.; COTTERCHIO, M.; BOUCHER, B.A.; JENKINS, D.J.A.; MIREA, L.; MCCANN, S.E.; THOMPSON, L.U. Effect of Dietary Flaxseed Intake on Circulating Sex Hormone Levels among Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Intervention Trial. **Nutrition and Cancer**, 2019. DOI: 10.1080/01635581.2018.1516789.

CHASSAING, B.; AITKEN, J.D.; MALLESHAPPA, M.; VIJAY-KUMAR, M. Dextran sulfate sodium (DSS)-induced colitis in mice. **Current protocols in immunology**, v. 104, p. Unit 15.25., 2014. DOI: 10.1002/0471142735.im1525s104.

- CHISHTY, S.; BISSU, M. Health benefits and nutritional value of flaxseed - a review. **Indian Journal of Applied Research**, v. 6, n. 1, p. 243–245, 2016.
- CHO, K. Y.; SALTON, M. R. J. Fatty acid composition of bacterial membrane and wall lipids. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism**, v. 116, n. 1, p. 73–79, 1966.
- CORREIA-SANTOS, A.M. et al. Maternal use of flaxseed oil during pregnancy and lactation prevents morphological alterations in pancreas of female offspring from rat dams with experimental diabetes. **International Journal of Experimental Pathology**, v. 96, n. 2, p. 94–102, 2015.
- CRYAN, J. F. et al. The microbiota-gut-brain axis. **Physiological reviews**, v. 99, n. 4, p. 1877–2013, 2019.
- DEBNATH, T.; KIM, D.H.; LIM, B.O. Natural products as a source of anti-inflammatory agents associated with inflammatory bowel disease. **Molecules**, 2013. DOI: 10.3390/molecules18067253.
- DUGANI, A.; ELHELAWI, A.; EDRAH, A.. COMPARATIVE EFFECT OF FLAXSEED OIL AND FISH OIL IN ACETIC ACID- INDUCED COLITIS IN RATS. **The Libyan Journal of Pharmacy and Clinical Pharmacology**, [S. l.], 2012. DOI: 10.5542/ljpcp.v3i0.451372.
- DURAZZO A.; LUCARINI M.; CAMILLI E.; MARCONI, S.; GABRIELLI, P.; LISCIANI, S.; GAMBELLI, L.; AGUZZI, A.; NOVELLINO, E.; SANTINI, A.; TURRINI, A.; MARLETTA, L. Dietary Lignans: Definition, Description and Research Trends in Databases Development. **Molecules** (Basel, Switzerland), v. 23, n. 12, p. 1-14, 2018. DOI: 10.3390/molecules23123251.
- SILVA, F.G.D.; PAIATTO, L.N.; YAMADA, A.T.; NETTO, F.M.; SIMIONI, P.U.; TAMASHIRO, W.M.S.C. Intake of Protein Hydrolysates and Phenolic Fractions Isolated from Flaxseed Ameliorates TNBS-Induced Colitis. **Molecular Nutrition and Food Research**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1002/mnfr.201800088.
- EVENOCHECK, A.; RHEE, Y.; HALL, C. Do Health Promoting Compounds of Flaxseed Attenuate Weight Gain Via Modulation of Obesity Gene Expression? **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 441–445, 2020. DOI: 10.1007/s11130-020-00825-z.
- FABIAN, C.J. et al. Reduction in Ki-67 in benign breast tissue of high-risk women with the lignan secoisolariciresinol diglycoside. **Cancer Prevention Research**, [S. l.], 2010. DOI: 10.1158/1940-6207.CAPR-10-0022.
- FABIAN, C.J. et al. Randomized Phase IIB Trial of the Lignan Secoisolariciresinol Diglycoside in Premenopausal Women at Increased Risk for Development of Breast Cancer. **Cancer prevention research (Philadelphia, Pa.)**, 2020. DOI: 10.1158/1940-6207.CAPR-20-0050.
- FLOWER, G. et al. Flax and breast cancer: A systematic review. **Integrative Cancer Therapies**, 2014. DOI: 10.1177/1534735413502076.
- FURLAN, C.P.B.; CAMARGO, A.C.; MAROSTICA JR, M.R. Lipids, Lipoproteins, and Health. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**, p. 1–8, 2020.
- GASPAR, R.C. et al. Unsaturated fatty acids from flaxseed oil and exercise modulate GPR120 but not GPR40 in the liver of obese mice: a new anti-inflammatory approach. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 66, p. 52–62, 2019. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2018.12.003.

GOK, M. et al. Flaxseed Protects Against Diabetes-Induced Glucotoxicity by Modulating Pentose Phosphate Pathway and Glutathione-Dependent Enzyme Activities in Rats. **Journal of Dietary Supplements**, v. 13, n. 3, p. 339–351, 2016.

GOYAL, A.; SHARMA, V.; UPADHYAY, N.; GILL, S.; SIHAG, M.. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 1633–1653, 2014. DOI: 10.1007/s13197-013-1247-9.

GOYAL, A. et al. Therapeutic Potential of Flaxseed. [S.l.]: **Elsevier Inc.**, 2018. DOI: 10.1016/B978-0-12-814625-5.00013-3.

GRAFF, L.A.; WALKER, J.R.; BERNSTEIN, C.N. Depression and anxiety in inflammatory bowel disease: A review of comorbidity and management. **Inflammatory Bowel Diseases**, 2009. DOI: 10.1002/ibd.20873.

GUAN, G.; LAN, S. Implications of antioxidant systems in inflammatory bowel disease. **BioMed Research International**, 2018. DOI: 10.1155/2018/1290179.

GUAN, Q. A Comprehensive Review and Update on the Pathogenesis of Inflammatory Bowel Disease. **Journal of Immunology Research**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1155/2019/7247238.

HAGGANS, C.J.; HUTCHINS, A.M.; OLSON, B. A.; THOMAS, W.; MARTINI, M.C.; SLAVIN, J.L. Effect of flaxseed consumption on urinary estrogen metabolites in postmenopausal women. **Nutrition and Cancer**, [S. l.], 1999. DOI: 10.1207/S15327914NC330211.

HAIJAHMADI, A. et al. Effect of flaxseed oil on glycemic control and inflammatory markers in overweight adults with pre-diabetes: A double-blind randomized controlled clinical trial. **Journal of Herbal Medicine**, v. 24, p. 100387, 2020. DOI: 10.1016/j.hermed.2020.100387.

HAN, Y.M.; KOH, J.; KIM, J.W.; LEE, C.; KOH, S.J.; KIM, B.G.; LEE, Kook L.; IM, J.P.; KIM, J.S. NF-kappa B activation correlates with disease phenotype in Crohn's disease. **PLoS ONE**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0182071.

HASANIANI, N. et al. The Effect of Flaxseed Enriched Yogurt on the Glycemic Status and Cardiovascular Risk Factors in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: Randomized, Open-labeled, Controlled Study. **Clinical Nutrition Research**, v. 8, n. 4, p. 284, 2019.

HASHEMZADEH, A.A. et al. Flaxseed Oil Supplementation Improve Gene Expression Levels of PPAR- $\gamma$ , LP(a), IL-1 and TNF- $\alpha$  in Type 2 Diabetic Patients with Coronary Heart Disease. **Lipids**, v. 52, n. 11, p. 907–915, 2017. DOI: 10.1007/s11745-017-4295-5.

HAZEL, K.; O'CONNOR, A. Emerging treatments for inflammatory bowel disease. **Therapeutic Advances in Chronic Disease**, 2020. DOI: 10.1177/2040622319899297.

HIRASAWA, A. et al. Free fatty acids regulate gut incretin glucagon-like peptide-1 secretion through GPR120. **Nature Medicine**, v. 11, n. 1, p. 90–94, 2005.

HU, P. et al. Secoisolariciresinol diglycoside, a flaxseed lignan, exerts analgesic effects in a mouse model of type 1 diabetes: Engagement of antioxidant mechanism. **European Journal of Pharmacology**, v. 767, p. 183–192, 2015.

HUTCHINS, A.M. et al. Daily flaxseed consumption improves glycemic control in obese men and women with pre-diabetes: A randomized study. **Nutrition Research**, v. 33, n. 5, p. 367–375, 2013. DOI:10.1016/j.nutres.2013.02.012.

JAMILIAN, M. et al. The effects of n-3 fatty acids from flaxseed oil on genetic and metabolic profiles in patients with gestational diabetes mellitus: A randomised, double-blind, placebo-controlled trial. **British Journal of Nutrition**, v. 123, n. 7, p. 792–799, 2020.

KANIKOWSKA, D. et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) supplementation in patients undergoing lipoprotein apheresis for severe hyperlipidemia—A pilot study. **Nutrients**, v. 12, n. 4, 2020.

KAPLAN, G.G.; WINDSOR, J.W. The four epidemiological stages in the global evolution of inflammatory bowel disease. **Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology**, 2020. DOI: 10.1038/s41575-020-00360-x.

KASOTE D.M. Flaxseed phenolic as natural antioxidants. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 1, p. 27–34, 2013.

KASPRZAK, K. et al. Secondary metabolites, dietary fiber and conjugated fatty acids as functional food ingredients against overweight and obesity. **Natural Product Communications**, v. 13, n. 8, p. 1073–1082, 2018. DOI: 10.1177/1934578x1801300836

KRAJČOVÁ, A. et al. Lignans in Flaxseed. **Czech Journal Food Science**, v. 27, p. S252-S255, 2009.

KEMP, K.; GRIFFITHS, J.; LOVELL, K. Understanding the health and social care needs of people living with IBD: A meta-synthesis of the evidence. **World Journal of Gastroenterology**, [S. l.], 2012. DOI: 10.3748/wjg.v18.i43.6240.

LAMB, C.A. et al. British Society of Gastroenterology consensus guidelines on the management of inflammatory bowel disease in adults. **Gut**, 2019. DOI: 10.1136/gutjnl-2019-318484.

LEE, J. Y.; WASINGER, V.C.; YAU, Y.Y.; CHUANG, E.; YAJNIK, V.; LEONG, R.W.L. Molecular pathophysiology of epithelial barrier dysfunction in inflammatory bowel diseases. **Proteomes**, 2018. DOI: 10.3390/PROTEOMES6020017.

LIN, X. et al. In vitro fermentation of flaxseed polysaccharide by fecal bacteria inhibits energy intake and adipogenesis at physiological concentration. **Food Research International**, v. 139, n. October 2020, p. 109920, 2020. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109920.

LU, P.D.; ZHAO, Y.H. Targeting NF-κB pathway for treating ulcerative colitis: Comprehensive regulatory characteristics of Chinese medicines. **Chinese Medicine** (United Kingdom), 2020. DOI: 10.1186/s13020-020-0296-z.

LUO, J. et al. Flaxseed gum reduces body weight by regulating gut microbiota. **Journal of Functional Foods**, v. 47, n. May, p. 136–142, 2018. DOI: 10.1016/j.jff.2018.05.042.

LUO, J. et al. Antiobesity Effect of Flaxseed Polysaccharide via Inducing Satiety due to Leptin Resistance Removal and Promoting Lipid Metabolism through the AMP-Activated Protein Kinase (AMPK) Signaling Pathway. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, p. 7040–7049, 2019.

- MÄÄTTÄNEN, P. et al. Ground flaxseed reverses protection of a reduced-fat diet against citrobacter rodentium-induced colitis. **American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1152/ajpgi.00101.2018.
- MCCANN, S.E. et al. A pilot study comparing the effect of flaxseed, aromatase inhibitor, and the combination on breast tumor biomarkers. **Nutrition and Cancer**, [S. l.], 2014. DOI: 10.1080/01635581.2014.894097.
- MOHAMMADI-SARTANG, M. et al. The effect of flaxseed supplementation on body weight and body composition: a systematic review and meta-analysis of 45 randomized placebo-controlled trials. **Obesity Reviews**, v. 18, n. 9, p. 1096–1107, 2017.
- MORRIS D. Flax, a health and nutrition primer. **Flax Council of Canada**, p. 2–5, 2003.
- MORSHEDZADEH, N.; SHAHROKH, S.; AGHDAEI, H.A.; AMIN POURHOSEINGHOLI, M.; CHALESHI, V.; HEKMATDOOST, A.; KARIMI, S.; ZALI, M.R.; MIRMIRAN, P. Effects of flaxseed and flaxseed oil supplement on serum levels of inflammatory markers, metabolic parameters and severity of disease in patients with ulcerative colitis. **Complementary Therapies in Medicine**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1016/j.ctim.2019.07.012.
- MOURA-ASSIS, A. et al. Flaxseed oil rich in omega-3 protects aorta against inflammation and endoplasmic reticulum stress partially mediated by GPR120 receptor in obese, diabetic and dyslipidemic mice models. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 53, p. 9–19, 2018. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2017.09.015.
- NASCIMENTO, R.P. et al. Extra-virgin olive oil and flaxseed oil have no preventive effects on dss-induced acute ulcerative colitis. **Nutrition**, [S. l.], p. 110731, 2020. a. DOI: 10.1016/j.nut.2020.110731.
- NASCIMENTO, R.P.; MACHADO, A.P.F.; GALVEZ, J.; CAZARIN, C.B.B.; MARÓSTICA JUNIOR, M.R. Ulcerative colitis: Gut microbiota, immunopathogenesis and application of natural products in animal models. **Life Sciences**, p. 118129, 2020. b. DOI: 10.1016/j.lfs.2020.118129.
- NUNES, D.O. et al. Flaxseed oil increases aortic reactivity to phenylephrine through reactive oxygen species and the cyclooxygenase-2 pathway in rats. **Lipids in Health and Disease**, v. 13, n. 1, p. 1–12, 2014.
- ORLOVA, Y. et al. Review of the kinetics and simulations of linseed oil autoxidation. **Progress in Organic Coatings**, v. 151, p. 1-13, 2021.
- PALLA, A.H.; IQBAL, N.T.; MINHAS, K.; GILANI, A.H. Flaxseed extract exhibits mucosal protective effect in acetic acid induced colitis in mice by modulating cytokines, antioxidant and antiinflammatory mechanisms. **International Immunopharmacology**, v. 38, p. 153–166, 2016. DOI: 10.1016/j.intimp.2016.04.043.
- PALLA, A.H.; GILANI, A.U.H.; BASHIR, S.; UR REHMAN, N. Multiple Mechanisms of Flaxseed: Effectiveness in Inflammatory Bowel Disease. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1155/2020/7974835.
- PARADA VENEGAS, D.; DE LA FUENTE, M.K.; LANDSKRON, G.; GONZÁLEZ, M.J.; QUERA, R.; DIJKSTRA, G.; HARMSSEN, H.J.M.; FABER, K.N.; HERMOSO, M.A. Short Chain Fatty Acids (SCFAs)-Mediated Gut Epithelial and Immune Regulation and Its Relevance for Inflammatory Bowel Diseases. **Frontiers in Immunology**, 2019.

PARIKH, M.; MADDAFORD, T.G.; AUSTRIA, J.A.; ALIANI, M.; NETTICADAN, T.; PIERCE, G.N. **Dietary flaxseed as a strategy for improving human health** *Nutrients*, 2019. DOI: 10.3390/nu11051171.

PELLIZZON, M. A. et al. Flaxseed reduces plasma cholesterol levels in hypercholesterolemic mouse models. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 26, n. 1, p. 66–75, 2007.

PERLER, B.; UNGARO, R.; BAIRD, G.; MALLETT, M.; BRIGHT, R.; SHAH, S.; SHAPIRO, J.; SANDS, B.E. Presenting symptoms in inflammatory bowel disease: Descriptive analysis of a community-based inception cohort. **BMC Gastroenterology**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1186/s12876-019-0963-7.

PRASAD, K. Flaxseed and cardiovascular health. **Journal of Cardiovascular Pharmacology**, v. 54, n. 5, p. 369–377, 2009.

PRASAD, K.; JADHAV, A. Prevention and treatment of atherosclerosis with flaxseed-derived compound secoisolariciresinol diglucoside. **Current pharmaceutical design**, v. 22, n. 2, p. 214–220, 2016.

PRUTHI, S. et al. A phase III, randomized, placebo-controlled, double-blind trial of flaxseed for the treatment of hot flashes: North central cancer treatment group N08C7. **Menopause**, [S. l.], 2012. DOI: 10.1097/gme.0b013e318223b021.

RABETAFIKA, H. N. et al. Flaxseed proteins: Food uses and health benefits. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 221-228, 2011.

RANA, S. V.; SHARMA, S.; PRASAD, K. K.; SINHA, S. K.; SINGH, K. Role of oxidative stress & antioxidant defence in ulcerative colitis patients from north India. **Indian Journal of Medical Research**, [S. l.], 2014.

RANSON, N.; VELDHUIS, M.; MITCHELL, B.; FANNING, Scott; COOK, A.L.; KUNDE, D.; ERI, R. NLRP3-dependent and-independent processing of interleukin (IL)-1 $\beta$  in active ulcerative colitis. **International Journal of Molecular Sciences**, [S. l.], 2019. DOI: 10.3390/ijms20010057.

REN, G.-Y. et al. Effect of Flaxseed Intervention on Inflammatory Marker C-Reactive Protein: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. **Nutrients**, v. 8, n. 3, p. 136, 4 mar. 2016.

RHEE, Y. Flaxseed secoisolariciresinol diglucoside and enterolactone down-regulated epigenetic modification associated gene expression in murine adipocytes. **Journal of Functional Foods**, v. 23, p. 523–531, 2016.

RICKLEFS-JOHNSON, K.; JOHNSTON, C.S.; SWEAZEA, K.L. Ground flaxseed increased nitric oxide levels in adults with type 2 diabetes: A randomized comparative effectiveness study of supplemental flaxseed and psyllium fiber. **Obesity Medicine**, v. 5, p. 16–24, 2017. DOI: 10.1016/j.obmed.2017.01.002.

SCHREIBER, S.; NIKOLAUS, S.; HAMPE, J. Activation of nuclear factor  $\kappa$ B inflammatory bowel disease. **Gut**, [S. l.], 1998. DOI: 10.1136/gut.42.4.477.

SHIVA FAGHIH AND HODA AHMADNIA. Flaxseed consumption could improve adiponectin level and reduce central obesity in overweight or obese women: A randomized controlled clinical trial. **Journal of Obesity & Eating Disorders**, v. 03, n. 02, p. 8203, 2017.

SONI, R.P. et al. Flaxseed-composition and its health benefits. **Research in Environment and Life Sciences**, v. 9, n. 3, p. 310–316, 2016.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação - NEPA**. Campinas, Brasil: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação - NEPA, 2011. Disponível em: <[https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf)>. Acesso em: 27 dez. 2020.

THOMPSON, L.U.; CHEN, J.M.; LI, T.; STRASSER-WEIPPL, K.; GOSS, P.E. Dietary flaxseed alters tumor biological markers in postmenopausal breast cancer. **Clinical Cancer Research**, [S. l.], 2005. DOI: 10.1158/1078-0432.CCR-04-2326.

TIAN, T.; WANG, Z.; ZHANG, J. Pathomechanisms of Oxidative Stress in Inflammatory Bowel Disease and Potential Antioxidant Therapies. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017. DOI: 10.1155/2017/4535194.

TORRES, J.; MEHANDRU, S.; COLOMBEL, J.F.; PEYRIN-BIROULET, L. **Crohn's disease** *The Lancet*, 2017. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31711-1.

UNGARO, R.; MEHANDRU, S.; ALLEN, P.B.; PEYRIN-BIROULET, L.; COLOMBEL, J.F. Ulcerative colitis. **Lancet**, [S. l.], v. 389, n. 10080, 2017. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)32126-2.

VICENTE, G.C. et al. Maternal exposure to diets containing flaxseed flour or flaxseed oil during pregnancy and lactation protects the aortic remodeling in adult male offspring of diabetic rat dams. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 14, p. 2973–2980, 2015. DOI: 10.1002/jsfa.7041.

VEERAMANI, C.; ALSAIF, M.A.; AL-NUMAIR, K.S. Herbacetin, a flaxseed flavonoid, ameliorates high percent dietary fat induced insulin resistance and lipid accumulation through the regulation of hepatic lipid metabolizing and lipid-regulating enzymes. **Chemico-Biological Interactions**, v. 288, p. 49–56, 2018. DOI: 10.1016/j.cbi.2018.04.009.

XU, Z.; CHEN, W.; DENG, Q.; HUANG, Q.; WANG, X.; YANG, C.; HUANG, F. Flaxseed oligosaccharides alleviate DSS-induced colitis through modulation of gut microbiota and repair of the intestinal barrier in mice. **Food and Function**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1039/d0fo01105c.

WANG, Y. et al. Flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside improves insulin sensitivity through upregulation of GLUT4 expression in diet-induced obese mice. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 1–9, 2015. DOI: 10.1016/j.jff.2015.06.053.

WANG, Y.; LEUNG, P. S. GPR120 Distribution and Physiological Functions of GPR120. n. October, 2017.

WANG, L. et al. Flaxseed oil improves liver injury and inhibits necroptotic and inflammatory signaling pathways following lipopolysaccharide challenge in a piglet model. **Journal of Functional Foods**, v. 46, n. March, p. 482–489, 2018. a.

WANG, Y.; TANG, Q.; DUAN, P.; YANG, L. Curcumin as a therapeutic agent for blocking NF- $\kappa$ B activation in ulcerative colitis. **Immunopharmacology and Immunotoxicology**, 2018. b. DOI: 10.1080/08923973.2018.1469145.

WANG, Z. et al. Secoisolariciresinol diglucoside suppresses Dextran sulfate sodium salt-induced colitis through inhibiting NLRP1 inflammasome. **International Immunopharmacology**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1016/j.intimp.2019.105931.

WU, S. et al. Bioactive protein/peptides of flaxseed: A review. **Trends in Food Science and Technology**. v. 92, p. 184-193, 2019.

YAGER, J. D.; DAVIDSON, N.E. Estrogen Carcinogenesis in Breast Cancer. **New England Journal of Medicine**, [S. l.], 2006. DOI: 10.1056/nejmra050776.

YASMEEN, M. et al. A review of phytochemicals and uses of flaxseed. **Ijcbbs**, v. 13, n. October, p. 70, 2018.

YU, X. et al. Linseed oil improves hepatic insulin resistance in obese mice through modulating mitochondrial quality control. **Journal of Functional Foods**, v. 53, n. October 2018, p. 166–175, 2019. DOI: 10.1016/j.jff.2018.12.016.

ZAREPOOR, L. et al. Dietary flaxseed intake exacerbates acute colonic mucosal injury and inflammation induced by dextran sodium sulfate. **American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology**, [S. l.], 2014. DOI: 10.1152/ajpgi.00253.2013.

ZHOU, J. et al. Dietary resistant starch upregulates total GLP-1 and PYY in a sustained day-long manner through fermentation in rodents. **American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism**, v. 295, n. 5, p. 1160–1166, 2008.

ZHOU, Q.; MA, L.; ZHAO, W.; ZHAO, W.; HAN, X.; NIU, J.; LI, R.; ZHAO, C. Flaxseed oil alleviates dextran sulphate sodium-induced ulcerative colitis in rats. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1016/j.jff.2019.103602.

ZHU, L. et al. Dietary flaxseed oil rich in omega-3 suppresses severity of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in rats. **Lipids in Health and Disease**, v. 19, n. 1, p. 1–16, 2020.

## UTILIZAÇÃO DA LINHAÇA NA ALIMENTAÇÃO DE VACAS LEITEIRAS: REFLEXOS NA QUALIDADE DO LEITE E NA REPRODUÇÃO

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 10/05/2021

### **Geraldo Tadeu dos Santos**

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Zootecnia  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/7718816128860614>

### **Karoline de Lima Guimarães Yamana**

Centro Universitário Ingá, Curso de Zootecnia  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/9222083572041902>

### **Rodolpho Martin do Prado**

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Zootecnia  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/7799713047296089>

### **Fabio Seiji dos Santos**

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Zootecnia  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4622074226705562>

## 1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos 50 anos houve uma mudança no perfil produtivo das vacas leiteiras, devido aos avanços alcançados no campo do melhoramento genético animal, instalações, sanidade e no manejo nutricional e alimentar (LUCY, 2001). Segundo LUCY (2001), nos EUA, por volta de 1980 a produção de leite média das

vacas era de 8.000 kg/lactação, 19 anos mais tarde a produção alcançou 9.000 kg/lactação. Estes avanços têm conduzido, por um lado, a elevação da produção individual das vacas, por outro, um declínio preocupante da fertilidade e da eficácia da reprodução nas propriedades modernas (LUCY, 2001; BUTLER, 2001). Butler (1998), observou que a taxa de sucesso na primeira inseminação foi da ordem de 65% em 1951. Todavia, 45 anos depois, esta taxa caiu para 40%. Portanto, nestes últimos anos, à medida que a produção de leite, por vaca aumentava, a eficiência reprodutiva dos animais se deteriorava (LUCY, 2001). Um dos índices da eficiência reprodutiva é o intervalo de partos. Com a deterioração da eficiência reprodutiva, começou-se a observar intervalo de parto de 15 meses ou mais, em vacas leiteiras de alta produção, quando o ideal seria por volta de 12 a 13 meses (FERREIRA, 2002; PEREIRA et al., 2004).

As causas deste declínio são multifatoriais, incluindo problemas fisiológicos e ambientais GUELOU (2010) e, principalmente, nutricionais (STAPLES et al., 1998). De fato, os fatores mais importantes e que mais influenciam a reprodução são aqueles ligados à estação do ano, fisiológicos (baixa produção de progesterona no início da gestação, problemas na inibição da produção e secreção de PGF 2- $\alpha$ , logo após a implantação do feto) e os problemas patológicos que ocorrem no pós-parto (GROHN

& RAJALA-SCHULTZ, 2000; THATCHER et al., 2006). Portanto, por meio da nutrição/alimentação da vaca leiteira, nestas fases, podemos contribuir para melhorar o sucesso reprodutivo com o estabelecimento de uma nova gestação.

O uso da gordura na alimentação animal remonta há décadas, sendo os primeiros trabalhos realizados com objetivo de melhorar o balanço energético e reprodutivo (MATTOS et al., 2000; PETIT et al., 2002). Algumas décadas atrás, não se cogitava incluir na dieta das vacas leiteiras a gordura, pois temia-se que um excesso de extrato etéreo na dieta comprometesse a digestão da fibra pelos inconvenientes que os óleos têm para os microrganismos do rúmen. Todavia, com os desafios nutricionais proporcionado pelo melhoramento genético das vacas leiteiras, com níveis de produção cada vez mais elevados têm impulsionado os nutricionistas para solucionar os problemas de balanceamento da dieta das vacas leiteiras, principalmente, no período de balanço energético negativo (BEN). Este período de BEN se inicia 21 dias antes do parto e se prolonga por mais 21 dias após o parto, em função do nível de produção de cada animal (SANTOS et al., 2010).

Sabe-se que as funções produtivas e reprodutivas são dependentes da alimentação e nutrição das vacas. Desta forma, pesquisas vêm sendo implementadas com a finalidade de estabelecer estratégias nutricionais que possam resultar em benefícios tanto para a reprodução como para a produção de leite (MATTOS, et al., 2000; PETIT et al., 2001).

A inclusão de fontes de gordura para alimentação das vacas, no início de lactação, deve ser levada em conta, respeitando-se o limite de, no máximo, 7% de extrato etéreo na matéria seca (MS) do total da dieta das vacas. Nesta fase da lactação, a inclusão de fontes de gordura é com o intuito de diminuir o BEN no início da lactação (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2001). Porém, outro benefício observado nos óleos vegetais ricos em ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) foi a redução na emissão de metano por parte do animal que ingere estes tipos de gorduras. A mitigação do metano se dá pelo sequestro de íons  $H^+$  do meio ruminal para que as bactérias do rúmen façam a biohidrogenação dos AGPI, na tentativa de mitigar a toxicidade desses compostos para elas. Esta ação por parte das bactérias levam a formação de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e saturados (AGS). Desta forma, reduz-se a disponibilidade íons  $H^+$  para as *Archaeas* metanogênicas produzirem o metano (BENCHAAR et al., 2001). Todavia, deixamos claro que este tópico, redução na emissão do metano, não será abordado neste texto.

## **21 MECANISMO DE AÇÃO DAS GORDURAS POLI-INSATURADAS NO ORGANISMO DO ANIMAL**

Antes de entrarmos propriamente no assunto ingestão de linhaça, nas suas diferentes formas, e seus reflexos na produção de leite, seus constituintes e na reprodução, precisamos entender o mecanismo como as gorduras poli-insaturadas vão agir no organismo do animal. Primeiramente, vamos entender os caminhos trilhados pela gordura

no organismo da vaca. Após a ingestão da fonte de gordura, esta entrará no rúmen. Ao contrário dos carboidratos, não há fermentação das gorduras no rúmen, por conta disso, não gera produção de calor (PALMQUIST & MATTOS, 2006) ou gera muito pouco incremento calórico. A primeira etapa da digestão das gorduras no rúmen é a lipólise dos triglicerídeos, glicolípídios e fosfolípídios, que é muito rápido e quase completa, tendo como enzima chave as lipases produzidas pelas bactérias do rúmen (CHILLIARD et al., 2001) (Figura 1). Por outro lado, as bactérias, para se auto protegerem, do efeito tóxico dos AGPI, iniciam uma batalha promovendo a saturação destes ácidos graxos (AG), processo esse denominado de biohidrogenação (CHILLIARD et al., 2001; GUIHARD, 2011).

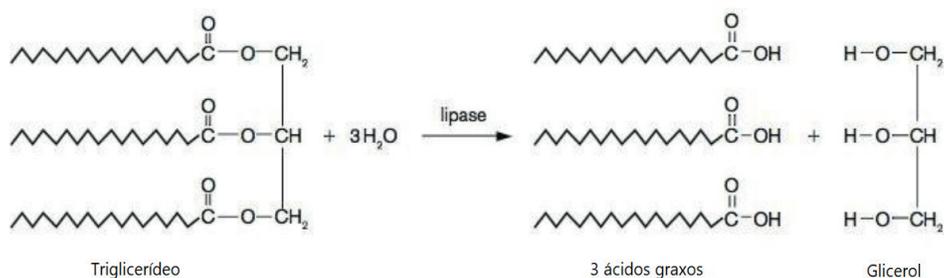


Figura 1 - Hidrólise de um triglicerídeo.

Fonte: GUIHARD (2011).

Na segunda etapa ocorre primeiro, uma isomeração de alguns AG, como por exemplo, a partir de um ômega 6, o *cis*9, *cis*12 C18:2, pois na natureza vegetal não encontramos AG *trans*. Para um melhor entendimento desta parte, e de forma bem resumida, descrevemos que quando o hidrogênio ligado ao Carbono está acima dele, denominamos esta posição de *cis*, mas quando está abaixo, denominamos de *trans*. Os AGPI sofrem ação da enzima, denominada de isomerase que muda a posição do hidrogênio do carbono 12, da posição *cis* para *trans*, formando desta forma o CLA (ácido linoleico conjugado), também conhecido como ácido rumênico, por ter sido encontrado pela primeira vez no rúmen de ovinos. Entretanto, nem todo o CLA formado no rúmen consegue chegar aos intestinos do animal para serem absorvidos. A maior parte acaba sendo biohidrogenado parcialmente. Somente, por volta de 20% (variando de 15 a 30%) do CLA formado no rúmen consegue escapar da ação das bactérias ruminais, indo em direção ao intestino (MULLER & DELAHOY, 1988). Entre eles, existe um escape considerável de AGMI, denominado de *trans*11 C18:1, o que depende do tipo de dieta. O *trans*11 C18:1 serve como precursor para a formação de CLA na glândula mamária, graças a ação de uma outra enzima denominada  $\Delta$ -9 dessaturase. Dieta mais rica em concentrado, do que de volumoso, por exemplo, promovem taxas de passagens mais rápidas dos alimentos do rúmen para o omaso/abomaso, e com a velocidade deste *turnover* leva junto os AGMI, assim como, uma parte do CLA formado no

rúmen. É interessante observar que a partir de um ômega 3, por exemplo, dos grãos e óleo de linhaça, não se chega à formação do CLA, cis9, trans11, CLA no rúmen. Mas, devido sua maior biohidrogenação parcial e total no rúmen eles vão contribuir, para a formação do CLA na glândula mamária. Os ômega 3 são mais biohidrogenados (cerca de 92%) do que os ômega 6 (cerca de 80%) (FELLNER et al., 1995). Então os AG, seguem caminho via omaso-abomasal até alcançar o intestino delgado, onde são novamente re-esterificados na forma de triglicerídeos para serem absorvidos nesse órgão e distribuídos aos diferentes tecidos do organismo, como a glândula mamária (ENJALBERT & MEYNADIER, 2016). Na glândula mamária são formados a maior parte dos CLA que observamos no leite. A formação do CLA na glândula mamária ocorre graças a ação das enzimas chamadas de dessaturases. A dessaturação só vai ocorrer até o carbono 9, pois nos mamíferos, ao contrário dos vegetais, não existem as dessaturases  $\Delta$ -12 e  $\Delta$ -15 (BAUMAN & GRIINARI, 2000). Então, graças a ação da  $\Delta$ -9 dessaturase, também conhecida como esteroil-coa dessaturase (SCD) os AGS como o C18:0 (esteárico) são transformados em C18:1 e o C18:1 trans 11 pode ser convertido em CLA. Cerca de 80% (70 a 85%) do CLA existente no leite provêm desta forma (LAWSON et al., 2005; GRIINARI et al., 2000).

As fontes de AG do grupo ômega 3 são compostas pelos ácidos graxo linolênico (C18:3, n-3), ácido eicosapentanoico – EPA, (C20:5, n-3) e por último, o ácido docosahexaenóico - DHA, (C22:6, n-3). No organismo animal as fontes de AG linolênicos sofrem diferentes reações químicas possibilitando a transformação deste ácido para EPA e DHA (GUIHARD, 2011). Nas Figuras 2 e 3 podemos ver as diferentes rotas metabólicas da transformação do ácido linolênico até DHA. Essas reações químicas de transformação ocorrem através de enzimas como a  $\Delta$ -6 dessaturase, elongase e  $\Delta$ -5 dessaturase (MATTOS et al., 2000). Estas mesmas enzimas são utilizadas para conversão do ácido linoleico (C18:2) da família ômega 6 para a formação do ácido araquidônico (C20:4). Portanto, existe uma competição pelas mesmas enzimas tanto na formação do DHA como do ácido araquidônico.

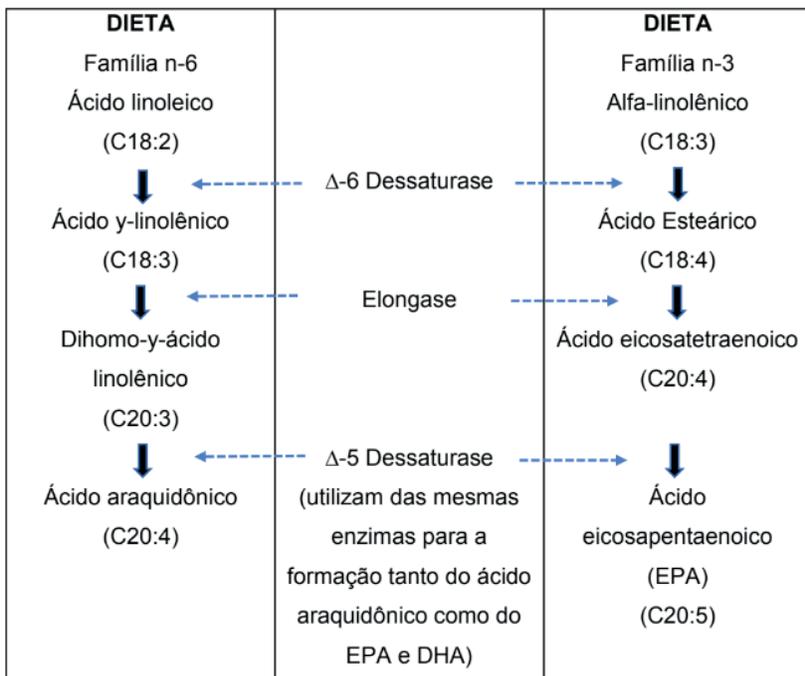


Figura 2 - Dessaturação e alongação dos AG das famílias n-6 e n-3.

Fonte: Adaptado de Mattos et al., 2000.

Os AG com 18 ou mais carbonos do leite tem duas origens: síntese endógena e a proveniente do alimento que o animal ingere. O metabolismo de ruminantes não é capaz de sintetizar, pela síntese *de novo* dos AG na glândula mamária, os precursores dos ácidos linolênico e linoleico. Estes dois AG são essenciais devem ser fornecidos pela fonte de alimento. De fato, a inserção de uma ligação dupla entre o carbono Δ-9 e a extremidade metil do AG não pode ser realizado com sistemas biológicos de mamíferos (STAPLES, et al., 1998). Os AG sofrem alongamento e dessaturação no fígado, o que gera novos AG com diferentes propriedades bioquímicas. O alongamento envolve a adição de 2 átomos de carbono através da enzima elongase. A dessaturação é uma etapa catalisada pela enzima dessaturase que insere uma ligação dupla na cadeia de carbono (Figura 3).

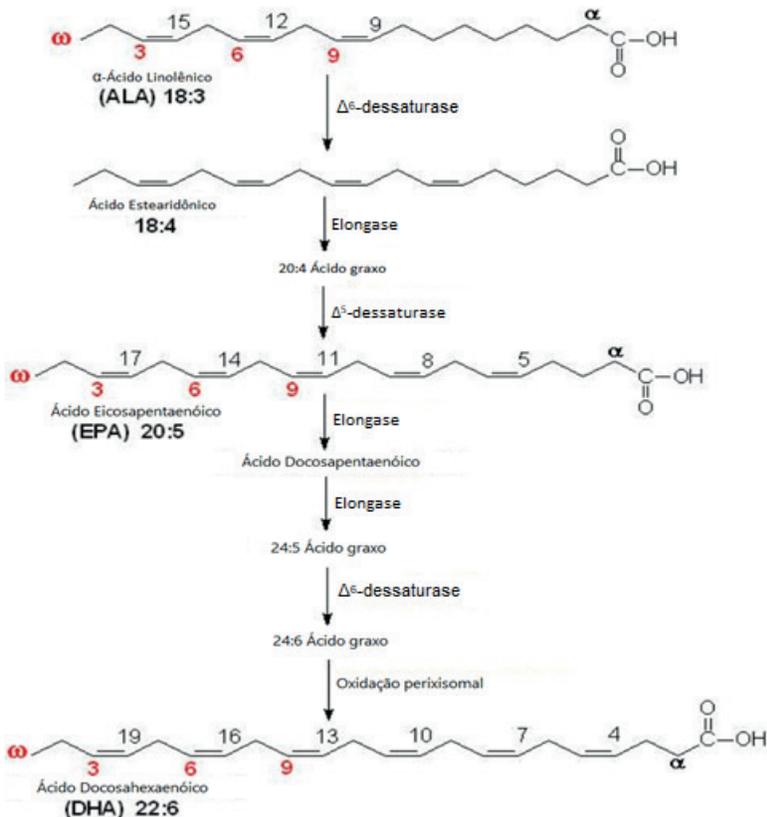


Figura 3 - Bioquímica dos AG ômega 3.

Fonte: Adaptado de GUIHARD (2011).

### 3 I PROCESSAMENTO DA LINHAÇA PARA USO NA BOVINOCULTURA DE LEITE: TRITURAÇÃO/MOAGEM

Os grãos de oleaginosas destinados a alimentação de bovinos, podem ser fornecidos inteiros ou submetido a uma **trituração** para diminuir o tamanho de suas partículas. Na **moagem** dos grãos são destruídas pelúculas envoltórias deles, permitindo maior exposição às enzimas e microrganismos envolvidos na digestão e facilita a eficiência dos processos de extrusão e peletização. Para fazer a moagem pode-se usar moinhos que possuem peneiras internas, que variam de 3 a 6 mm, como é o caso do moinho de martelo ou usar o moinho de rolos, sem o uso peneiras internas (BARBIERI, 1998).

#### 3.1 Extração do óleo para obtenção da torta de linhaça

A torta da linhaça é um coproduto resultante da extração do óleo, deste modo, possui menor teor de óleo quando comparado ao grão de linhaça. As tortas de linhaça se distinguem conforme os procedimentos de extração do óleo. Uma das formas é a utilização de prensa afim de extrair o óleo à frio para diferentes usagens com vistas a

preservar a integridade dos AG insaturados (AGI). Desta forma, se produz uma torta com aproximadamente 10% de óleo (BRUNSCHWIG et al., 2010). Outra forma de obtenção da torta de linhaça, consistem em aquecer os grãos de linhaça a 60 °C por 20 minutos e logo após prensadas para a liberação do óleo (OOMAH & MAZZA, 2000). Uma terceira forma de obtenção da torta de linhaça, faz-se uso de solvente químico orgânico que extrai o óleo e posteriormente, se faz a separação do óleo do solvente. O solvente utilizado atualmente é o hexano, com ponto de ebulição próximo de 70°C (MANDARINO & ROESSING, 2015).

### **3.2 Tratamento com formaldeído**

Os grãos de linhaça inteira podem ser tratados com formaldeído. O tratamento da linhaça consiste na adição de 300 g de formalina por kg de linhaça inteira para criar pontes de metileno reversíveis dentro dos grãos, em função do pH no trato gastrointestinal (PETIT et al., 2001). De acordo com PETIT et al. (2001), este tratamento pode aumentar a quantidade de proteína no leite, pelo fato de proteger proteína no ambiente ruminal contra o ataque de microrganismos. O tratamento com formaldeído visa diminuir a incidência de microrganismos indesejáveis. Entretanto, existe uma associação entre o uso do formaldeído e o aparecimento de câncer. Desta forma, este tipo de tratamento, não deve ser usado na prática

### **3.3 Tratamento pelo calor**

O processamento pelo calor de grãos tem como finalidade, primeiramente, de destruir os possíveis fatores antinutricionais existentes nos mesmos e proporcionar um melhor aproveitamento dos grãos pelo trato digestivo dos animais. O tratamento pelo calor pode ser subdividido em: calor seco ou tostagem, extrusão, peletização, micronização e laminação (PETIT et al., 2002).

### **3.4 Calor seco ou tostagem**

Consiste em submeter os grãos inteiros de linhaça ou quebrados a uma fonte de calor, com temperatura controlada, por alguns minutos, objetivando a inativação dos fatores antinutricionais, como compostos cianogênicos (LAWSON et al., 2005).

### **3.5 Extrusão**

O grão de linhaça pode ser tratado por processo industrial de “cozimento-extrusão”, que na maioria das vezes é dito apenas extrusão. Este processamento consiste em aplicar sobre os grãos, previamente moídos e pré-aquecidos numa atmosfera mais ou menos úmida, uma forte pressão (20 a 40 atm), à uma temperatura de 138 a 160 °C, durante um tempo curto (inferior a 30 segundos), seguido da passagem forçada num cilindro, com ajuda de uma rosca sem fim. Este processo possibilita a destruição de uma grande parte dos compostos cianogênicos contidos nos grãos de linhaça (BRUNSCHWIG et al., 2010).

### 3.6 Peletização

A peletização é um processo físico que envolve a temperatura e a umidade, a pressão exercida e o tempo (porém, esses os valores desses fatores podem variar grandemente). Este processamento tem como objetivo agrupar pequenas partículas resultantes da ração farelada para a formação de uma partícula maior através da temperatura, calor, tempo e pressão. O primeiro passo a ser realizado na peletização é a o pré-cozimento (40-95 °C) da ração para que o amido seja gelatinizado e a fibra seja “amolecida” melhorando a sua digestibilidade e maior qualidade na fabricação dos pellets. Logo após, a ração é passada pelos furos da matriz fazendo com que fique com formato de pellets (2 Kgf/cm<sup>2</sup> por 9 a 240 segundos). Para que o pellet tenha maior qualidade e digestibilidade nesta fase a umidade (14-18%) é adicionada, fazendo com que se tenha maior aglutinação das partículas (KLEIN, 2009).

### 3.7 Micronização

O processo de micronização de um alimento, assim como na linhaça, consiste em reduzir as partículas do alimento através da moagem até o tamanho granulométrico desejado (MOLENA-FERNANDES et al., 2010). Para PETIT et al. (2002), a micronização expõe a matriz proteica do alimento, fazendo com que os microrganismos ruminais como as bactérias e as enzimas tenham maior sucesso na digestibilidade do alimento.

A micronização se baseia na aplicação de calor através de queimadores infravermelho. O tempo de processamento, vai depender do tipo de grãos, geralmente, varia de 20 a 70 segundos e são alcançadas temperaturas entre 140-180°C, promovendo a explosão parcial (30 a 40%) dos grãos (THEURER, 1986).

### 3.8 Laminação

Consiste em umedecer os grãos e em seguida, serem prensados entre rolos. Temos como resultado um grão laminado, como se fosse esmagado. Existem rolos com diferentes tamanhos, forma de esmagamento e tempo de passagem.

## 4 | ASPECTOS RELACIONADOS COM O USO DE GRÃOS DE LINHAÇA, ÓLEO DE LINHAÇA NA DIETA DE VACAS LEITEIRAS E SEUS REFLEXOS NA QUALIDADE DO LEITE

O grão de linhaça tem uma composição aproximada de 20% de PB, 30% de NDF e 40% de EE, do qual 50 e 55% são de C18:3 da família ômega 3, conhecido por seus efeitos benéficos sobre a saúde humana e animal (OSMARI et al., 2019; BEAULIEU, 2017).

Em experimento realizado no município de Pamambi, RS, OSMARI et al. (2019), estudaram duas variedades de linhaça (marrom e amarela). Nesse estudo foram observados a composição química (Tabela 1) e o perfil de AG (Tabela 2). A dose de fertilizante na forma

de ureia usado na adubação da cultura afetou, principalmente, a produção de grãos por ha e a produção de óleo. Com 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, as variedades marrom e amarela tiveram um aumento de 67 e 31%, respectivamente, em relação a não adubação, para a produção de grãos e na produção de óleo por ha, o aumento foi de 76 e 32,5%, respectivamente, para a marrom e amarela, com 200 kg de N ha<sup>-1</sup>. No que diz respeito a composição química e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) não houve grandes diferenças, permanecendo próximas nos níveis de adubação estudados, para ambas as variedades (marrom e amarela).

Dose fertilizante (kg N ha <sup>-1</sup> )	Linhaça marrom		Linhaça amarela	
	0	200	0	200
Produção ha <sup>-1</sup> (kg)	487,17	813,34	498,58	652,84
Óleo ha <sup>-1</sup> (litros)	148,55	261,84	106,08	140,55
MS (%)	93,49	93,26	94,66	93,98
Cinzas (%)	0,56	0,45	0,485	0,398
PB (%)	21,47	22,42	20,45	22,48
Extrato etéreo (%)	35,39	37,25	39,52	40,07
Carboidrato total (%)	37,54	35,81	35,18	33,46
CNF (%)	13,84	11,76	12,39	10,95
DIVMS (%)	53,21	54,60	54,26	54,77

Tabela 1 - Média para produção e composição química de duas variedades do grão de linhaça (marrom e amarela)

Fonte: Modificado de OSMARI et al. (2019).

Sobre o perfil de AG presentes em duas variedades de linhaça (marrom e amarela) tratadas sem adubação ou com adubação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> os autores relatam que a linhaça marrom teve maior produção por área (kg ha<sup>-1</sup>) e maior produção de óleo (L ha<sup>-1</sup>) em relação a linhaça amarela, porém, a qualidade do óleo da linhaça marrom é inferior à da linhaça amarela. Os autores relataram que houve redução na concentração de C16:0 e C18:0 de AGS nas linhagens adubadas com 200 kg N ha<sup>-1</sup>. A concentração de C18:2 n6 foi maior (P<0,001) para a variedade amarela, em comparação a marrom (Tabela 2).

A razão n-6/n-3 foi menor (P<0,001) para a linhaça marrom, muito embora ambas as variedades apresentaram razões que são consideradas adequadas. Estas razões baixas favorecem a redução da incidência de doenças coronarianas e de trombose para as pessoas que ingerem produtos lácteos que tenham estas condições.

Dose fertilizante (kg N ha <sup>-1</sup> )	Grãos de linhaça			
	Marrom		Amarela	
	0	200	0	200
Ácido graxos*				
C14:0	0,041	0,044	0,038	0,036
C16:0	6,329	6,254	5,264	5,093
C16:1	0,068	0,066	0,049	0,045
C18:0	5,342	5,235	3,469	3,430
C18:1	23,894	24,607	18,943	19,443
C18:2 n6	12,424	12,446	15,518	15,200
C18:3 n3	50,777	50,025	55,580	55,678
AGS	11,712	11,533	8,771	8,559
AGPI	87,163	87,144	90,000	90,366
AGPI/AGS	7,442	7,556	10,271	10,558
n-6/n-3	0,245	0,249	0,279	0,273

\*C:14:0 = ácido mirístico, C16:0 = ácido palmítico, C16:1 = ácido palmitoléico, C18:0 = ácido esteárico, C18:2 n-6 = ácido linoleico (ácido linoleico + isômeros), C18:3 n-3 = ácido linolênico (ácido linolênico + isômeros), AGS = ácidos graxos saturados, AGPI = ácidos graxos poli-insaturados, n-6/n-3 = C18:2 n-6/C18:3 n-3. (P<0,01).

Tabela 2 - Médias do conteúdo de ácidos graxos (g 100 g<sup>-1</sup> do total de ácidos graxos)

Fonte: Modificado de OSMARI et al. (2019).

Glasser et al. (34) publicaram uma metanálise sobre o uso dos grãos de linhaça na alimentação das vacas leiteiras, onde reuniram 22 experimentos zootécnicos sobre o assunto. No que se refere a composição do óleo de linhaça em AG, observamos na Tabela 3, que o óleo de linhaça possui 54,4% dos AG totais, na forma de ômega 3 (C18:3 n-3).

AG	Em % de AG
C14:0	0,1
C16:0	6,1
C16:1 n-7	0,1
C18:0	3,4
C18:1 n-9	18,8
C18:2 n-6	16,3
C18:3 n-3	54,4

Média de 22 experimentos zootécnicos.

Tabela 3 - Composição do óleo de linhaça em ácidos graxos (AG).

Fonte: GLASSER et al. (2008).

PETIT et al. (2002), estudaram os efeitos das fontes de gordura (uso do Megalac® versus grão de Linhaça tratado com formaldeído) sobre os desempenhos de produção (Tabela 4). Observa-se que a ingestão de matéria seca (IMS) (kg dia<sup>-1</sup>), teor de gordura, mudança do peso vivo, foram semelhantes para ambos os tratamentos. A produção de leite foi maior para o grupo de vacas recebendo Megalac®, e o teor de proteína foi maior para o grupo de vacas recebendo grão de linhaça tratado.

Parâmetros	Megalac® <sup>1</sup>	Grão de linhaça tratado <sup>2</sup>
Ingestão de matéria seca (Kg dia <sup>-1</sup> )	13,4	13,6
Mudança de peso vivo (g dia <sup>-1</sup> )	-61	-4
Produção de leite (kg dia <sup>-1</sup> )	19,8 <sup>a</sup>	18,6 <sup>b</sup>
% de gordura do leite	4,62	4,37
% de proteína do leite	2,95 <sup>b</sup>	3,09 <sup>a</sup>

<sup>a, b</sup> na mesma, as médias marcadas com letra diferente são estatisticamente diferentes (P<0,05). <sup>1</sup>Megalac produzido com óleo de palma. <sup>2</sup>Grão de linhaça tratado com formaldeído.

Tabela 4 - Efeito da fonte de gordura sobre os desempenhos de produção

Fonte: Modificado de PETIT et al. (2002).

Em experimento realizado por CAVALIERI et al. (2005), foram analisados os efeitos da utilização do grão de linhaça inteiro *versus* Lac100® (fonte gordura protegida de óleo de soja) sobre a produção e a composição leiteira (Tabela 5). Observou-se que a ingestão de matéria seca foi maior para o grupo de animais recebendo grão de linhaça inteira. A produção de leite foi maior para o grupo de animais recebendo Lac100®, mas quando corrigido para 4% de gordura, esta diferença foi anulada. Pois, o grupo de vacas recebendo grão de linhaça tiveram teor de proteína, gordura e de sólidos totais mais elevados, o que proporcionou maiores sólidos totais do que no tratamento Lac100®.

Parâmetros	Lac100® <sup>*</sup>	Grão de linhaça inteiro
Ingestão de matéria seca (kg dia <sup>-1</sup> )	14,9 <sup>b</sup>	15,4 <sup>a</sup>
Produção de leite (PL) (kg dia <sup>-1</sup> )	20,17 <sup>a</sup>	18,45 <sup>b</sup>
PL – Corrigida para 4% (kg dia <sup>-1</sup> )	18,0 <sup>a</sup>	18,1 <sup>a</sup>
% de gordura do leite	2,58 <sup>b</sup>	3,14 <sup>a</sup>
% de proteína do leite	3,12 <sup>b</sup>	3,25 <sup>a</sup>
% de lactose	4,71 <sup>a</sup>	4,78 <sup>b</sup>
% de sólidos totais	11,48 <sup>b</sup>	12,14 <sup>a</sup>

<sup>a, b</sup> na mesma, as médias marcadas com letra diferente são estatisticamente diferentes (P<0,05).

Tabela 5 - Efeito da ingestão de Lac100® e de grão de linhaça inteiro sobre a ingestão de matéria seca, produção e composição leiteira.

Fonte: Modificado de CAVALIERI et al. (2005).

SILVA et al. (2007) analisaram o efeito da utilização de grãos de linhaça inteira e dos grãos de linhaça triturados com ou sem a adição de monensina (0,02% com base na matéria seca) sobre a produção e composição do leite, assim como o perfil de AG do leite de vacas da raça Holandês, durante 4 períodos de 21 dias.

Em relação a produção e composição leiteira (Tabela 6) os autores relatam que, a monensina provocou uma diminuição da produção de leite corrigida para 4% de gordura, assim como diminuiu o teor de sólidos totais em decorrência da diminuição da gordura. Respaldo pela diminuição das concentrações de acetato, butirato.

Houve uma tendência ( $P=0,07$ ) de aumento da produção (6,5%) para os animais que recebiam a linhaça triturada em comparação a linhaça inteira, onde observou-se diminuição da produção com o processamento da linhaça, resultado este de uma possível maior liberação de óleo no rúmen em decorrência do processamento.

Variáveis	Tratamentos				EP <sup>1</sup>	Probabilidade		
	LISM	LICM	LTSM	LTCM		L <sup>2</sup>	M	LxM
Produção de leite (kg dia <sup>-1</sup> )	21,3	21,5	22,8	22,7	0,70	0,07	0,98	0,82
PLC 4% (kg dia <sup>-1</sup> )	22,7	20,8	22,5	21,9	0,60	0,47	0,05	0,31
Proteína (%)	3,13	3,10	3,11	3,10	0,05	0,91	0,77	0,91
Gordura (%)	4,44	3,81	3,90	3,75	0,18	0,11	0,04	0,21
Lactose (%)	4,57	4,62	4,61	4,66	0,03	0,15	0,10	0,88
Sólidos totais (%)	13,4	12,6	12,7	12,5	0,10	0,04	<0,01	0,07

<sup>1</sup>EP: Erro-padrão. <sup>2</sup>L: Efeito linhaça moída ou inteira, M: Efeito monensina, LxM: Efeito interação.

Tabela 6 - Produção e composição leiteira de vacas leiteiras alimentadas com grãos de linhaça inteiros sem monensina sódica (LISM), grãos de linhaça inteiros com monensina sódica (LICM), grãos de linhaça triturados sem monensina sódica (LTSM) ou grãos de linhaça triturados com monensina sódica (LTCM).

Fonte: Modificado SILVA et al. (2007).

Em relação ao perfil de AG do leite (Tabela 7), pode-se perceber que houve interações entre a linhaça e a monensina, unicamente para o trans11, C18:1 promovendo um aumento de 2,4 vezes em relação a testemunha, no ácido graxo trans 11, C18:1. Houve diminuição das concentrações de AGS e de cadeia média para a ração que utilizava linhaça triturada, pois a trituração contribui para o aumento da disponibilidade de AG para serem absorvidos e consequentemente estes passam para o leite.

O CLA cis 9, trans 11, C18:2 aumentou pela presença da monensina e pela moagem da linhaça, pois, a monensina modifica o perfil de AG do leite pela redução da biohidrogenação do ácido linoleico (C18:2) fazendo com que o C18:1 aumente. A ração

n-6/n-3 foi menor no leite de vacas alimentadas com linhaça triturada do que para vacas alimentadas com linhaça inteira, assim como foi menor para vacas alimentadas com ração sem adição de monensina.

AG	Tratamentos					Probabilidade		
	LISM	LICM	LTSM	LTCM	EP <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	M	LxM
trans11 18:1	1,40	1,59	1,71	3,33	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
cis9, trans11 18:2	0,47	0,55	0,56	1,01	0,11	0,02	0,02	0,11
Monoinsaturado	33,2	32,8	33,2	35,2	0,9	0,19	0,37	0,17
Poli-insaturado	3,1	3,4	3,8	4,1	0,2	<0,01	0,11	0,82
Saturado	59,1	58,6	58,2	53,9	1,1	0,02	0,04	0,10
Poli-insat./saturado	0,053	0,060	0,066	0,079	0,004	<0,01	0,04	0,56
Cadeia curta	5,0	4,5	4,7	4,3	0,5	0,61	0,44	0,96
Cadeia média	36,6	36,5	34,5	32,6	0,8	<0,01	0,25	0,29
Cadeia longa	53,9	53,7	56,0	56,4	1,2	0,06	0,92	0,80
n-3	0,80	0,79	1,20	0,94	0,1	<0,01	0,10	0,11
n-6	1,84	2,03	2,04	2,20	0,1	0,07	0,09	0,92
n-6/n-3	2,4	2,7	1,8	2,4	0,1	<0,01	<0,01	0,37

Grãos de linhaça inteiros sem monensina sódica (LISM), grãos de linhaça inteiros com monensina sódica (LICM), grãos de linhaça triturados sem monensina sódica (LTSM) ou grãos de linhaça triturados com monensina sódica (LTCM). <sup>1</sup>EP: Erro-padrão. <sup>2</sup>L: Efeito linhaça moída ou inteira, M: Efeito monensina, LxM: Efeito interação.

Tabela 7 - Perfil de ácidos graxos (AG) encontrados no leite de vacas leiteiras alimentadas com grãos de linhaça inteiros sem monensina sódica (LISM), grãos de linhaça inteiros com monensina sódica (LICM), grãos de linhaça triturados sem monensina sódica (LTSM) ou grãos de linhaça triturados com monensina sódica (LTCM).

Fonte: Modificado de Silva et al. (2007).

Em estudo recente, OLIVEIRA et al. (2021), analisaram a produção e a composição do leite (Tabela 8) e o perfil de AG (Tabela 9) do leite de vacas tratadas com três tipos de ração, sendo elas: ração controle (CC); ração com óleo de soja (OS) com fonte de ômega-6 (adição de 2,5% de óleo à ração controle); e ração com óleo de linhaça (OL) como fonte de ômega-3 (adição de 2,5% de óleo à ração controle).

Como resultados da produção e composição leiteira (Tabela 8), os autores observaram que, houve diminuição da ingestão de matéria das rações com óleo de soja e linhaça (1,93 kg dia<sup>-1</sup>), resultante do maior teor de lipídeos desses tratamentos, principalmente do grande teor de AGI dessas rações em relação ao tratamento controle, porém, apesar da diminuição da IMS a produção leiteira não foi afetada podendo este resultado ser decorrente da alta energia desses óleos. Em relação a composição leiteira, percebe-se que os tratamentos OS e OL tiveram diminuição no teor e rendimento de gordura do leite assim como no teor de sólidos totais em comparação ao controle. Segundo os autores este resultado foi em

decorrência da silagem utilizada, pois esta continha grande quantidade de grãos o que resultou em menor quantidade de fibras necessárias, já que estas são precursoras da gordura do leite (OLIVEIRA et al., 2021). Apesar da diminuição da gordura e dos sólidos totais, os autores relatam que essa diminuição tem seus prós e contras. Como contra, tem-se o desagrado da indústria leiteira em um leite mais pobre em gordura e sólidos. Como prós, tem-se o agrado de um público que deseja alimentos mais saudáveis no dia a dia.

Parâmetros	Ração controle	Ração óleo de soja	Ração óleo de linhaça
Produção de leite (PL) (kg dia <sup>-1</sup> )	25,87	26,0	25,3
PL – Corrigida para 4% (kg dia <sup>-1</sup> )	22,92	21,26	20,96
% de gordura do leite	3,37 <sup>a</sup>	2,75 <sup>b</sup>	2,89 <sup>b</sup>
% de proteína do leite	3,29	3,35	3,3
% de lactose	4,35	4,31	4,37
% de sólidos totais	12,01 <sup>a</sup>	11,25 <sup>b</sup>	11,61 <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> na mesma, as médias marcadas com letra diferente são estatisticamente diferentes (P<0,05).

Tabela 8 - Efeito da ingestão de óleos vegetais na produção e composição leiteira.

Fonte: Modificado de OLIVEIRA et al. (2021).

Em relação ao perfil de AG do leite (Tabela 9), de uma maneira geral a suplementação com óleo de soja (OS) e óleo de linhaça (OL) diminuíram os teores de AG de cadeia curta e média resultado da síntese de novo da glândula mamária. Houve diminuição até os teores de AG até o C17: 0 e aumento do C18: 2 trans-10 cis-12 (nos tratamentos OS e OL), a diminuição ocorrida do C16:0 pode ser interessante para os seres humanos pois diminui o colesterol sanguíneo. O tratamento OS obteve maior quantidade de C18:2 cis-9, cis-12, já o tratamento OL maior quantidade de C18:3 ômega-3. A razão de AG saturados/ insaturados foi diminuída, pois, os tratamentos OL e OS diminuíram os teores de AGS e aumentou de AGPI. Os índices de aterogenicidade de trombogenicidade foram diminuídos e os de hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos foram aumentados nos tratamentos de OL e OS. Estes resultados mostram que a suplementação com óleos de vegetais, como os de soja e linhaça, fornecidos a vacas leiteiras melhora o perfil de AG do leite dos animais mais saudável para a alimentação dos seres humanos podendo trazer benefícios ao longo do tempo.

AG do leite	Ração controle	Ração óleo de soja	Ração óleo de linhaça
C4:0	2,87	2,23	2,49
C6:0	1,84	1,07	1,28
C8:0	1,13	0,58	0,72
C12:0	3,46	1,98	2,22
C12:1	0,10	0,05	0,05
C16:0	29,82	24,63	22,67
C17:0	0,21	1,19	0,18
C18:0	11,28	14,50	14,94
C18:2 c9c12 ω6	2,13	2,62	2,03
C18:3 ω6	0,02	0,01	0,01
C18:3 ω3	0,31	0,35	0,99
C18:2 c9t11	0,74	0,65	0,68
C18:2 t10c12	<0,01	0,03	0,01

<sup>a, b</sup> na mesma, as médias marcadas com letra diferente são estatisticamente diferentes (P<0,05).

Tabela 9 - Perfil de ácidos graxos (AG) do leite

Fonte: Modificado de OLIVEIRA et al. (2021).

SCHORI et al. (2006), na Suíça, estudaram a influência do fornecimento de grãos moídos de girassol (GG), linhaça (GL) e linhaça extrusada (GLE), em complemento a uma dieta a base de feno, sobre a produção e a qualidade do leite de vacas. A quantidade de grãos oleaginosos administrados aos animais, diariamente foi para atender uma quantidade cotidiana de 500 g de óleo por intermédio dos grãos oleaginosos (Tabela 10).

Tratamento	Girassol	Linhaça moída	Linhaça extrusada
Feno	14,9	14,6	14,9
Beterraba forrageira	3,1	3,0	3,5
Ingestão total de MS	22,0	21,8	22,5
Produção de Leite (kg dia <sup>-1</sup> )	31,1	30,0	29,9
Leite corrigido para 4%	32,1	32,0	31,9
Gordura (%)	4,34	4,54	4,52
Proteína (%)	3,16	3,32	3,36
Lactose (%)	4,97	5,05	4,99

Tabela 10 - Ingestão em kg de matéria seca (MS) diariamente e produção e composição do leite

Fonte: Modificado de Schori et al. (2006).

Os autores SCHORI et al. (2006), concluíram que os grãos de girassol, linhaça e linhaça extrusada aportam uma melhoria nítida na qualidade do leite do ponto de vista tecnológico. Uma razão ácido oleico/ácido palmítico > 0,8 possibilitou ter uma manteiga, cuja consistência é excelente, com maior facilidade de se espalhar no pão, tanto quanto para a produção de queijo, possibilitando consistência mais macia. E ainda, segundo estes autores, do ponto de vista fisiológico, a diminuição dos AG (C12, C14 e C16) e a aumento dos AG linoleico e linolênico é interessante. A extrusão dos grãos de linhaça promoveu um aumento significativo dos teores de ácidos linoleico (3,1% contra 2,8%) e linolênico (2,42% contra 1,59% no leite) (Tabela 11), em relação aos grãos de linhaça não tratados (SCHORI et al., 2006). Outro ponto importante nesta pesquisa foi que a soma de AG (C12:0+ C14:0+ C16:0), considerados hipercolesterolêmicos, nos três tratamentos apresentaram uma queda de 19,82, 14,44 e 19,25%, respectivamente, com GG, GL e GLE, quando comparados aos respectivos tratamentos, sem adição de grãos. Por outro lado, a soma de AG (C18:1+ C18:2+C18:3), considerados hipocolesterolêmicos, aumentou 38,9, 29,9 e 30,6%, respectivamente, com GG, GL e GLE, quando comparados aos respectivos tratamentos, sem adição de grãos. O aumento em AGI e diminuição dos AGS vai em direção favorável a saúde de quem consome este leite e seus derivados.

	Grãos de girassol (GG)		Grãos de Linhaça (GL)		Grãos Linhaça extrusados (GLE)	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
C12:0	4,7 <sup>a</sup>	4,0 <sup>b</sup>	4,4 <sup>b</sup>	3,9 <sup>d</sup>	4,6 <sup>e</sup>	4,1 <sup>f</sup>
C14:0	13,4 <sup>a</sup>	12,4 <sup>b</sup>	12,0 <sup>b</sup>	12,3	13,1 <sup>e</sup>	12,3 <sup>f</sup>
C16:0	37,4 <sup>a</sup>	28,1 <sup>b</sup>	38,3 <sup>c</sup>	30,6 <sup>d</sup>	35,8 <sup>e</sup>	26,8 <sup>f</sup>
Total (C12:0+ C14:0+ C16:0)	55,5	44,5	54,7	46,8	53,5	43,2
Diferença		19,82%		14,44%		19,25
C18:0	7,5 <sup>a</sup>	10,7 <sup>b,AB</sup>	6,9 <sup>c</sup>	9,6 <sup>d</sup>	7,7 <sup>e</sup>	11,7 <sup>fA</sup>
C18:1	17,9 <sup>a</sup>	24,4 <sup>b</sup>	18,4 <sup>c</sup>	23,4 <sup>d</sup>	19,0 <sup>e</sup>	23,7 <sup>f</sup>
C18:2	2,1 <sup>a</sup>	3,7 <sup>bA</sup>	2,1 <sup>c</sup>	2,8 <sup>dB</sup>	2,3 <sup>e</sup>	3,1 <sup>fC</sup>
C18:3	0,92	0,95 <sup>A</sup>	0,89 <sup>c</sup>	1,59 <sup>dB</sup>	1,08 <sup>e</sup>	2,42 <sup>fC</sup>
Total (C18:1+ C18:2+C18:3)	20,92	29,05	21,39	27,79	22,38	29,22
Diferença		38,86%		29,92%		30,56%
*Razão C18:1/C16:0	0,49 <sup>a</sup>	0,89 <sup>b</sup>	0,49 <sup>c</sup>	0,80 <sup>d</sup>	0,54 <sup>e</sup>	0,90 <sup>f</sup>

Os valores numa mesma linha no interior de um mesmo grão oleaginoso, portadores de letras minúsculas diferentes, são significativamente diferentes (P<0,05). Os valores de uma mesma linha entre grãos oleaginosos, portadores de letras maiúsculas diferentes são significativamente diferentes (P<0,05). \*Índice de consistência da matéria gorda do leite.

Tabela 11. Composição em ácidos graxos (AG) do leite, em % dos ácidos graxos totais.

Fonte: Adaptado de SCHORI et al. (2006).

Os AG do leite podem ter como origens: 1) a partir da alimentação, 2) lipomobilização, no início da lactação e 3) síntese *de novo* na glândula mamária, a partir dos AG de cadeia curta (BAUMAN & GRIINARI, 2003).

Da alimentação vamos ter quase todos os AG de cadeia longa que encontramos no leite, exceto no início da lactação, quando pode haver contribuição de AG vindos da lipomobilização, que são disponibilizados para a glândula mamária. A maior contribuição para a formação da gordura do leite, vem da síntese *de novo* na glândula mamária, tendo como precursores os ácidos acéticos e butírico, oriundos da fermentação ruminal, sendo que o acético é o que mais contribui. São formados, por esta via, os AG de cadeia curta e aproximadamente, metade dos AG de cadeia média (C14 e C16) (MULLER & DELAHOY, 1988).

A concentração de extrato etéreo na dieta normal das vacas leiteiras, que se encontram em pastagens é de, aproximadamente, 3%. Os AG contidos nas pastagens estão, na forma de glactolipídeos e triglicerídeos. A composição em AG no leite é dependente do conteúdo da dieta em lipídeos e das particularidades digestivas e metabólicas do rúmen, devido a biodrongação dos AG nesse órgão. No EE das pastagens predominam os AGI ômega 3, embora também sejam encontrados os AG C18:1 cis-9, ácido linoleico (C18:2 n-6) (ENJALBERT & MEYNADIER, 2016).

## **5 | ASPECTOS RELACIONADOS COM O USO DE GRÃOS DE LINHAÇA E ÓLEO DE LINHAÇA NA DIETA DE VACAS LEITEIRAS E SEUS REFLEXOS NA REPRODUÇÃO**

Falhas reprodutivas são de grandes preocupações na produção leiteira e são as principais razões para descarte precoce. A seleção genética durante as últimas décadas preconizou a produção leiteira individual. Entretanto, rebanhos de alta produção atualmente, apresentam baixa fertilidade, com taxa de mortalidade embrionária e fetal próximo à 55% (DISKIN et al., 2012). Embora as causas subjacentes dessa baixa fertilidade ainda não tenham sido caracterizadas, mudanças metabólicas observadas durante o período de transição são fatores conhecidos e parcialmente responsáveis por falhas reprodutivas em vacas leiteiras (BUTLER, 2003). Diversas evidências sobre as inter-relações entre BEN, doenças metabólicas e índices reprodutivos foram revisadas por GOFF (2006). No início da lactação, em grande parte das propriedades leiteiras, a fonte principal de energia tem sido o amido, vindo, principalmente, do milho. As gorduras, compostos ricos em glicerídeos (ésteres de AG ligados a uma molécula de glicerol) são, igualmente, importantes fontes de energia (MATTOS et al., 2000). O valor energético das gorduras é por volta do dobro do valor energético de carboidratos, para ser mais preciso é equivalente a 2,25x (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2001). Quando uma vaca ingere carboidratos, devido a fermentação que ocorre destes nutrientes no rúmen, ocorre incremento calórico considerável, bem como

perdas consideráveis de energia, tornando este nutriente menos eficiente para atender as necessidades dos animais. Em se tratando de vacas de alta produção, principalmente, no início da lactação, quando estas se encontram em balanço energético negativo (BEN), podemos pensar em substituir parte da dieta de carboidratos por fontes de gorduras, com a finalidade de diminuir o BEN e possibilitar o retorno mais rápido das atividades reprodutivas (SANTOS et al., 2010).

Os produtores de leite geralmente usam AGS ou AGMI protegidos para aumentar a ingestão de energia e reduzir a gravidade do balanço energético negativo (LEROY et al., 2013). Entretanto, o tipo de gordura e a quantidade suplementada (abordada previamente) em função da MS devem ser cuidadosamente considerados para se obter balanço energético positivo e melhoria de fertilidade. PIRES et al. (2007), demonstraram que a suplementação de AGS pode levar à resistência periférica à insulina, com aumento da glicose circulante disponível para a síntese de lactose e, portanto, para a produção de leite. Isto pode agravar ainda mais o BEN em vacas em início de lactação, o que influenciará negativamente índices reprodutivos. PRADO et al. (2016), suplementaram vacas de alta produção com AGMI protegidos durante o período de transição observaram maiores teores de lipídios e triglicerídeos no fígado de vacas no pós-parto quando comparados à dieta suplementada com linhaça em grão. Elevados teores de lipídios e triglicerídeos no fígado resultam em esteatose hepática, que negativamente, impacta a IMS, imunossupressão, contração muscular e desempenho reprodutivo (GOFF, 2006).

Diversos estudos relataram efeitos positivos da suplementação de AGPI ômega-3 sobre crescimento folicular e sobrevivência embrionária em bovinos leiteiros (LEROY et al. 2013; GULLIVER et al., 2012) Por exemplo, vacas em lactação alimentadas com linhaça laminada, contendo 56,7% dos AG como C18:3, tiveram menores perdas de gestação (9,8%) quando comparadas com aquelas que receberam grãos de girassol laminado, contendo 0,1% dos AG como C18:3, onde as perdas de gestação foram de 27,3% (AMBROSE et al., 2006). Recentemente, MOALLEM et al. (2020), acompanharam 516 vacas de um rebanho comercial entre 21 dias antes do parto até 105 dias após o parto. Ambos os grupos receberam dietas com aproximadamente 6,5% de EE no pós-parto. Um grupo recebeu linhaça extrusada, com a dieta possuindo 14,5% de C18:3, e o grupo controle recebeu dieta possuindo 1,9% de C18:3. O grupo de vacas que recebeu a linhaça extrusada teve menor intervalo entre a primeira inseminação artificial até a concepção (49,7 vs 66,6 dias), menor quantidade de dias abertos (148,5 vs 166,1) e menor número de inseminações artificiais por concepção (2,51 vs 2,99). Em outro grande estudo, também com o uso de linhaça extrusada, foi avaliado o desempenho reprodutivo de 158.125 vacas e 423.605 inseminações artificiais em 1096 rebanhos comerciais na França (MEIGNAN et al., 2019). Os animais que receberam linhaça extrusada consumiam em média  $337 \pm 239,4$  g/vaca/dia. A suplementação da linhaça extrusada foi relacionada a número reduzido de dias até a primeira inseminação artificial e dias abertos.

## 5.1 Crescimento folicular

O que se busca por meio da nutrição e alimentação das vacas em processo reprodutivo é que os folículos sejam bem desenvolvidos, pois o tamanho dos folículos é proporcional a sua capacidade de ovulação.

A dinâmica folicular foi estudada por AMBROSE et al. (2006), o tamanho dos folículos em vacas recebendo grãos de linhaça laminados foram maiores (16,9±0,9 mm) do que as que receberam grãos de girassol laminados (14,1±0,9 mm).

Os resultados de pesquisas mostram que quando suplementamos as vacas com gordura, independentemente, da fonte (ômega 6 ou ômega 3) observa-se um desenvolvimento dos folículos maiores do que quando comparado a uma fonte de carboidrato, como o milho.

Em Israel, pesquisas conduzidas por ZACHUT et al. (2010), avaliaram a utilização de dieta contendo 5,4% de extrato etéreo na MS, suplementada com 1 kg/dia de gordura encapsulada, contendo 242,2 gramas de óleo de linhaça (C18:3) ou com a mesma quantidade de gordura encapsulada, contendo 260,0 gramas de óleo de girassol (C18:2) comparadas a uma dieta controle (4,7% de EE) onde foi administrado 1% de sais de cálcio. Os autores observaram que o tamanho de folículos para o tratamento com linhaça foi 2,4 vezes maior do que o controle. O número médio de folículos com  $\geq 10$  mm, nos dias 5, 9 e 13 do ciclo estral, foram maiores no tratamento que recebeu girassol do que nos dois outros tratamentos (Controle e Linhaça). Concluem que estes achados podem estar relacionados às modificações da gordura e das composições nos compartimentos plasmático e ovariano em resposta à suplementação dietética.

## 5.2 Estabelecimento do corpo lúteo e a produção de progesterona

O corpo lúteo funcional se estabelece em 5 a 6 dias que segue a ovulação. O crescimento do corpo lúteo prossegue nos dias seguintes ao seu estabelecimento e alcança o nível mais alto entre 10 e 14<sup>o</sup>. dia. Se não houver fecundação, por volta de 16 a 17 dias após a ovulação, o corpo lúteo diminui de tamanho e de produção de progesterona (GUELOU, 2010). Isto acontece, pois o útero produz a PGF2- $\alpha$  nesta fase do ciclo estral, que leva a regressão do corpo lúteo e novo ciclo se reestabelece.

Segundo SILVA et al. (2014), a dieta que as vacas recebem podem interferir na produção de PGF2- $\alpha$  e afetar a fertilidade das fêmeas. Estudos em ovinos e bovinos alimentados com menores razões de AG ômega 6 para ômega 3 relataram menores concentrações plasmáticas de 13,14-diidro-15-ceto PGF2- $\alpha$  (PGFM) (GULLIVER et al., 2012). Devido às propriedades luteolíticas da PGF2- $\alpha$ , uma redução na PGFM plasmática seria benéfica para sustentar as funções do corpo lúteo e manter a gravidez. Os possíveis mecanismos para os efeitos observados de ômega 6 e ômega 3 nas funções reprodutivas incluem uma competição entre ômega 6 e ômega 3 por enzimas associadas à síntese de

prostaglandinas e com dessaturação e alongamento de AG de cadeia longa, como mostrado nas Figuras 2 e 3 (WATHES et al., 2007). Outro mecanismo é a possível alteração dos fosfolipídios da membrana celular seguida da suplementação de AG ômega 3, reduzindo a quantidade de ácido araquidônico (um AG ômega 6), um precursor de prostaglandinas série 2, nas membranas (WATHES et al., 2007).

Alguns pesquisadores (MATTOS, et al., 2000; SILVA et al., 2014; SARTORI et al., 2002), tem recomendado estratégias de suplementação de gordura para vacas leiteiras visando obter melhores resultados reprodutivos. Os AG da família ômega 6 poderiam ser fornecidos no início da lactação, durante o BEN, quando estes favorecem a síntese de PGF2- $\alpha$  auxiliando na involução uterina pós-parto, no reestabelecimento de um novo ciclo estral e atuando no crescimento folicular. Mas segundo estes mesmos autores, durante o período de serviço, por volta de 50 a 60 dias após o parto, devem ser fornecido as vacas uma dieta rica em AG da família ômega 3, por ter um efeito positivo na redução da secreção de PGF2- $\alpha$ , permitindo a fecundação e implantação do embrião no útero materno.

Em se tratando da utilização da linhaça na alimentação de vacas leiteiras visando a melhoria da eficiência reprodutiva, uma das primeiras publicações ocorreu em 2002, na Grã-Bretanha, por PETIT et al. (2001). Nesta pesquisa foi usado do grão de linhaça tratado, com objetivo de avaliar o desempenho reprodutivo onde foram estudados os efeitos das fontes de gordura (uso do Megalac<sup>®</sup> versus grão de linhaça tratado com formaldeído) sobre os desempenhos de reprodução. A taxa de concepção na 1<sup>a</sup>. cobertura foi significativamente maior (87,5%) para as vacas que receberam grão de linhaça tratado do que para as vacas no grupo Megalac<sup>®</sup> (50,0%) (PETIT et al., 2001).

Alguns estudos realizados com linhaça (rica em ômega 3) e outras oleaginosas (ricas em ômega 6), na alimentação de vacas leiteiras mostram efeitos bem diferentes sobre a síntese de prostaglandinas das séries 1, 2 e 3 (PETIT & BENCHAAAR, 2007; SARTORI & DODE, 2008). Os AG ômega 6 conduzem a síntese de prostaglandinas das séries 1 e 2, e os AG ômega 3 conduzem sínteses de prostaglandinas da série 3. A linhaça contém em torno de 55% de AG totais sob forma de ácido linolênico e, portanto, conduz a formação de prostaglandinas da série 3 (MATTOS et al., 2000; PETIT et al., 2001; GUIHARD, 2011) (Figura 2 e 4).

A família dos ômegas 3 (AG: linolênico – C18:3 n-3, eicosapentanóico - C20:5 n-3, abreviação EPA e docosahexaenóico – C22:6 n-3, abreviação DHA) tem origem vegetal (C18:3) e animal (C20:5 e C22:6). Para que o C18:3 possa exercer efeitos bioativos precisa ser transformado no organismo animal e humano em C20:5 e C22:6. Isto se dá graças as enzimas  $\Delta$ -6-dessaturase, elongase,  $\Delta$ -5 dessaturase e por fim oxidação peroxisomal (GUIHARD, 2011).

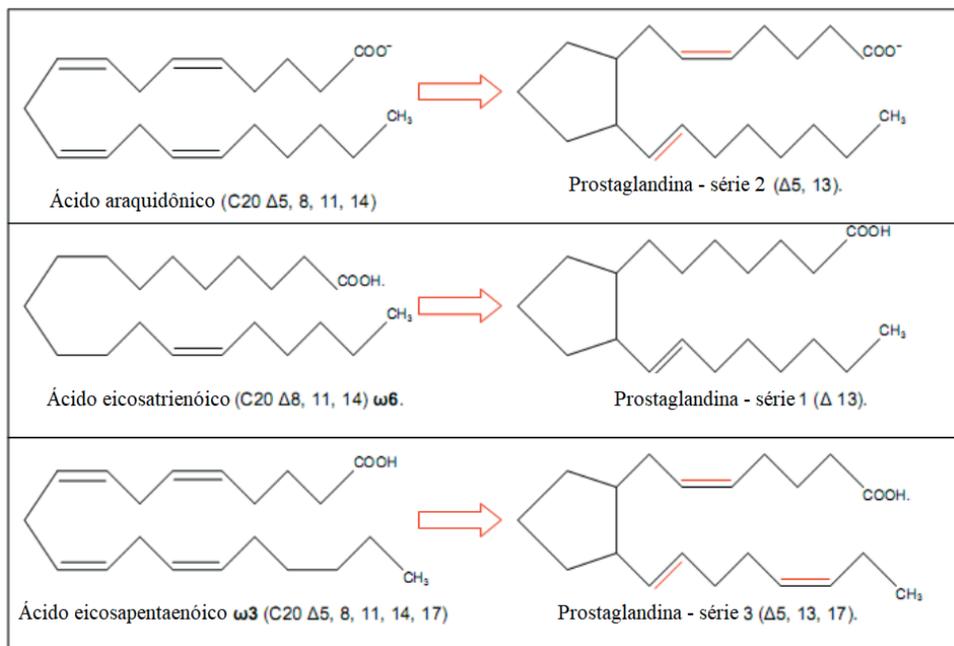


Figura 4 - Formação das Prostaglandinas das séries 1, 2 e 3 a partir dos ácidos graxos ômega 3 e 6.

Fonte: GUIHARD (2011).

O efeito positivo que os AG da família ômega 3 (AG: linolênico, eicosapentaenóico e docosahexaenóico) proporciona é na redução da secreção de PGF2-α possibilitando o corpo lúteo de manter a produção de progesterona e a gestação em curso. Portanto, as prostaglandinas são consideradas como compostos bioativos e têm origem nos AG de 20 carbonos.

A produção de progesterona é dependente do tamanho do corpo lúteo. Isto é fundamental quando houver fecundação para inibir a produção de PGF2-α e permitir ao feto, que está no início de gestação, possa se instalar no útero materno e na sequência produzir, por sua vez o interferon tau, que se constitui numa forma de comunicação entre ele e organismo materno para que a mãe não inicie um novo ciclo estral (ANTONIAZZI et al., 2011).

A procura por alimentos que possam ajudar nesse processo tem sido o foco, nos últimos anos, de vários pesquisadores (PETIT et al., 2002; TALAVERA et al., 1985; LUCY et al., 1993; STRONGE et al., 2005), todos estes trabalhos mostraram um aumento da progesteronemia seguido a uma suplementação em gordura, independentemente da fonte. Todavia, outras pesquisas não observaram nenhum efeito de uma suplementação com gordura sobre a progesteronemia (AMBROSE et al., 2006; MATTOS et al., 2004; WAMSLEY et al., 2005).

### 5.3 Nutrigenômica: reprodução e efeitos na expressão gênica de dieta rica em ômega 3

Foi demonstrado que os AG ômega 3 e ômega 6 podem atuar como reguladores da transcrição gênica em vários tecidos reprodutivos (HALLÉ et al., 2015). Diferentes razões ômega 6:ômega 3 foram testadas em um modelo *in vitro* de cultura de células endometriais bovinas e houve maior abundância de genes com efeitos positivos na implantação uterina quando maiores níveis de ômega 3 foram usados (HALLÉ et al., 2015). Ao suplementar novilhas de corte com ômega 3 durante 45 dias, WATER et al. (2012), observaram expressão alterada de genes do endométrio uterino associados à biossíntese de prostaglandina, esteroidogênese, resposta imune materna e remodelação de tecidos. Os autores concluíram que a suplementação de ômega 3 pode influenciar positivamente o ambiente uterino. Apesar de promissores, poucos estudos estão disponíveis sobre a expressão gênica e a suplementação de ômega 3.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inclusão de grãos de linhaça ou de óleo de linhaça na dieta das vacas melhora o perfil de AG no leite. Os tratamentos que os grãos de linhaça são submetidos (extrusão, laminação, moagem, tratamento químico, e outros) melhoram, ainda mais, o perfil de AG no leite. É possível que ocorra pequenas alterações na produção de leite para mais ou para menos, mas geralmente, aumenta o teor de proteína do leite e tem pouco efeito no teor de gordura do leite. Há aumento do diâmetro do folículo ovulatório, que está associado a uma maior produção de progesterona. Possivelmente, os AG linolênicos da linhaça melhoram a função reprodutiva. Há indícios na literatura, que o fornecimento de grãos ou óleo de linhaça no período de cobertura das novilhas e das vacas, favoreçam a implantação dos embriões no útero materno, devido inibir a produção de prostaglandina PGF-2-alfa e promover melhores taxas de gestação.

## REFERÊNCIAS

- AMBROSE, D.J.; KASTELIC, J.P.; CORBETT, R.; PITNEY, P.A.; PETIT, H.V.; SMALL, J.A.; ZALKOVIC, P. Lower pregnancy losses in lactating dairy cows fed a diet enriched in  $\alpha$ -linolenic acid. **J. Dairy Sci.** v.89, n.8, p.3066-3074. 2006.
- ANTONIAZZI, A.Q.; HENKES, L.E.; OLIVEIRA, J.F.C.; HANSEN, T.R. Função do interferon-tau durante o reconhecimento materno da gestação em ruminantes. **Ciência Rural.** v.41, n.1, p.176-185. 2011.
- BARBIERI, P.A.P. **Moinhos e misturadores.** In: Simpósio do Colégio Brasileiro de Nutrição Animal e I Seminário sobre tecnologia de produção de rações Campinas: Anais. 1998. p.81-85.
- BAUMAN, D.E.; GRIINARI, J.M. Nutritional regulation of milk fat synthesis. **Annu Rev. Nutr.** v.23, p.203-227. 2003.

BAUMAN, D.E.; GRINARI, J.M. Regulation and nutritional manipulation of milk fat low-fat milk syndrome. **Adv. Exp. Med. Biol.** v.480, p.209-216. 2000.

BEAULIEU, C.C. Le lin dans l'alimentation de la vache laitière. **Écosphère**, 2017. Disponível em: <[https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_97636.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_97636.pdf)>. Acesso em: 04 de fev. de 2021.

BENCHAAR, C.; POMAR, C.; CHIQUETTE, J. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. **Can. J. Anim. Sci.** v.81, n.4, p.563-574. 2001.

BRUNSCHWIG, P.; HURTAUD, C.; CHILLIARD, Y.; GLASSER, F. L'apport de lin dans la ration des vaches laitières: Effets sur la production, la composition du lait et des produits laitiers, les émissions de méthane et les performances de reproduction. **Prod. Anim.** v.23, n.4, p.307-318. 2010.

BUTLER, W.R. Energy balance relationships with follicular development ovulation and fertility in postpartum dairy cows. **Livest. Prod. Sci.** v.83, n.2-3, p.211-218. 2003.

BUTLER, W.R. Nutritional effects on resumption of ovarian cyclicity and conception rate in postpartum dairy cows. **BSAP Occas Publ.** v.26, n.1, p.133-45. 2001.

BUTLER, W.R. Review: Effect of Protein Nutrition on Ovarian and Uterine Physiology in Dairy Cattle. **J. Dairy Sci.** v.81, n.9, p.2533-2539. 1998.

CAVALIERI, F.B.; SANTOS, G.T.; MATSUSHITA, M.; PETIT, H.V.; RIGOLON, L.P.; SILVA, D.; HORST, J.A.; CAPOVILLA, L.C.; RAMOS, F.S. Milk production and milk composition of dairy cows fed Lac100® or whole flaxseed. **Can. J. Anim. Sci.** v.85, n.3, p.413-416. 2005.

CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; DOREAU, M. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. **Livest. Prod. Sci.** v.70, n.1-2, p.31-48. 2001.

DISKIN, M.G.; PARR, M.H.; MORRIS, D.G. Embryo death in cattle: An update. **Reprod. Fertil. Dev.** v.24, n.1, p.244-251. 2012.

ENJALBERT, P.F.; MEYNADIER, A. Alimentation des vaches laitières et composition en acides gras du lait. **Bull Acad. Vét. Fr.** v.3, p.171-175. 2016.

FELLNER, V.; SAUER, F.D.; KRAMER, J.K.G. Steady-State Rates of Linoleic Acid Biohydrogenation by Ruminal Bacteria in Continuous Culture. **J. Dairy Sci.** v.78, n.8, p.1815-1823. 1995.

FERREIRA, A.M. **Como reduzir o intervalo entre partos.** DBO Especial Mundo do Leite. v.1, p.32-33, 2002.

GLASSER, F.; FERLAY, A.; CHILLIARD, Y. Oilseed lipid supplements and fatty acid composition of cow milk: A meta-analysis. **J. Dairy Sci.** v.91, n.12, p.4687-4703. 2008.

GOFF, J.P. Major advances in our understanding of nutritional influences on bovine health. **J. Dairy Sci.** v.89, n.4, p.1292-1301. 2006.

- GRIINARI, J.M.; CORL, B.A.; LAC, S.H.; CHOUINARD, P.Y.; NURMELA, K.V.V.; BAUMAN, D.E. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by  $\Delta 9$ -desaturase. **J. Nutr.** v.130, n.9, p.2285-2291. 2000.
- GROHN, Y.T.; RAJALA-SCHULTZ, P.J. Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. **Anim. Reprod. Sci.** v.60-61, p.605-614. 2000.
- GUELOU, K. **La mortalité embryonnaire chez la vache et l'influence de l'alimentation.** Thèse Doctorat Vétérinaire. École National Vétérinaire d'Alford and Faculté de Médecine de Creteil. France. 2010. 138p.
- GUIHARD, J. **Intérêts D'Une Supplémentation En Acides Gras Omega-3 Sur La Production Et La Santé des Vaches Laitières.** Thèse d'exercice. Médecine vétérinaire. École Nationale Vétérinaire de Toulouse. France. 2011. 85p.
- GULLIVER, C.E.; FRIEND, M.A.; KING, B.J.; CLAYTON, E.H. The role of omega-3 polyunsaturated fatty acids in reproduction of sheep and cattle. **Anim. Reprod. Sci.** v.131, n.1-2, p.9-22. 2012.
- HALLÉ, C.; GOFF, A.K.; PETIT, H.V.; BLOUIN, R.; PALIN, M.F. Effects of different n-6:n-3 fatty acid ratios and of enterolactone on gene expression and PG secretion in bovine endometrial cells. **Br. J. Nutr.** v.113, n.1, p.56-71. 2015.
- KLEIN, A.A. Peletização de Rações: Aspectos Técnicos, Custos e Benefícios e Inovações Tecnológicas. **Ergmomix**, 2009. Disponível em: <<https://pt.engormix.com/balanceados/artigos/peletizacao-racoes-aspectos-tecnicos-t36785.htm>>. Acesso em: 10 de fev. de 2021.
- LAWSON, R.E.; MOSS, A.R.; GIVENS, D.I. The role of dairy products in supplying conjugated linoleic acid to man's diet: a review. **Nutr. Res. Rev.** v.14, n.1, p.153-172. 2005.
- LEROY, J.L.M.R.; STURMEY, R.G.; VAN HOECK, V.; BIE, J.; MCKEEGAN, P.J.; BOLS, P.E.J. Dietary lipid supplementation on cow reproductive performance and oocyte and embryo viability: a real benefit? **Anim. Reprod.** v.10, n.3, p.258-267. 2013.
- LUCY, M.C. ADSA foundation scholar award reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? **J. Dairy Sci.** v.84, n. p.1277-1293. 2001.
- LUCY, M.C.; LA SOTA, R.L.; STAPLES, C.R.; THATCHER, W.W. Ovarian Follicular Populations in Lactating Dairy Cows Treated with Recombinant Bovine Somatotropin (Somatotrovo) or Saline and Fed Diets Differing in Fat Content and Energy. **J. Dairy Sci.** v.76, n.4, p.1014-1027. 1993.
- MANDARINO, J.; ROESSING, A. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos.** 2ed. Londrina: Embrapa Soja. 2015. 41p.
- MATTOS, R.; STAPLES, C.R.; ARTECHE, A.; WILTBANK, M.C.; DIAZ, F.J.; JENKINS, T.C.; THATCHER, W.W. The effects of feeding fish oil on uterine secretion of PGF 2 $\alpha$ , milk composition, and metabolic status of periparturient Holstein cows. **J. Dairy Sci.** v.87, n.4, p.921-932. 2004.
- MATTOS, R.; STAPLES, C.R.; THATCHER, W.W. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. **Rev. Reprod.** v.5, n.1, p.38-45. 2000.

MEIGNAN, T.; MADOUASSE, A.; BEAUDEAU, F.; ARIZA, J.M.; LECHARTIER, C.; BAREILLE, N. Does feeding extruded linseed to dairy cows improve reproductive performance in dairy herds? An observational study. **Theriogenology**. v.125, p.293-301. 2019.

MOALLEM, U.; LEHRER, H.; LIVSHITS, L.; ZACHUT, M. The effects of omega-3  $\alpha$ -linolenic acid from flaxseed oil supplemented to high-yielding dairy cows on production, health, and fertility. **Livest. Sci.** v.242, p.104302. 2020.

MOLENA-FERNANDES, C.; SCHIMIDT, G.; NETO-OLIVEIRA, E.; BERSANI-AMADO, C.; CUMAN, R.K. Avaliação dos efeitos da suplementação com farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) marrom e dourada sobre o perfil lipídico e a evolução ponderal em ratos Wistar. **Rev. Bras. Plantas Med.** v.12, n.2, p.201-207. 2010.

MULLER, L.D.; DELAHOY, J.E. Conjugated linoleic acid (CLA) implications for animal production and human health. **Dairy and Animal Science**. p.04-88, 1988.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7ed. Washington, D.C.: The National Academies Press; 2001. 405p.

OLIVEIRA, M.X.S.; PALMA, A.S.V.; REIS, B.R.; FRANCO, C.S.R.; MARCONI, A.P.S.; SHIOZAKI, F.A.; REIS, L.G.; SALLES, M.S.V.; NETTO, A.S. Inclusion of soybean and linseed oils in the diet of lactating dairy cows makes the milk fatty acid profile nutritionally healthier for the human diet. **PLoS ONE**. v.16, n.2, p.1-19. 2021.

OOMAH, B.D.; MAZZA, G. **Productos de linaza para la prevencion de enfermedades**. In: Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesos. Acribia; 2000. p.93-140.

OSMARI, M.P.; VELHO, J.P.; WAECHTER, M.C.; RUTZ, R.; MARCHI, F.E.; ALMEIDA, P.S.G.; SILVA JÚNIOR, R.C.; SANTOS, G.T. Nitrogen fertilization changes the productivity and chemical composition of brown and golden flax grains. **Semin. Agrar.** v.40, n.6, p:3565-3476. 2019.

PALMQUIST, D.; MATTOS, W. **Metabolismo de lipídeos**. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p.287-310.

PEREIRA, P.A.C.; FERREIRA, A.M.; CARVALHO, L.B. Estimativa de Perdas na Produção de Leite devido ao aumento do Intervalo de Partos de rebanhos bovinos do Vale do Paraíba-SP. **Rev. Bras. Reprod. Anim.** v.28, p.233-236. 2004.

PETIT, H. V.; DEWHURST, R.J.; PROULX, J.G.; KHALID, M.; HARESIGN, W.; TWAGIRAMUNGU, H. Milk production, milk composition, and reproductive function of dairy cows fed different fats. **Can. J. Anim. Sci.** v.81, n.2, p.263-271. 2001.

PETIT, H.V.; BENCHAAAR, C. Importance de la nature des graisses alimentaires sur la reproduction des vaches laitières. **Rencontres Rech. Ruminants**. v.3, p.329-332. 2007.

PETIT, H.V.; DEWHURST, R.J.; SCOLLAN, N.D.; PROULX, J.G.; KHALID, M.; HARESIGN, W.; TWAGIRAMUNGU, H.; MANN, G.E. Milk production and composition, ovarian function, and prostaglandin secretion of dairy cows fed omega-3 fats. **J. Dairy Sci.** v.85, n.4, p.889-99. 2002.

PIRES, J.A.A.; SOUZA, A.H.; GRUMMER, R.R. Induction of hyperlipidemia by intravenous infusion of tallow emulsion causes insulin resistance in holstein cows. **J. Dairy Sci.** v.90, n.6, p.2735-2744. 2007.

PRADO, R.M.; PALIN, M.F.; PRADO, I.N.; SANTOS, G.T.; BENCHAAAR, C.; PETIT, H.V. Milk yield, milk composition, and hepatic lipid metabolism in transition dairy cows fed flaxseed or linola. **J. Dairy Sci.** v.99, n.11, p.8831-8846. 2016.

SANTOS, G.T.; DAMASCENO, J.C.; SILVA-KAZAMA, D.C. Manejo de vacas em lactação, secas e em período de transição. In: SANTOS, G.T.; MASSUDA, E.M.; SILVA KAZAMA, D.C.; JOBIM, C.C.; BRANCO, A.F. (Ed.) *Bovinocultura Leiteira - Bases zootécnicas, fisiológicas e de produção*. Maringá: EDUEM, 2010. p.109-141.

SARTORI, R.; DODE, M.A.N. **Morte embrionária na IA, TE, FIV e clonagem**. III Simpósio Int. Reprodução Anim. Apl. P.175-194. 2008.

SARTORI, R.; SARTOR-BERGFELT, R.; MERTENS, S.A.; GUENTHER, J.N.; PARRISH, J.J.; WILTBANK, M.C. Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. **J. Dairy Sci.** v.85, n.11, p.2803-2812. 2002.

SCHORI, F.; FRAGNIERE, C.; SCHAEREN, W.; STOLL, W. Graines de lin et de tournesol dans l'alimentation de la vache laitière. **Rev. Suisse Agric.** v.38, p.25-30. 2006.

SILVA, D.C.; SANTOS, G.T.; BRANCO, A.F.; DAMASCENO, J.C.; KAZAMA, R.; MATSUSHITA, M.; HORST, J.A.; SANTOS, W.B.R.; PETIT, H.V. Production performance and milk composition of dairy cows fed whole or ground flaxseed with or without monensin<sup>1,2</sup>. **J. Dairy Sci.** v.90, n.6, p.2928-2936. 2007.

SILVA, J.A.; HATAMOTO-ZERVOUDAKIS, L.K.; JÚNIOR, M.F.D.; SILVA, R.P.; TSUNEDA, P.P.; SILVA, L.E.S.; BARBOSA, L.A.B. Utilização de gordura na dieta de vacas leiteiras. **PUBVET, Publicações em Med. Veterinária e Zootec.** v.8, n.17. 2014;

STAPLES, C.R.; BURKE, J.M.; THATCHER, W.W. Influence of Supplemental Fats on Reproductive Tissues and Performance of Lactating Cows. **J. Dairy Sci.** v.81, n.3, p. 856-871. 1998.

STRONGE, A.J.H.; SREENAN, J.M.; DISKIN, M.G.; MEE, J.F. KENNY, D.A.; MORRIS, D.G. Post-insemination milk progesterone concentration and embryo survival in dairy cows. **Theriogenology.** v.64, n.5, p.1212-1224. 2005.

TALAVERA, F.; PARK, C.S.; WILLIAMS, G.L. Relationships among dietary lipid intake, serum cholesterol and ovarian function in holstein heifers. v.60, n.4, p.1045-1051. 1985.

THATCHER, W.W.; BILBY, T.R.; BARTOLOME, J.A.; SILVESTRE, F.; STAPLES, C.R.; SANTOS, J.E.P. Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. **Theriogenology.** v.65, n.1, p.30-44. 2006.

THEURER, C.B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **J. Anim. Sci.** v.63, p.1649-1662. 1986.

WAMSLEY, N.; BURNS, P.; ENGLE, T.E.; ENNS, R. Fish meal supplementation alters uterine prostaglandin F<sub>2α</sub> synthesis in beef heifers with low luteal-phase progesterone. **J. Anim. Sci.** v.83, p.1832-1838. 2005.

WATERS, S.M.; COYNE, G.S.; KENNY, D.A.; MACHUGH, D.E.; MORRIS, D.G. Dietary n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation alters the expression of genes involved in the control of fertility in the bovine uterine endometrium. **Physiol. Genomics**. v.44, n.18, p.878-888. 2012.

WATHES, D.C.; ABAYASEKARA, D.R.E.; AITKEN, R.J. Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. **Biol Reprod**. v.77, n.2, p.190-201. 2007.

ZACHUT, M.; DEKEL, I.; LEHRER, H.; ARIELI, A.; ARAV, A.; LIVSHITZ, L.; YAKOBY, S.; MOALLEM, U. Effects of dietary fats differing in n-6:n-3 ratio fed to high-yielding dairy cows on fatty acid composition of ovarian compartments, follicular status, and oocyte quality. **J. Dairy Sci**. v.93, n.2, p.529-45. 2010.

## EFEITO DA LINHAÇA SOBRE OS COMPOSTOS BÍOATIVOS DO LEITE BOVINO

Data de aceite: 18/05/2021

Data de submissão: 10/05/2021

### Francilaine Eloise de Marchi

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Zootecnia  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/5076999101640094>

### Luciano Soares de Lima

Universidade Federal de Minas Gerais,  
Departamento de Zootecnia  
Belo Horizonte – MG  
<http://lattes.cnpq.br/7128418542444512>

## 1 | INTRODUÇÃO

A linhaça (*Linum usitatissimum*) é uma planta cultivada desde a antiguidade para obtenção das sementes, óleo e fibra. É originária da Índia, tem ciclo anual, inflorescência de coloração azul e produz pequenas sementes planas de coloração variando de amarelo dourado a marrom avermelhado. Atualmente é produzida em mais de 50 países, sendo o Cazaquistão o maior produtor de linhaça do mundo com uma produção de aproximadamente 1 milhão de toneladas, seguido da Rússia (659 mil t), Canadá (486 mil t) e China com 340 mil toneladas, enquanto o Brasil produz cerca de 3.772 toneladas (FAOSTAT, 2019).

Com o avanço no conhecimento científico

e de técnicas analíticas nas últimas décadas, alguns compostos presentes nos alimentos, além daqueles mais convencionais como minerais e vitaminas, têm chamado atenção quanto ao seu papel no metabolismo e manutenção da saúde humana e animal. Pesquisas têm demonstrado que alguns nutrientes, além de nutrir, atuam como adjuvantes na prevenção de doenças. Alimentos com tal propriedade são chamados de alimentos funcionais e/ou nutracêuticos. Mais recentemente, fazendo referência à compostos específicos nos alimentos, surgiu o termo compostos biativos. A linhaça é um desses alimentos, porque possui compostos específicos em suas frações lipídica e fibrosa, como ácidos graxos essenciais e lignanas, que desempenham papéis que vão além dos aspectos nutritivos convencionais.

Assim, esforços têm sido feitos com o propósito não somente de incorporar, mas também de potencializar os efeitos dos compostos biativos da linhaça na nutrição humana. Uma forma de alcançar este objetivo pode ser o enriquecimento de alimentos convencionais e que são consumidos em larga, como por exemplo o leite bovino. O leite é um alimento acessível e consumido diariamente pela maior parte da população mundial em todas as faixas etárias e classes sociais. Desta forma, o leite poderia ser um veículo para aumentar a ingestão dos compostos bioativos contidos na linhaça quando utilizada na alimentação de

vacas leiteiras (PETIT, 2009). Além disso, estudos demonstraram que a metabolização dos compostos bioativos da linhaça pelos microrganismos colonizadores do rúmen é capaz de produzir compostos com efeitos ainda maiores à saúde humana (CÔRTEZ, et al., 2008).

Este capítulo aborda os principais compostos bioativos da linhaça, bem como, os resultados de pesquisas com vacas leiteiras alimentadas com ingredientes oriundos da linhaça e transferência de tais compostos para o leite.

## 21 PRODUÇÃO DE LEITE ENRIQUECIDO COM ÁCIDOS GRAXOS POLI-INSATURADOS VIA FORNECIMENTO DE LINHAÇA

### 2.1 Principais características da gordura do leite

A gordura do leite é a fração nutricional que mais pode variar em concentração e em composição no leite bovino. Sua concentração e composição variam em função da raça, estágio da lactação, sanidade da glândula mamária e principalmente em função dos componentes da dieta. Entretanto, em média o leite bovino possui 3,5% de gordura e é formada por aproximadamente 98% de triglicerídeos, ou seja, moléculas de ácidos graxos ligados a glicerol, e 2% de diacilgliceróis, colesterol e fosfolipídios. Dos triglicerídeos cerca de 76% são formados por ácidos graxos saturados (AGS) e 23% por ácidos graxos insaturados (AGI). Dentre os ácidos graxos saturados a maior parte é constituída pelo ácido palmítico (36%, C16:0) e, dentre os AGI o mais abundante é o ácido oleico (17%, C18:1 n9c) (O'CALLAGHAN, et al., 2019).

Os triglicerídeos do leite são provenientes da *síntese de novo*, que acontece nas células da glândula mamária, dos triglicerídeos ingeridos na dieta e dos mobilizados das reservas corporais. Então, em resumo, pode-se dizer que a gordura do leite tem origem do plasma sanguíneo e da *síntese de novo*. A *síntese de novo* na glândula mamária dá origem principalmente aos ácidos graxos saturados de cadeia curta (AGCC, C4 a C14) e metade dos ácidos graxos de cadeia média com 16 C (AGCM, C15 a C17) e usa como principais precursores o acetato e beta-hidroxibutirato provenientes da fermentação ruminal (O'CALLAGHAN, et al., 2019; BAUMAN & GRIINARI, 2003). Os ácidos graxos de cadeia longa (AGCL; C18 a C24) e parte dos ácidos graxos com 16 carbonos são provenientes da dieta e da mobilização da gordura corporal (BAUMAN & GRIINARI, 2003). A proporção dos AGCC, AGCM e AGCL é aproximadamente 30%, 42% e 30%, respectivamente (O'CALLAGHAN, et al., 2019).

Segundo recomendações da Organização Mundial da Saúde a ingestão diária de gordura deve representar no máximo 30% do total da energia da dieta, ainda a ingestão de gordura saturada deve ser no máximo 10% do total da energia ingerida, para gordura poli-insaturada 11% e 78% para monoinsaturada. Considerando que um adulto deve ingerir cerca de 2500 calorias por dia, que 1g de gordura possui 9 calorias e o consumo médio de leite de 463 ml dia<sup>-1</sup> de leite, observado na população brasileira em 2019, a contribuição

da gordura do leite no consumo diário de energia é de aproximadamente 146 calorias (6%), sendo a porção de AGS responsável por 109 calorias ou 4%, apenas. Diante do exposto vemos que a contribuição do leite no consumo de AGS é baixa. E apesar do leite ser um alimento rico em nutrientes benéficos a saúde humana, por muito tempo ele foi mantido entre os principais alimentos que predispõe ao aumento do colesterol e doenças cardiovasculares, o que estaria relacionado ao seu teor de AGS principalmente aos ácidos graxos mirístico (C14:0), palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0).

Além da baixa contribuição do leite no consumo de AGS, estudos mostram que as justificativas para manter o leite nessa lista são frágeis. Primeiro, parte desses estudos não suportam a associação entre biomarcadores da ingestão da gordura do leite com o risco de diabetes ou doenças cardiovasculares (KLEBER et al., 2016; LIANG, et al., 2018) e até indicam que o consumo de laticínios dentro dos padrões dietéticos normais está inversamente associado a esse risco (KRATZ, et al., 2013;) (THORNING et al., 2017). Em segundo, o risco de doenças cardiovasculares tem mostrado estar mais associado ao consumo de carboidratos simples, uma vez que a substituição dos AGS pela ingestão de carboidratos foi associada ao agravamento do risco de doenças cardiovasculares. Há recomendação para aumentar consumo de proteínas e AGI (SIRI-TARINO et al., 2015; PRAAGMAN et al., 2016). Por fim, o leite é fonte natural de ácidos graxos insaturados da família ômega 3, ômega 6 e fonte quase exclusiva fonte ácidos butirico (C4) e de ácidos linoleico conjugado (CLA), especialmente o ácido rumênico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11). Diante disso, esforços têm sido feitos para aumentar a concentração desses AGI no leite bovino. Uma das formas é incluir na dieta das vacas alimentos que aumentem o teor de AGI no leite, com é o caso da linhaça.

## 2.2 Ácidos graxos presentes no leite bovino com propriedades bioativas

Dentre os mais de 400 ácidos graxos, existem dezenas deles com propriedades bioativas e funções biológicas importantes e já conhecidas, assim seria inviável elencar todas aqui, então serão citados apenas exemplos.

O leite é a principal fonte de ácidos graxos de cadeia curta na dieta humana. Ácidos graxos de cadeia curta e média são mais facilmente digeridos e apresentam uma baixa tendência a serem armazenados no tecido adiposo, pois são fonte de energia primária rápida para células, também contribuem para a regulação da célula metabolismo e desempenham um papel importante na sinalização intracelular (SCHÖNFELD & WOJTCZAK, 2016). Especificamente o ácido butírico (C4:0) é a fonte primária de energia para as células do intestino e é importante para defesa da mucosa intestinal contra micro-organismos e substâncias patogênicas, uma vez que, estimula a produção de mucina. Atua ainda inibindo processos inflamatórios no cólon intestinal e previne câncer. Em média o ácido butírico representa 3 a 4% dos ácidos graxos do leite e é o AGCC mais importante nos produtos lácteos (BROSSILLON et al., 2018).

Os AGCM de maneira geral tem sido relacionado a redução da deposição de gordura no organismo, por serem termogênicos e estimularem a oxidação da gordura (NAGAO & YANAGITA, 2010). Pesquisas com ratos e humanos mostram que o ácido graxo C16:1n7 melhora a composição lipídica do sangue, aumenta a sensibilidade à insulina por inibir a apoptose das células beta do pâncreas e a deposição de gordura no fígado (MORGAN & DHAYAL, 2010; YANG et al., 2011) e ainda, uma associação inversa entre as concentrações de 15:0 e 17:0 no plasma humano e o risco de diabetes tipo 2 (PFEUFFER & JAUDSZUS, 2016; RISÉRUS & MARKLUND, 2017).

Ácidos graxos de cadeia ramificada são ácidos graxos saturados encontrados em abundância nas membranas celulares de bactérias e no leite originam do processo de digestão ruminal. Caracterizam-se por possuírem um grupo metil (CH<sub>3</sub>) em sua cadeia carbônica, e recebem nomenclatura *iso* ou *anteiso* em função da posição do grupo metil na molécula. Estes AG são encontrados no leite bovino em concentrações de aproximadamente 1,4 a 1,8% da gordura total (BROSSILLON et al., 2018) e tem mostrado induzir apoptose em células de câncer de mama humano, o crescimento de tumores e linfomas (WONGTANGTINTHARN et al., 2004; CAI et al., 2013).

Dentre os AGCL o ácido oleico (C18:1 n9), ácido linoleico (LA, C18:2 n6), ácido gama-linolênico (C18:3 n6), ácido alfa-linolênico (C18:3 n3), ácido araquidônico (C20:4 n6), ácido eicosapentaenóico (EPA; C20:5 n3) e ácido docosapentaenóico (DHA; C22:6 n3) são os mais conhecidos. O ácido oleico é um AGCL, monoinsaturado e o segundo AG mais abundante no leite, representando 19-24% da gordura total (SALES-CAMPOS et al., 2013). Ele é sintetizado principalmente no tecido adiposo dos ruminantes e tem origem da dieta. Sua atividade fisiológica no organismo está relacionada a efeitos positivos na saúde, apresentando propriedades antiaterogênicas (SALES-CAMPOS et al., 2013). Ácidos graxos com cadeia carbônica maior e com mais insaturações não ocorrem naturalmente nos mamíferos por falta de sistemas enzimáticos, presente apenas nos vegetais e bactérias. Dessa forma, os mamíferos não conseguem sintetizar o ácido linoléico e linolênico, que são precursores de outros compostos importantes (EPA, DHA) e, por esse motivo precisam ser ingeridos na dieta, sendo são chamados de ácido graxos essenciais. Os ácidos graxos da família ômega 3 (n3) tem mostrado importante ação na prevenção de doenças cardiovasculares, diabetes, redução de quadros inflamatórios e doenças neurológicas (KRIS-ETHERTON et al., 2019).

Apesar da sigla CLA compreender um grupo de isômeros do ácido linoléico (C18:2 *cis*-9, *cis*-12), comumente a sigla é usada para fazer referência ao isômero C18:2 *cis*-9, *trans*-11, também chamado de ácido rumênico. Isso se deve ao fato da maioria dos efeitos biológicos dos CLA serem associados a esse isômero, seguido do C18:2 *trans*-10, *cis*-12, embora outros CLA também mostrem atividades benéficas. Os CLA são sintetizados no tecido adiposo e glândula mamária de ruminantes, pela ação de uma enzima chamada delta-9-dessaturase que converte ácido vacênico (C18:1 *trans*-11), proveniente da

fermentação ruminal, e em CLA. Ou pela parcial biohidrogenação ruminal do ácido linoléico (C18:2 *cis*-9, *cis*-12).

A fonte de CLA na dieta humana é quase exclusivamente produtos de ruminantes com alto teor de gordura. O ácido rumênico é o mais importante na gordura do leite e é responsável por pelo menos 75% do total CLA (JUTZELER et al., 2010). Outros isômeros de CLA também estão naturalmente presentes em quantidades muito baixas, cerca de 0,01%-0,10% do total AG (SHINGFIELD et al., 2013). Desde a descoberta do potencial anticâncer do ácido rumênico (HA et al., 1987), milhares de estudos foram conduzidos nas três décadas subsequentes mostrando múltiplos efeitos bioativos. Existem mais de 5000 publicações relacionado ao CLA apenas entre os anos 2000 e 2018 (Web of Science), refletindo o grande interesse científico pôr essas moléculas. O C18:2 *trans*-10, *cis*-12 se mostra mais eficientemente metabolizável do que o ácido rumênico, pois suas ligações duplas são mais expostas e, como resultado, está relacionado a processos catabólicos de queima de gordura. Tanto *in vivo* quanto *in vitro* o CLA, ou ácido rumênico, tem atividade antitumoral, antiaterogênica, antidiabétogênica, bem como, os efeitos anti-obesidade e também de modulação do sistema imunológico reduzindo inflamações (CHURRUCA et al., 2009; VILADOMIU et al., 2016). O processo inflamatório precede muitas doenças, incluindo doenças cardiovasculares, obesidade, diabetes, infecções virais ou câncer.

### 2.3 Ácidos graxos presentes na linhaça

A composição do grão de linhaça varia em função da variedade, estágio fisiológico de desenvolvimento e tratos culturais. De maneira geral, o grão possui aproximadamente 94% de matéria seca, 28-50% de óleo, 20-34% de proteína, 2-4% de matéria mineral e 25-30% de fibra (PETIT, 2010; KAJLA et al., 2015). O óleo de linhaça é composto por aproximadamente 98% de triacilglicerídeos e fosfolípidios e, se destaca por possuir em sua composição cerca de 12% de ácidos graxos saturados (AGS), 22% de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e 60% de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), sendo 55% dos AGPI representados pelo ácido alfa-linolênico, um ácido graxo essencial não sintetizado pelo organismo dos mamíferos (PETIT, 2010; ZANQUI et al., 2015). Os AGPI, especialmente, os ômega 3, têm ganhado importância ao longo dos anos em função da sua relação com prevenção de doenças cardiovasculares, colesterol, triglicérides, câncer de cólon, próstata e outros (SIMON et al., 2009; WEI, et al., 2018).

### 2.4 Efeitos do fornecimento de linhaça par vacas leiteiras sobre a composição de ácidos graxos no leite

No que se refere aos efeitos do fornecimento de linhaça a vacas leiteiras, observa-se que de maneira geral não há alteração na produção de leite e na ingestão de alimento, assim como afeta pouco produção de gordura. Entretanto, diminui a concentração de AGS na gordura do leite e aumenta consideravelmente a concentração de AGPI, principalmente

o teor de ômega 3. A intensidade da resposta mostra ser influenciada pela quantidade fornecida, forma de fornecimento e estágio de lactação. Ainda, resultados de pesquisas sugerem que a concentração de proteína da dieta pode estar positivamente relacionada a maior produção de leite durante o fornecimento de linhaça (PETIT, 2010).

A inclusão de 10 a 111 g kg<sup>-1</sup> de linhaça inteira na matéria seca (MS) da dieta de vacas em início da lactação, de maneira geral, tem mostrado não alterar de maneira significativa a produção e a concentração de gordura no leite de vacas (PETIT, 2002; PETIT & BENCHAAAR, 2007). Entretanto, houve redução de 12% no consumo de alimento e de 10% na produção de gordura (kg dia<sup>-1</sup>), sem haver alteração na produção de leite em vacas que receberam 14% linhaça inteira na MS da dieta, em comparação a vacas que não receberam (MARCHI, et al., 2015). Quanto ao perfil de ácidos graxos no leite desses animais, o fornecimento de 14% de linhaça inteira aumentou em 26% a concentração de AGMI, 36% de AGPI e 89% de ômega 3 e reduziu em 14% a concentração de AGS e 19% a de ômega 6. Ainda aumentou em 67% a concentração do ácido rumênico, 32% do ácido oleico e reduziu em 36% a concentração do ácido mirístico, 29% do palmítico e 29% do esteárico. O fornecimento de 9,7% de linhaça inteira a vacas no início da lactação não alterou o consumo de alimento e concentração de gordura no leite (%), porém aumentou a produção de leite e de gordura (kg dia<sup>-1</sup>) em 29% e 34%, respectivamente, quando comparado a vacas que não receberam linhaça. Quanto a composição da gordura do leite o fornecimento de linhaça mostrou reduzir a concentração de AGS, ácido mirístico e palmítico em 4,5%, 9% e 18% respectivamente. Mostrando aumentar em 90% a concentração de ômega 3, 29% a concentração de ácido oleico, 63% o ácido esteárico e não alterar a concentração de AGPI (PETIT et al., 2004). O fornecimento de 1% de linhaça inteira não influenciou o consumo de alimento e os teores de gordura do leite. Ainda promoveu o aumento de 17% na concentração do ácido rumênico, 21% do ácido oleico, 69% o ômega 3 e 22% na concentração de AGI, reduziu em 9% a concentração de AGS. Também reduziu a concentração dos ácidos mirístico, palmítico em 10% e 19% respectivamente, e aumentou o ácido esteárico em 29% (SOITA, et al., 2003).

Da mesma forma a inclusão de linhaça inteira na dieta no terço médio e final da lactação em níveis variando de 19 a 150 g kg<sup>-1</sup> da MS da dieta, em comparação a dietas sem linhaça, mostraram não alterar consumo, produção de leite e a gordura do leite (PETIT et al., 2009a; CAROPRESE et al., 2017). Entretanto, PETIT & GAGNON (2009), forneceram 50, 100 e 150 g kg<sup>-1</sup> de linhaça inteira a vacas no meio da lactação e observaram aumento na concentração (%) de gordura do leite de 14, 29 e 13%, respectivamente, em comparação ao leite de vacas que não receberam linhaça. O consumo de alimento, produção de leite não foram influenciados e a produção de gordura (kg dia<sup>-1</sup>) não foi alterada de maneira significativa. No perfil de ácidos graxos o fornecimento de 50 g kg<sup>-1</sup> de linhaça mostrou aumentar a concentração de AGMI em 4% e ômega 3 em 24%. O fornecimento de 150 g kg<sup>-1</sup> de linhaça inteira mostrou aumentar a concentração de AGMI em 27% e ômega 3 em 81%. Ainda houve uma redução de 19% e 30% na concentração dos ácidos mirístico, palmítico,

respectivamente, e aumento do ácido esteárico em 71%, sem alterar significativamente as concentrações de ácido rumênico e AGPI. O fornecimento de 65 g de linhaça inteira  $\text{kg}^{-1}$  MS a vacas no terço médio da lactação não alterou produção de leite, mas aumentou em 22% a produção de gordura e o teor de gordura em 10%. Quanto a composição da gordura reduziu em 3% os AGS, aumentou em 10% os AGPI e em 135% a concentração do ácido rumênico. Dentre os AGMI aumentou em 6% a concentração de ácido oleico, ainda em 100% a concentração de CLA e 9% a concentração de ômega 3 (CAROPRESE, et al., 2010). A adição de 19 g de linhaça inteira  $\text{kg}^{-1}$  MS não influenciou o consumo de alimento e produção de leite e, apesar de não alterar os teores de gordura, mostrou-se suficiente para melhorar a composição da gordura do leite, uma vez que, aumentou o teor de AGPI e AGMI em 8%, reduziu o teor de AGS em 5%, também do ácido mirístico e palmítico em 19 e 30%, respectivamente. Dentre os AGI aumentou o ácido oleico em 7%, o C18:2 *trans*-10, *cis*-12 em 50% e ômega 3 em 5% (CAROPRESE, et al., 2017).

O fornecimento de oleaginosas inteiras, devido a casca, tende a dificultar a utilização dos nutrientes pelos animais. Por outro lado, no caso dos ruminantes, o grão inteiro, se apresenta como uma forma de proteção contra a biohidrogenação dos AGPI pelas bactérias ruminais. Quando quebrado ou moído os nutrientes do grão podem ser mais rapidamente degradados no rúmen e os AGPI mais facilmente biohidrogenados. O processo de biohidrogenação acontece porque os AGPI são tóxicos a algumas bactérias ruminais, que então os convertem em AGS e, conseqüentemente, pode haver uma redução na transferência dos AGPI dos alimentos da dieta para o leite. Por outro lado, a quebra ou moagem pode contribuir para aumentar a disponibilidade dos AG para absorção intestinal e transferência ao leite, como resultado de uma taxa de passagem mais rápida para fora do rúmen, o que aumentaria as concentrações de AGPI no leite. Ainda pode haver a biohidrogenação parcial dos AGPI, o que no caso do ácido linoleico (ômega 6) dá origem ao ácido rumênico.

Assim, estudos que avaliaram a moagem da linhaça mostraram que o fornecimento de 100 e 120 g de linhaça moída  $\text{kg}^{-1}$  MS na dieta de vacas, no terço médio de lactação não altera a produção e concentração da gordura do leite, a produção de leite e consumo de alimento (SILVA, et al., 2007; ISENBERG, et al., 2019), entretanto, melhora na composição da gordura. O fornecimento de 10% de linhaça moída reduziu em 12% a concentração de AGS, aumentou a concentração de AGI em 23%, de ácido rumênico em 4%, oleico em 34%, C18:2 *trans*-10, *cis*-12 em 100% e ômega 3 em 75%, quando comparado ao leite de vacas suplementadas com milho e farelo de soja (ISENBERG et al., 2019). O fornecimento de 120 g de linhaça moída  $\text{kg}^{-1}$  MS aumentou a concentração de AGPI em 25%, ômega 3 em 34% e ácido rumênico em 35%; além de reduzir em 2% a concentração de AGS, e 5% a concentração do ácido esteárico, quando comparado ao de leite de vacas alimentadas com linhaça inteira (SILVA, et al., 2007). Já o fornecimento de 150 g de linhaça moída  $\text{kg}^{-1}$  MS a vacas no meio da lactação reduziu em 5% e 6% o consumo de alimento e a produção

de leite, respectivamente. Entretanto, melhorou a composição do leite reduzindo o teor de AGS em 20%, do ácido mirístico em 40% e do ácido palmítico em 42%. A concentração de AGPI aumentou em 107%, bem como, a concentração de ômega 3 em 89%, ácido rumênico em 85% (RESENDE et al., 2015).

Estudos com o fornecimento de farelo de linhaça a vacas no terço médio de lactação mostram também não haver alteração na produção de leite, gordura e consumo de alimento, havendo melhoria na qualidade da gordura do leite. O fornecimento de 12% de farelo de linhaça não alterou a produção de leite, teores de gordura e não promoveu alterações importantes na composição dos ácidos graxos, porém, aumentou o consumo de alimento em 5% (LIMA et al., 2014). O mesmo estudo avaliou o fornecimento de 250g dia<sup>-1</sup> de óleo de linhaça e mostrou que o óleo protegido da degradação ruminal reduziu o consumo de alimento em 3% sem alterar a produção de leite e de gordura. O óleo melhorou a composição da gordura aumentando a concentração de ômega 3 em 91%, de AGPI em 232% saltando de 38g/100g de gordura para 126g/100g e reduziu AGS em 11%.

O fornecimento de 50 a 150 g de farelo de linhaça kg<sup>-1</sup> MS não alterou a produção de leite e teores de gordura, entretanto, o fornecimento de 150g de farelo kg<sup>-1</sup> MS aumentou em 5% o consumo de alimento quando comparado as vacas que não receberam (PETIT & GAGNON, 2009; SCHOGOR et al., 2013; DE MARCHI et al., 2017). A adição de 110 g kg<sup>-1</sup> de farelo de linhaça e de linhaça inteira não alteram o consumo, produção de leite e gordura, promovendo também poucas alterações na proporção dos ácidos graxos, sendo que o efeito mais evidenciado foi na concentração de ômega 3, onde tanto o farelo quanto a linhaça inteira promoveram aumento de 69%, em comparação aos animais que não receberam linhaça (PETIT et al., 2009a).

Um estudo (BENCHAAR et al., 2014) conduzido com vacas no terço médio de lactação, para avaliar a influência da proporção volumoso:concentrado (70:30 *versus* 30:70) na resposta do fornecimento de linhaça inteira (2 kg dia<sup>-1</sup>) ou do óleo (700 g dia<sup>-1</sup> - 30 g kg<sup>-1</sup> do total de MS ingerida), mostrou que independente da proporção volumoso:concentrado, o fornecimento de 700 g dia<sup>-1</sup> de óleo de linhaça aumentou em 11% o consumo de MS. Da mesma forma, aumentou a produção de leite em 7% e reduziu a concentração de gordura no leite em 9%, quando comparado ao fornecimento de linhaça inteira. Também independente da proporção volumoso:concentrado, o óleo de linhaça aumentou a concentração de AGI em 25% e do ácido rumênico em 133%, e resultou ainda em uma concentração 14% menor de AGS do que o fornecimento de linhaça inteira. Outros trabalhos (BROSSILLON et al., 2018; PI et al., 2016) usando 30 e 40 g de óleo de linhaça kg<sup>-1</sup> MS na dieta têm mostrado não alterar a ingestão de alimento, porém mostram melhor eficiência alimentar e melhoria na qualidade do leite. O fornecimento de 30 g de óleo de linhaça kg<sup>-1</sup> MS da dieta não alterou o consumo, mas aumentou a produção de leite kg<sup>-1</sup> de MS ingerida em 11%, sem alterar a produção e concentração de gordura do leite. O fornecimento do óleo aumentou ainda a concentração de AGPI em 24%, do ácido butírico em 3%, em 58% o ácido rumênico

e 26% o ômega 3, e reduziu AGS em 23% em comparação ao não fornecimento de óleo (BROSSILLON et al., 2018)

## **3.1 PRODUÇÃO DE LEITE ENRIQUECIDO EM LIGNANAS VIA FORNECIMENTO DE LINHAÇA**

### **3.1 As lignanas da linhaça**

O grão de linhaça, especialmente a porção fibrosa (casca), é rico em compostos fenólicos: ácidos fenólicos (ferúlico, clorogênico, gálico, cumárico), flavonoides (flavonas) e lignanas (seicosolaricireinol diglucosidase, lariciresinol, matairesinol). Entre estes, as lignanas são os mais abundantes e a linhaça é o alimento mais rico nestes compostos (9 e 30 mg g<sup>-1</sup>), podendo apresentar concentração de 75 a 800 vezes maior que em outras oleaginosas, cereais, leguminosas, frutas e vegetais (LIMA et al., 2014). Outros grupos de compostos fenólicos de menor importância como fenóis simples, cumarinas, isocumarinas, naftoquinonas, xantonas, estilbenos, antraquinonas, ligninas e taninos também estão presentes, porém em menor concentração.

As lignanas são estruturalmente caracterizadas pela presença de duas unidades fenilpropanóides. São também classificadas como fitoestrógenos por apresentarem estrutura similar ao estradiol e podem participar de uma série de funções biológicas, incluindo fraca atividade estrogênica e cardioprotetivas, e apresentam propriedades antiestrogênicas, antioxidantes, anti-inflamatórias e anticarcinogênicas.

A linhaça possui três tipos diferentes de lignanas, também chamadas de lignanas vegetais. São eles pinoresinol, patairesinol e secoisolaricireinol diglucosídeo (SDG). O SDG corresponde a cerca de 95% do total de lignanas na linhaça (THOMPSON, et al., 1991) e, por este motivo, as pesquisas são mais focadas no metabolismo e efeitos do SDG em estudos que envolvem linhaça.

### **3.2 O metabolismo de lignanas no organismo da vaca leiteira**

Após a ingestão, mesmo que por diferentes vias metabólicas, as três lignanas contidas no grão de linhaça são convertidas por microrganismos que colonizam o trato gastrointestinal em produto comum (Figura 1), enterolignana ou lignana mamífera, denominado de enterolactona. Em humanos e animais não-ruminantes este metabolismo ocorre, principalmente, no intestino grosso (THOMPSON et al., 1991). Desta forma, a absorção da enterolactona é menos eficiente porque é produzida nas porções finais do trato gastrointestinal. Diferentemente, em ruminantes tal conversão ocorre principalmente no ambiente ruminal (GAGNON et al., 2009) o que torna a enterolactona relativamente mais passível de absorção. Dada a grande variedade de microrganismos e a alta complexidade das inter-relações entre eles durante a fermentação ruminal, é muito difícil estabelecer com precisão todos os microrganismos e etapas envolvidos na conversão

de SDG em enterolactona, sendo ainda necessários muitos estudos para trazer mais clareza às bases fisiológicas deste processo em ruminantes. No entanto, alguns estudos já realizados apresentam informações que podem servir de direcionamento no entendimento do metabolismo ruminal de lignanas da linhaça. Por exemplo, SCHOGOR et al. (2014), observaram em estudo *in vivo* que bactérias do gênero *Prevotella* têm importante papel na conversão de SDG em SECO. Tal resultado foi corroborado por outro ensaio *in vitro* realizado pelos mesmos pesquisadores (SCHOGOR et al., 2014). Neste mesmo ensaio foi observado que as bactérias *Butyrivibrio fibrisolvens* e *Peptostreptococcus anaerobius* também apresentam atividade de conversão de SDG em SECO.

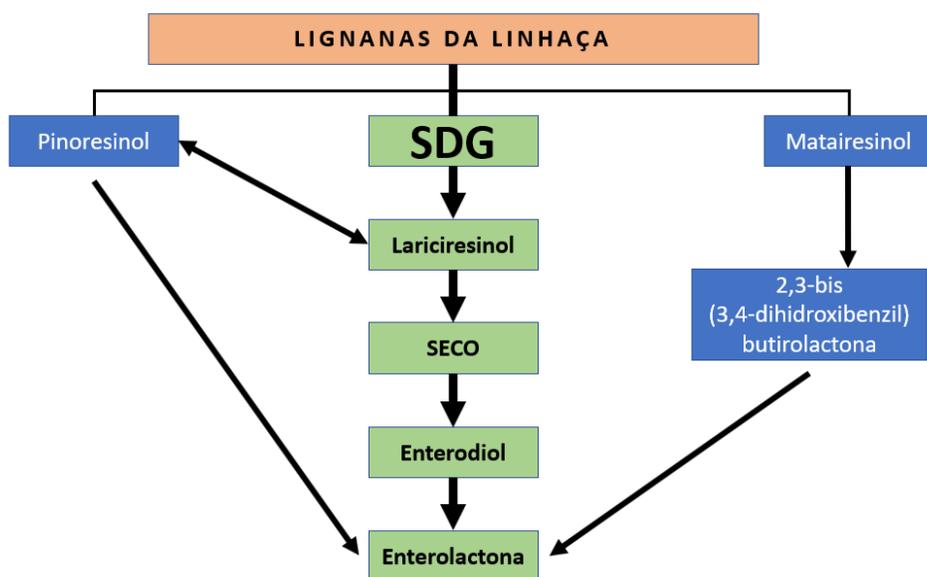


Figura 1. Vias metabólicas para a produção de enterolignanas a partir de lignanas da linhaça pelos microrganismos no intestino humano. SDG = secoisolariciresinol diglucosídeo; SECO = secoisolariciresinol. Adaptado de BRITO & ZANG (2018).

### 3.3 Efeitos do fornecimento de linhaça e seus produtos para vacas leiteiras sobre a composição de lignanas no leite

Em comparação a trabalhos que avaliam o efeito do fornecimento de linhaça sobre a composição da gordura do leite, há poucos trabalhos na literatura que tenham estudado a concentração de enterolactona no leite. Tais trabalhos foram coordenados, principalmente, por pesquisadores canadenses e abordam o uso do grão de linhaça integral e de produtos derivados como o farelo e a casca. A seguir são resumidos os principais resultados de tais estudos.

Visando avaliar os efeitos do fornecimento de grão de linhaça integral na ração de

vacas leiteiras, PETIT et al. (2009a), realizou um estudo incluindo 111 g de linhaça integral  $\text{kg}^{-1}$  MS da ração de vacas leiteiras no meio da lactação. Neste estudo, a ingestão de MS e a produção de leite não foram alteradas. No entanto, a concentração de enterolactona no leite observada para os animais que receberam o tratamento contendo linhaça foi quase três vezes maior em relação aos animais submetidos ao tratamento controle (18,33 vs. 6,60  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente). Em outro estudo (PETIT & GAGNON, 2009b) no qual foram avaliados os efeitos de níveis crescentes (0, 50, 100 e 150 g  $\text{kg}^{-1}$  de MS) de linhaça integral na ração total misturada de vacas leiteiras, foi observada tendência para aumento linear na concentração de enterolactona no leite sem alterações na ingestão de MS e produção de leite. Tais resultados sugerem que para aumentar a concentração de enterolactona no leite, o fornecimento de linhaça integral na alimentação de vacas leiteiras, até o nível de 150 g  $\text{kg}^{-1}$  MS, é eficaz.

O farelo de linhaça é o produto gerado durante o processo de extração do óleo e é utilizado como fonte de proteína na alimentação animal, especialmente na ração de ruminantes. Com a retirada do óleo, o farelo de linhaça apresenta concentração de lignanas relativamente maior que a do grão integral. Isto também desperta o interesse em seu potencial de transferência de lignanas para o leite quando utilizado na alimentação de vacas leiteiras. Com este propósito, a inclusão de 94 g de farelo de linhaça  $\text{kg}^{-1}$  MS de ração foi avaliada por PETIT et al. (2009a), no mesmo estudo em que a inclusão de grão integrais de linhaça foi estudada. Assim como para os grãos, o farelo de linhaça aumentou em quase três vezes a concentração de enterolactona no leite em relação ao tratamento controle (18,41 *versus* 6,60  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente) sem alterar a ingestão de MS e a produção de leite. No entanto, é importante destacar que não foram observadas diferenças entre o fornecimento do grão integral ou de farelo em relação à concentração de enterolactona no leite.

Também utilizando farelo de linhaça, LIMA et al. (2015) observaram um aumento de 5,5 vezes na concentração de enterolactona no leite de vacas suplementadas com 124 g de farelo de linhaça  $\text{kg}^{-1}$  de ração em comparação ao tratamento controle (244 *versus* 44,5 nM, respectivamente) sem modificar a produção de leite, mas com aumento na ingestão de MS. BRITO et al. (2015). também observaram aumento expressivo na concentração de enterolactona no leite de vacas alimentadas com farelo de linhaça (160 g  $\text{kg}^{-1}$  MS) sem modificação na ingestão de MS e na produção de leite. Estes autores observaram também que o perfil de carboidratos não estruturais da ração pode influenciar na concentração de enterolactona no leite. Neste estudo, o fornecimento de melão líquido teve um efeito aditivo sobre o efeito do farelo de linhaça na concentração de enterolactona no leite. Isto foi justificado pelos autores como sendo o produto de uma possível seleção, promovida pelo melão líquido, sobre os microrganismos do rúmen promovida em favor daqueles com maior capacidade de conversão de lignanas vegetais em enterolactona. Em outros dois estudos (SCHOGOR et al., 2017; PETIT & GAGNON, 2009b) realizados com vacas

alimentadas com diferentes níveis de farelo de linhaça na ração (0, 50, 100 e 150 g kg<sup>-1</sup> MS) foi observado aumento linear da concentração de enterolactona no leite em função dos tratamentos sem que a ingestão de MS e a produção de leite fossem modificadas.

Um outro estudo (GAGNON et al., 2009) foi desenvolvido para determinar o período necessário para obtenção do pico na concentração de enterolactona no leite de vacas alimentadas com farelo de linhaça (189,4 g kg<sup>-1</sup> MS) e o período de retorno aos níveis basais de enterolactona no leite quando as vacas retornam ao nível de ingestão baixo em SDG oriundo do farelo de linhaça. Neste estudo foi observado que a conversão de SDG em enterolactona e a transferência para a glândula mamária é estabelecida após uma semana de alimentação e que a concentração retorna a níveis basais (semelhante à concentração no leite de animais não suplementados com linhaça) após uma semana sem suplementação. É importante ressaltar que neste estudo também não foram observadas alterações na ingestão de MS (% do peso corporal) e na produção de leite.

A casca de linhaça (tegumento do grão) é um produto obtido industrialmente durante a separação dos cotilédones, geralmente, via método abrasivo e representa cerca de 27% do peso do grão maduro (HERCHI et al., 2014). Este produto tem muito potencial de utilização na produção de leite enriquecido com enterolactona por se tratar do componente que concentra a maior parte do SDG do grão (32 nmol.mg<sup>-1</sup> versus 9,2 nmol.mg<sup>-1</sup> no grão inteiro) (CÔRTEZ, et al., 2008). Em um estudo (CÔRTEZ et al., 2013) no qual a casca de linhaça foi incluída na proporção de 98,8 g kg<sup>-1</sup> MS na ração de vacas leiteiras, foi observado concentração de enterolactona no leite 3,25 vezes maior em relação ao grupo controle (0,078 versus 0,024 μmol L<sup>-1</sup>, respectivamente) sem mudança na ingestão de MS e produção de leite. Resultado semelhante foi observado em outro estudo (CÔRTEZ, et al., 2012) no qual 152 g de casca de linhaça<sup>-1</sup>kg MS foram fornecidos para vacas leiteiras que apresentaram 0,36 μmol de enterolactona L<sup>-1</sup> de leite enquanto as vacas alimentadas com a ração controle, apresentaram média de 0,06 μmol L<sup>-1</sup>. Em outro estudo (PETIT & GAGNON, 2011) realizado com vacas alimentadas com diferentes níveis de casca de linhaça na ração (0, 50, 100, 150 e 200 g kg<sup>-1</sup> MS) foi observado aumento linear na concentração de enterolactona no leite em função dos tratamentos sem alteração na ingestão de MS e produção de leite.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de práticas alimentares que propiciem a produção de leite naturalmente enriquecido por compostos bioativos deve ser alcançado sem que outros parâmetros (produção total de leite e concentração de gordura no leite) que são também de grande importância e que impactam na renda do produtor sejam prejudicados. Neste contexto, os estudos mostram que a linhaça é uma boa opção alimentar para vacas leiteiras.

Em relação à modificação da composição da gordura do leite (ácidos graxos com

propriedades biotivas), observa-se que, de maneira geral, o fornecimento de linhaça integral a partir de 19 g kg<sup>-1</sup> de MS da ração já apresenta efeitos positivos em relação à concentração de AGMI e AGPI. Efeitos mais pronunciados em relação à concentração de AGMI e AGPI, incluindo CLA, são observados a partir do fornecimento de 50 g de linhaça integral kg<sup>-1</sup> MS. Os estudos mostram que, em geral, até o nível de inclusão de 150 g de linhaça integral kg<sup>-1</sup> MS não há alteração significativa da ingestão de MS, produção de leite e concentração de gordura no leite. Quanto ao fornecimento do grão de linhaça moído, a inclusão até 120 g kg<sup>-1</sup> MS é o nível estudado que alia melhorias na composição da gordura do leite (AGMI, AGPI e CLA) e manutenção do nível de ingestão, produção de leite e concentração de gordura no leite.

Em relação à produção de leite naturalmente enriquecido em enterolactona, tanto a linhaça integral quanto o farelo e a casca são apresentados consistentemente nos estudos como meios de obtenção de tal produto sem que afetem a ingestão de MS, produção de leite e concentração de gordura no leite de vacas leiteiras. De maneira geral, um leite naturalmente enriquecido com enterolactona pode ser obtido com o fornecimento de até 150 g de linhaça integral kg<sup>-1</sup> MS, até 200 g de farelo de linhaça kg<sup>-1</sup> MS ou até 200 g de casca de linhaça kg<sup>-1</sup> MS sem que a ingestão de MS, a produção de leite ou a porcentagem de gordura sejam alterados significativamente. É importante também destacar que o efeito da linhaça e seus produtos na concentração de enterolactona no leite de vacas é linear positivo até os níveis aqui recomendados e que os animais precisam receber a linhaça ou seus produtos por uma semana até que os níveis de enterolactona sejam significativamente aumentados no leite.

## REFERÊNCIAS

- BAUMAN, D.E.; GRINARI, J.M. Nutritional regulation of milk fat synthesis. **Annual review of nutrition**. v.23, p.203-227. 2003.
- BENCHAAR, C.; MCALLISTER, T.A.; PETIT, H.V.; CHOUINARD, P.Y. Whole flax seed and flax oil supplementation of dairy cows fed high-forage or high-concentrate diets: Effects on digestion, ruminal fermentation characteristics, protozoal populations and milk fatty acid profile. **Animal Feed Science and Technology**. v.1, n.198, p.117-129. 2014.
- BRITO, A.F.; PETIT, H.V.; PEREIRA, A.B.; SODER, K.J.; ROSS, S. Interactions of corn meal or molasses with a soybean-sunflower meal mix or flaxseed meal on production, milk fatty acid composition, and nutrient utilization in dairy cows fed grass hay-based diets. **Journal of Dairy Science**. v.98, n.1, p.443-457. 2015.
- BRITO, A.F.; ZANG, Y. A Review of Lignan Metabolism, Milk Enterolactone Concentration, and Antioxidant Status of Dairy Cows Fed Flaxseed. **Molecules**. v.24, n.1, p.41. 2018.
- BROSSILLON, V.; REIS, S.F.; MOURA, D.C.; GALVÃO, J.G.B.; OLIVEIRA, A.S.; CÔRTEZ, C.; BRITO, A.F. Production, milk and plasma fatty acid profile, and nutrient utilization in Jersey cows fed flaxseed oil and corn grain with different particle size. **Journal of Dairy Science**. v.101, n.3, p.2127-2143. 2018.

- CAI, Q.; HUANG, H.; QIAN, D.; CHEN, K.; LUO, J.; TIAN, Y.; LIN, T.; LIN, T. 13-Methyltetradecanoic Acid Exhibits Anti-Tumor Activity on T-Cell Lymphomas In Vitro and In Vivo by Down-Regulating p-AKT and Activating Caspase-3. **PLoS ONE**. v.8, n.6, e65308. 2013
- CAROPRESE, M.; MANCINO, R.; CILIBERTI, M.G.; DI LUCCIA, A.; LA GATTA, B.; ALBENZIO, M. Fatty acid profile and coagulating ability of milk from Jersey and Friesian cows fed whole flaxseed. **Journal of Dairy Research**. v.84, n.1, p.14-22. 2017.
- CAROPRESE, M.; MARZANO, A.; MARINO, R.; GLIATTA, G.; MUSCIO, A.; SEVI, A. Flaxseed supplementation improves fatty acid profile of cow milk. **Journal of Dairy Science**. v.93, n.6, p.2580-2588. 2010.
- CHURRUCA, I.; FERNÁNDEZ-QUINTELA, A.; PORTILLO, M.P. Conjugated linoleic acid isomers: Differences in metabolism and biological effects. **Biofactors**. v.35, n.1, p.105-111. 2009.
- CÔRTEZ, C.; GAGNON, N.; BENCHAAAR, C.; SILVA, D.; SANTOS, G.T.; PETIT, H.V. In vitro metabolism of flax lignans by ruminal and faecal microbiota of dairy cows. **Journal of applied microbiology**. v.105, n.5, p.1585-1594. 2008.
- CÔRTEZ, C.; PALIN, M.F.; GAGNON, N.; BENCHAAAR, C.; LACASSE, P.; PETIT, H.V. Mammary gene expression and activity of antioxidant enzymes and concentration of the mammalian lignan enterolactone in milk and plasma of dairy cows fed flax lignans and infused with flax oil in the abomasum. **The British Journal of Nutrition**. v.108, n.8, p.1390-1398. 2012.
- CÔRTEZ, C.; SILVA-KAZAMA, D.; KAZAMA, R.; BENCHAAAR, C.; SANTOS, G.; ZEOULA, L.M.; GAGNON, N.; PETIT, H.V. Effects of abomasal infusion of flaxseed (*Linum usitatissimum*) oil on microbial  $\beta$ -glucuronidase activity and concentration of the mammalian lignan enterolactone in ruminal fluid, plasma, urine and milk of dairy cows. **British Journal of Nutrition**. v.109, n.3, p.433-440. 2013.
- DE MARCHI, F.E.; SANTOS, G.T.; PETIT, H.V.; BENCHAAAR, C. Oxidative status of dairy cows fed flax meal and infused with sunflower oil in the abomasum. **Animal Feed Science and Technology**. v.1, n.228, p.115-122. 2017.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO**, 1997. 2019. Disponível em: <<https://search.library.wisc.edu/catalog/999890171702121>>. Acesso em: 10 de fev. de 2021.
- GAGNON, N.; CÔRTEZ, C.; PETIT, H.V. Weekly excretion of the mammalian lignan enterolactone in milk of dairy cows fed flaxseed meal. **The Journal of dairy research**. v.76, n.4, p.455-458. 2009.
- GAGNON, N.; CÔRTEZ, C.; SILVA, D.; KAZAMA, R.; BENCHAAAR, C.; SANTOS, G.; ZEOULA, L.; PETIT, H.V. Ruminal metabolism of flaxseed (*Linum usitatissimum*) lignans to the mammalian lignan enterolactone and its concentration in ruminal fluid, plasma, urine and milk of dairy cows. **The British Journal of Nutrition**. v.102, n.7, p.1015-1023. 2009.
- HA, Y.L.; GRIMM, N.K.; PARIZA, M.W. Anticarcinogens from fried ground beef: Heat-altered derivatives of linoleic acid. **Carcinogenesis**. v.8, n.12, p.1881-1887. 1987.
- HERCHI, W.; AL HUJAILI, A.D.; SAKOUHI, F.; SEBEI, K.; TRABELSI, H.; KALLEL, H.; BOUKHCHINA, S. Flaxseed Hull: Chemical Composition and Antioxidant Activity during Development. **Journal of Oleo Science**. v.63, n.7, p.681-689. 2014.

ISENBERG, B.J.; SODER, K.J.; PEREIRA, A.B.D.; STANDISH, R.; BRITO, A.F. Production, milk fatty acid profile, and nutrient utilization in grazing dairy cows supplemented with ground flaxseed. **Journal of Dairy Science**. v.102, n.2, p.1294-1311. 2019.

JUTZELER, V.A.N.; WIJLEN, R.P.; COLOMBANI, P.C. Grass-based ruminant production methods and human bioconversion of vaccenic acid with estimations of maximal dietary intake of conjugated linoleic acids. **International Dairy Journal**. v.20, p.433-48. 2010.

KAJLA, P.; SHARMA, A.; SOOD, D.R. Flaxseed-a potential functional food source. **Journal of Food Science and Technology**. v52, n.4, p.1857-1871. 2015.

KLEBER, M.E.; DELGADO, G.E.; LORKOWSKI, S.; MÄRZ, W.; VON SCHACKY, C. Trans -fatty acids and mortality in patients referred for coronary angiography: the Ludwigshafen Risk and Cardiovascular Health Study. **European Heart Journal**. v.37, n.13, p.1072-1078. 2016.

KRATZ, M.; BAARS, T.; GUYENET, S. The relationship between high-fat dairy consumption and obesity, cardiovascular, and metabolic disease [Internet]. Vol. 52, **European Journal of Nutrition**. v.52, n.1, p.1-24. 2013.

KRIS-ETHERTON, P.M.; RICHTER, C.K.; BOWEN, K.J.; SKULAS-RAY, A.C.; JACKSON, K.H.; PETERSEN, K.S.; HARRIS, W.S. Recent Clinical Trials Shed New Light on the Cardiovascular Benefits of Omega-3 Fatty Acids. **Methodist DeBaakey cardiovascular Journal**. v.15, n.3, p.171-178. 2019.

LIANG, J.; ZHOU, Q.; KWAME AMAKYE, W.; SU, Y.; ZHANG, Z. Biomarkers of dairy fat intake and risk of cardiovascular disease: A systematic review and meta analysis of prospective studies. **Crit. Ver. Food Sci. Nutr**. v.58, n.7, p.1122-1130. 2018.

LIMA, L.S.; PALIN, M.F.; SANTOS, G.T.; BENCHAAR, C.; LIMA, L.C.R.; CHOUINARD, P.Y.; LIMA, L.C.R.; PETIT, H.V. Effect of flax meal on the production performance and oxidative status of dairy cows infused with flax oil in the abomasum. **Livestock Science**. v.170, p.53-62. 2014.

MARCHI, F.E.; PALIN, M.F.; SANTOS, G.T.; LIMA, L.S.; BENCHAAR, C.; PETIT, H.V. Flax meal supplementation on the activity of antioxidant enzymes and the expression of oxidative stress- and lipogenic-related genes in dairy cows infused with sunflower oil in the abomasum. **Animal Feed Science and Technology**. v.199, p. 41-50. 2015.

MORGAN, N.G.; DHAYAL, S. Unsaturated fatty acids as cytoprotective agents in the pancreatic B-cell. **Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids**. v.82, n.4-6, p.231-236. 2010.

NAGAO, K.; YANAGITA, T. Medium-chain fatty acids: Functional lipids for the prevention and treatment of the metabolic syndrome. **Pharmacological Research**. v.61, n.3, p.208-212. 2010.

O'CALLAGHAN, T.F.; MANNION, D.; APOPEI, D.; MCCARTHY, N.A.; HOGAN, S.A.; KILCAWLEY, K.N.; EGAN, M. Influence of Supplemental Feed Choice for Pasture-Based Cows on the Fatty Acid and Volatile Profile of Milk. **Foods**. v.8, n.4, p.137. 2019.

PETIT, H.V. Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed whole flaxseed. **Journal of Dairy Science**. v.85, n.6, p.1482-1490. 2002.

PETIT, H.V. Review: Feed intake, milk production and milk composition of dairy cows fed flaxseed. **Canadian Journal of Animal Science**. v.90, n.2, p.115-127. 2010.

PETIT, H.V.; Antioxidants and dairy production: the example of flax. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.38, s.1, p.352-61. 2009.

PETIT, H.V.; BENCHAAAR, C. Milk production, milk composition, blood composition, and conception rate of transition dairy cows fed different profiles of fatty acids. **Canadian Journal of Animal Science**. v.87, n.4, p.591-600. 2007.

PETIT, H.V.; GAGNON, N. Concentration of the mammalian lignans enterolactone and enterodiol in milk of cows fed diets containing different concentrations of whole flaxseed. **Animal**. v.3, n.10, p.1428-1435. 2009b.

PETIT, H.V.; GAGNON, N. Milk concentrations of the mammalian lignans enterolactone and enterodiol, milk production, and whole tract digestibility of dairy cows fed diets containing different concentrations of flaxseed meal. **Animal Feed Science and Technology**. v.152, n.1-2, p.103-111. 2009a.

PETIT, H.V.; GAGNON, N. Production performance and milk composition of dairy cows fed different concentrations of flax hulls. **Animal Feed Science and Technology**. v.169, n.1-2, p.4652. 2011.

PETIT, H.V.; GAGNON, N.; MIR, P.S.; CAO, R.; CUI, S. Milk concentration of the mammalian lignan enterolactone, milk production, milk fatty acid profile, and digestibility in dairy cows fed diets containing whole flaxseed or flaxseed meal. **The Journal of dairy research**. v.76, n.3, p.257-264. 2009.

PETIT, H.V.; GERMIQUET, C.; LEBEL, D. Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition, and prostaglandin secretion in dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v.87, n.11, 3889-3898. 2004.

PFEUFFER, M.; JAUDSZUS, A. Pentadecanoic and heptadecanoic acids: Multifaceted odd-chain fatty acids. **Advances in Nutrition**. v.7, n.4, p.730-734. 2016.

PI, Y.; GAO, S.T.; MA, L.; ZHU, Y.X.; WANG, J.Q.; ZHANG, J.M.; XU, J.C.; BU, D.P. Effectiveness of rubber seed oil and flaxseed oil to enhance the  $\alpha$ -linolenic acid content in milk from dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v.99, n.7, p.5719-5730. 2016.

PRAAGMAN, J.; BEULENS, J.W.J.; ALSSEMA, M.; ZOOCK, P.L.; WANDERS, A.J.; SLUIJS, I.; SCHOUW, Y.T.V.D. The association between dietary saturated fatty acids and ischemic heart disease depends on the type and source of fatty acid in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Netherlands cohort. **American Journal of Clinical Nutrition**. v.103, n.2, p.356-365. 2016.

RESENDE, T.L.; KRAFT, J.; SODER, K.J.; PEREIRA, A.B.D.; WOITSCHACH, D.E.; REIS, R.B.; BRITO, A.F. Incremental amounts of ground flaxseed decrease milk yield but increase n-3 fatty acids and conjugated linoleic acids in dairy cows fed high-forage diets. **Journal of Dairy Science**. v.98, n.7, p.4785-4799. 2015.

RISÉRUS, U.; MARKLUND, M. Milk fat biomarkers and cardiometabolic disease. **Current Opinion in Lipidology**. v.28, n.1, p.45-5. 2017.

SALES-CAMPOS, H.; SOUZA, P.R.; PEGHINI, B.C.; SILVA, J.S.; CARDOSO, C.R. An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease. **Mini reviews in medicinal chemistry**. v.13, n.2, p.201-210. 2013.

SCHOGOR, A.L.; HUWS, S.A.; SANTOS, G.T.; SCOLLAN, N.D.; HAUCK, B.D.; WINTERS, A.L.; KIM, E.J.; PETIT, H.V. Ruminant *Prevotella* spp. may play an important role in the conversion of plant lignans into human health beneficial antioxidants. **PLoS One**. v.9, n.4, e87949. 2014.

SCHOGOR, A.L.B.; PALIN, M.F.; SANTOS, G.T.; BENCHAAAR, C.; LACASSE, P.; PETIT, H.V. Mammary gene expression and activity of antioxidant enzymes and oxidative indicators in the blood, milk, mammary tissue and ruminal fluid of dairy cows fed flax meal. **The British Journal of Nutrition**. v.110, n.10, p.1743-1750. 2013.

SCHOGOR, A.L.B.; PALIN, M.F.; SANTOS, G.T.; BENCHAAAR, C.; PETIT, H.V.  $\beta$ -glucuronidase activity and enterolactone concentration in ruminal fluid, plasma, urine, and milk of Holstein cows fed increased levels of flax (*Linum usitatissimum*) meal. **Animal Feed Science and Technology**. n.223, p.23-29. 2017.

SCHÖNFELD, P.; WOJTCZAK, L. Short- and medium-chain fatty acids in energy metabolism: The cellular perspective. **Journal of Lipid Research**. v.57, n.6, p.943-954. 2016.

SHINGFIELD, K.J.; BONNET, M.; SCOLLAN, N.D. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. **Animal**. v.7 s.1, p.132-162. 2013.

SILVA, D.C.; SANTOS, G.T.; BRANCO, A.F.; DAMASCENO, J.C.; KAZAMA, R.; MATSUSHITA, M.; HORST, J.A.; SANTOS, W.B.R.; PETIT, H.V. Production performance and milk composition of dairy cows fed whole or ground flaxseed with or without monensin. **Journal of Dairy Science**. v.90, n.6, p.2928-2936. 2007.

SIMON, J.A.; CHEN, Y.H.; BENT, S. The relation of  $\alpha$ -linolenic acid to the risk of prostate cancer: A systematic review and meta-analysis. **American Journal of Clinical Nutrition**. v.89, n.5, p.1558-1564. 2009.

SIRI-TARINO, P.W.; CHIU, S.; BERGERON, N.; KRAUSS, R.M. Saturated Fats Versus Polyunsaturated Fats Versus Carbohydrates for Cardiovascular Disease Prevention and Treatment. **Annual Review of Nutrition**. v.35, p.517-543. 2015.

SOITA, H.W.; MEIER, J.A.; FEHR, M.; YU, P.; CHRISTENSEN, D.A.; MCKINON, J.J.; MUSTAFA, A.F. Effects of flaxseed supplementation on milk production, milk fatty acid composition and nutrient utilization by lactating dairy cows. **Arch. Tierernahr**. v.57, n.2, p.107-116. 2003.

THOMPSON, L.U.; ROBB, P.; SERRAINO, M.; CHEUNG, F. Mammalian Lignan Production From Various Foods. **Nutrition and Cancer**. v.16, n.1, p.43-52. 1991.

THORNING, T.K.; BERTRAM, H.C.; BONJOUR, J.P.; GROOT, L.; DUPONT, D.; FEENEY, E.; IPSEN, R.; LECERF, J.M.; MACKIE, A.; MCKINLEY, M.C.; MICHALSKI, M.C.; RÉMOND, D.; RISÉBUS, U.; SOEDAMAH-MUTHU, S.S.; THOLSTRUP, T.; WEAVER, C.; ASTRUP, A.; GIVENS, I. Whole dairy matrix or single nutrients in assessment of health effects: Current evidence and knowledge gaps. **American Journal of Clinical Nutrition** v.105, n.5, p.1033-1045. 2017.

VILADOMIU, M.; HONTECILLAS, R.; BASSAGANYA-RIERA, J. Modulation of inflammation and immunity by dietary conjugated linoleic acid. **European Journal of Pharmacology**. v.785, p.87-95. 2016.

WEI J, HOU R, XI Y, KOWALSKI A, WANG T, YU Z, HU, Y.; CHANDRASEKAR, E.K.; SUN, H.; ALI, M.K. The association and dose-response relationship between dietary intake of  $\alpha$ -linolenic acid and risk of CHD: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. **British Journal of Nutrition**. v.119, n.1, p.83-89. 2018.

WONGTANGTINTHARN, S.; OKU, H.; IWASAKI, H.; TODA, T. Effect of branched-chain fatty acids on fatty acid biosynthesis of human breast cancer cells. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**. v.50, n.2, p.137-143. 2004.

YANG, Z.H.; MIYAHARA, H.; HATANAKA, A. Chronic administration of palmitoleic acid reduces insulin resistance and hepatic lipid accumulation in KK-Ay Mice with genetic type 2 diabetes. **Lipids in Health and Disease**. v.10, p.120. 2011.

ZANQUI, A.B.; MORAIS, D.R.; SILVA, C.M.; SANTOS, J.M.; GOMES, S.T.M.; VISENTAINER, J.V.; EBERLIN, M.N.; CARDOZO-FILHO, L.; MATSUSHITA, M. Subcritical extraction of flaxseed oil with n-propane: Composition and purity. **Food Chemistry**. v.188, p.452-458. 2015.

## SOBRE OS ORGANIZADORES

**JOÃO PEDRO VELHO** - Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria (2003). Mestre (2005) e Doutor em Zootecnia (2009) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. É Professor Associado II no Departamento de Zootecnia e Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Palmeira das Missões. Atua no Curso de Graduação em Zootecnia, UFSM/PM, e é docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Nutrição e Alimentação Animal, atuando principalmente nos seguintes temas: produção animal, consumo, metanálise, sistematização científica, silagem e produção forrageira.

**ALESSANDRO DAL'COL LÚCIO** - Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo (1994), mestrado em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (1997), doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) [Jaboticabal] pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1999) e pós-doutorado no Instituto Politécnico de Bragança [Portugal] (2015). É professor titular do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria. Atua no Curso de Graduação em Agronomia da UFSM, é docente permanente junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFSM e é líder do grupo de pesquisa Experimentação registrado no CNPq. Atualmente é associado e ocupa o cargo de Conselheiro da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria - RBRAS, é membro da The International Biometric Society, da Associação Brasileira de Horticultura - ABH e da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC. Editor de área (Estatística), nas revistas científicas Ciência Rural, Brazilian Journal of Biometrics, Sigmae e Revista Brasileira de Fruticultura. Integrante da Comissão de consultores da área de Ciências Agrárias I da CAPES, participando da avaliação de acompanhamento de Programas de Pós-graduação, na avaliação APCN e no Prêmio CAPES de Teses. Tem experiência na área de Probabilidade e Estatística, com ênfase em Experimentação Agrícola, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento de experimentos, precisão experimental, ambiente protegido, amostragem, regressão não-linear e variabilidade.



# LINHAÇA:

Perspectiva de Produção e Usos na  
Alimentação Humana e Animal

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# LINHAÇA:

Perspectiva de Produção e Usos na  
Alimentação Humana e Animal

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)