Estudo técnico-científico
sobre a viabilidade
de utilização do

farelo de algodão na alimentação animal

ABRIL/2025

ABIOVE
Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

ABRAPA
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO

Embrapa

Relatório elaborado pela equipe da Embrapa Algodão, em atendimento ao Termo de Cooperação Técnica assinado entre a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - (ABIOVE) e a Associação Brasileira dos Produtores de Algodão - (Abrapa), com a interveniência da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento - (FAPED)

Autores

Daniel da Silva Ferreira
Coordenador – Analista em Fitotecnia e Sementes
daniel.ferreira@embrapa.br

Everaldo Paulo de Medeiros
Pesquisador em Fibras e Óleos Vegetais
everaldo.medeiros@embrapa.br

Frederico Olivieri Lisita
Pesquisador em Zootecnia
frederico.lisita@embrapa.br

João Paulo Saraiva Morais
Coordenador – Pesquisador em Fibras e Biopolímeros
joao.morais@embrapa.br

Manoel Francisco de Sousa
Pesquisador em Zootecnia
manoel-francisco.sousa@embrapa.br

Rosa Maria Mendes Freire
Pesquisadora em Química de Alimentos
rosa.freire@embrapa.br

Tarcisio Marcos de Souza Gondim
Pesquisador em Fitotecnia
tarcisio.gondim@embrapa.br

Índice

Estudo técnico-científico sobre a viabilidade de utilização do farelo de algodão na alimentação animal 1
Índice de Figuras 5
Índice de Tabelas 6
Sumário 7
1. Introdução 8
2. Processo de obtenção da torta e farelo de algodão 10
3. Composição química da torta e do farelo 15
4. Fatores antinutricionais 20
   4.1. Gossipol 20
   4.2. Polissacarídeos não -amiláceos (PNA) 22
5. Forma de uso do caroço de algodão na alimentação animal 23
6. Uso da torta e do farelo para alimentação animal 26
   6.1. Ruminantes 26
   6.2. Não-ruminantes 30
7. Efeito dos coprodutos de algodão no sabor da carne 37
8. Considerações finais 39
9. Referências bibliográficas 40

Índice de Figuras

Figura 1: Caroços de algodão após o descaroçamento. Ainda há uma camada de fibras curtas, chamadas línter, aderidas às cascas. Fonte: ABIOVE, 2024. 10

Figura 2: Casca de algodão separada da amêndoa. A casca é rica em fibras, enquanto a amêndoa é rica em óleo e proteína. Fonte: ABIOVE, 2024. 10

Figura 3: Torta de algodão prensada. Fonte: ABIOVE, 2024. 11

Figura 4: Torta de algodão moída. Fonte: ABIOVE, 2024. 12

Figura 5: Processo de fracionamento da biomassa do caroço do algodão (autoria própria). 13

Figura 6: Exemplo de farelo P38. Esse farelo possui 38% mínimo de proteína bruta. 15

Figura 7: Gado em confinamento comendo torta de algodão. 17

Figura 8: Glândulas de gossipol correspondentes aos pontos escuros (PANDEYA et al., 2023). 20

Figura 9: Gado em confinamento comendo torta de algodão. 21

Figura 10: Caroço de algodão no cocho. 23

Figura 11: Caroço de algodão inteiro. 24

Figura 12: Gado se alimentando de caroço de algodão. 26

Figura 13: Ovinos comendo torta de algodão. 29

Figura 14: O uso de torta e farelo de algodão vem crescendo em dietas para animais não ruminantes, mas a presença do gossipol ainda é um desafio. 30

Figura 15: Uso de farelo de algodão na psicultura é promissor, mas ainda carece de mais estudos. 35

Figura 16: Caroço de algodão utilizado, na medida adequada, em rações para bovinos de corte, em confinamento, não causa rejeição da carne. 37

Índice de Tabelas

Tabela 1: Comparação entre diferentes fontes de proteína vegetal, comumente usadas para a alimentação animal. 16

Tabela 2: Recomendação de inclusão de farelo de algodão em aves. 33

Tabela 3: Recomendação de inclusão de farelo de algodão em suínos. 34

Sumário

Com o aumento da população e da renda mundiais, também tende a aumentar o consumo de proteína animal. Dois grandes grupos de animais são os fornecedores dessa proteína: ruminantes e não -ruminantes. Ambos os grupos costumam ser alimentados com proteínas vegetais como a fonte de aminoácidos que usarão em suas próprias proteínas.

Há uma grande diversidade de fontes de proteínas vegetais, que podem ser extraídas de diferentes partes das plantas, como folhas ou sementes. Diferentes espécies animais têm diferentes necessidades nutricionais proteicas, sendo necessário balancear o conteúdo proteico de diferentes fontes para diferentes fontes de proteína animal. Uma fonte comumente usada na alimentação animal são as tortas/farelos vegetais.

O óleo de sementes oleaginosas pode ser removido por processos físicos ou químicos. O material que sobra após a extração mecânica do óleo é comumente chamada torta, e a da extração química, farelo. Há uma grande diversidade de tortas e farelos, com destaque para soja, canola, girassol e algodão.

Com o aumento da produção de algodão no Brasil, para atender às demandas por fibras têxteis, ocorre também, o aumento da produção de caroços. Esses caroços são esmagados para a produção de óleo vegetal, principalmente usado pelas indústrias e alimento, sanitária e energética. A torta e farelo de algodão são importantes fontes de proteína vegetal, tanto pelo preço quanto pela qualidade associada.

Assim, o objetivo deste relatório técnico é apresentar fatos técnicos sobre a torta e o farelo de algodão, mostrando suas potencialidades e embasando as decisões de compradores, quando forem comprar ingredientes para preparar rações para seus animais.

1. Introdução

O consumo estimado de algodão em 2025 é de 116,9 milhões de fardos de 230 kg, equivalente a quase 27 milhões de toneladas de pluma de algodão herbáceo (USDA, 2024). O rendimento em pluma do algodão herbáceo é variável, com registros que vão de 38% a 48% (VIRK; SNIDER; BOURLAND, 2023). Esses rendimentos de pluma indicam que o rendimento do caroço, constituído por línter, casca e amêndoa (FREIRE, 2004) varia de 62% a 52%. A amêndoa, por sua vez, é rica em óleo e proteína (KUMAR et al., 2021; RIAZ et al., 2023).

Os coprodutos agroindustriais são resíduos secundários gerados no processo de industrialização de produtos agrícolas, tal qual o algodão. A utilização dos coprodutos da cadeia produtiva do algodão associa-se perfeitamente com o aumento da busca pela intensificação dos sistemas produtivos da atividade pecuária, seja ela do setor dos monogástricos ou dos ruminantes, principalmente deste último. Pecuaristas utilizam cada vez mais o confinamento, semiconfinamento, sistema de recria, *free stall*, dentre outras alternativas de criação, onde a dieta dos animais é altamente exigente e fornecida basicamente em cocho, buscando a capacidade de transformar estes coprodutos em carne, leite, lã, pele e ovos.

O principal produto do cultivo do algodoeiro é a pluma, produzida para a indústria têxtil, e o óleo refinado, para a indústria alimentícia. Porém, da planta do algodão aproveita-se quase sua totalidade. Vários coprodutos são gerados e utilizados em grande escala na alimentação animal, especialmente na alimentação de ruminantes (bovinos, caprinos e ovinos). Dentre esses coprodutos destacam-se três: o caroço, a torta e o farelo de algodão, que são capazes de substituir outras diversas fontes nutricionais como os produtos das cadeias produtivas da soja e do milho. A porcentagem de línter, nas sementes de algodão, pode variar de 12% em variedades mais antigas de algodão herbáceo até 6-8,5% em variedades mais recentes (SCZOSTAK, 2009), indicando que 94-91,5% da massa do caroço é composta por casca e amêndoa. Tradicionalmente, o caroço inteiro de algodão é usado como alimentação para animais. Os primeiros registros de experimentos comparando o caroço de algodão com outros tipos de ração foram feitos no final do século XIX, nos EUA (COPPOCK; LANHAM; HORNER, 1987). Até hoje, estima-se que metade de todos os caroços de algodão produzidos nos EUA sejam usados para alimentação de gado leiteiro (MULLENIX et al., 2022).

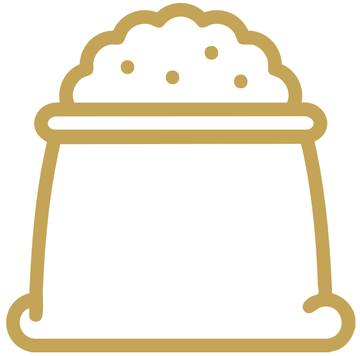
O caroço de algodão é um produto que sempre será produzido juntamente com a pluma do algodão, já que cada fibra de algodão é uma única célula que surge a partir da superfície do caroço (HAIGLER et al., 2012). A produção de caroço de algodão no Brasil, na última safra, foi de 4,33 milhões de toneladas, derivadas de 3,03 milhões de toneladas de pluma (ABRAPA, 2024). Confirmando-se um aumento de safra de algodão para 3,6 milhões de toneladas em 2032 (ABRAPA, 2023), a produção de caroço pode chegar até 5,14 milhões de toneladas. É extremamente importante que esse coproduto seja usado em toda a sua potencialidade para alavancar a economia nacional.

Essa demanda por coprodutos é crescente no mundo todo devido à melhor utilização dos recursos alimentares disponíveis, e têm evidenciado a necessidade da utilização de fontes proteicas e energéticas na alimentação animal, que não mantenham competição com a alimentação humana, além de implicar em menores desperdícios e na maximização de sua utilização, importantes para a mitigação de efeitos danosos ao meio ambiente, além de baratear preço da alimentação animal tornando as atividades rentáveis.

O uso de coprodutos do algodão na alimentação animal é citado positivamente na área da nutrição animal, sendo o algodoeiro cultivado para produção principal de fibras e óleo, e seus subprodutos destacam-se entre as mais importantes fontes proteicas para a alimentação animal no Brasil e no mundo.

O Brasil é um dos principais produtores de proteína animal do mundo, seja de carnes bovinas, caprinas, ovinas, suínas e aves. No país, essas atividades requerem um quantitativo muito grande de ingredientes que participam das dietas dos animais produtores, sendo a alimentação animal responsável por cerca de 70% dos custos de produção das cadeias produtivas de produção de proteína animal.

Na safra 2023/2024, o Brasil tornou-se o maior exportador mundial de pluma de algodão. Com o aumento da produção de pluma, espera-se que aumente também a produção de caroço.



O caroço do algodão já é usado há séculos como um componente na ração de animais.

Esses coprodutos vêm se tornando cada vez mais importantes nas formulações das dietas completas, não apenas por substituir ingredientes como milho e farelo de soja, mas como ingrediente estratégico para dietas de determinadas espécies ou categorias animais, como, por exemplo, vacas em lactação. Esses coprodutos são excelentes fontes de fibras, energia e proteína para os animais de produção, capazes de fornecer um suplemento de boa qualidade nutricional, principalmente na alimentação de ruminantes.

Desta forma, o objetivo deste documento é mostrar as vantagens que o caroço de algodão, bem como seus produtos derivados (torta e farelo), têm para diferentes ramos da agroindústria. Com os empresários e empreendedores melhor compreendendo as vantagens e limitações desses materiais, poderão usá-los da melhor forma possível para seus negócios.

2. Processo de obtenção da torta e farelo de algodão

O caroço de algodão (Figura 1) é obtido durante o descaroçamento do algodão, nas algodoeiras, como um coproduto da cotonicultura (WILLCUTT; MAYFIELD, 1994). Após os caroços serem separados das fibras, esses grãos são armazenados em pilhas em galpões, com a umidade na faixa entre 10% e 15%. Geralmente, no início da safra, os grãos possuem uma umidade maior, sendo enviados o mais rapidamente possível para as esmagadoras, enquanto grãos com menor umidade são armazenados ao longo do ano (WILLCUTT; MAYFIELD, 1994).

Figura 1: Caroços de algodão após o descaroçamento. Ainda há uma camada de fibras curtas, chamadas línter, aderidas às cascas. Fonte: ABIOVE, 2024.

Nas esmagadoras, os caroços de algodão podem ter o línter de primeiro e segundo corte removidos (SCZOSTAK, 2009; WILLCUTT; MAYFIELD, 1994). Em um processo clássico de esmagamento, os grãos com ou sem línter são extrusados em um filtro-prensa, separando-se óleo e torta. Essa técnica não remove todo o óleo da torta, o que reduz o teor de proteína (ARUDE, 2023). Alterações nesse processo de extração podem ser feitas para maximizar a separação entre óleo e proteína.

Se a casca do algodão (Figura 2) é removida antes da prensagem, ela poderá ser comercializada separadamente e não interferirá com a extração do óleo. As cascas são ricas em celulose e lignina, agindo como um volumoso para a ração animal (ARUDE, 2023; RIAZ et al., 2023). Assim, é possível criar rações animais com diferentes teores de proteína, misturando-se diferentes proporções de casca e torta (FREIRE, 2004).

Figura 2: Casca de algodão separada da amêndoa. A casca é rica em fibras, enquanto a amêndoa é rica em óleo e proteína. Fonte: ABIOVE, 2024.

O óleo de algodão é removido das amêndoas por prensagem, extração com solvente, ou prensagem seguida de extração por solvente (KUMAR et al., 2023; RIAZ et al., 2023). O óleo tem diversas utilidades. Na indústria não-alimentar, pode ser usado na produção de biodiesel (GANESAN et al., 2020), plastificantes, revestimentos e resinas (VONSUL; WEBSTER, 2023), aditivo de asfalto (DA COSTA et al., 2024), fluido isolador de instrumentos de alta voltagem (SIDDIQUE et al., 2024), dentre outras aplicações. Na indústria alimentícia, após o refino, o óleo é tradicionalmente usado na produção de manteiga, margarina e óleo vegetal pronto para consumo (FREIRE, 2004), bem como um ingrediente industrial para alimentos processados (ARUDE, 2023).

Figura 3: Torta de algodão prensada. Fonte: ABIOVE, 2024.

Diferentes tecnologias de extração também podem ter uma influência na qualidade da torta (Figuras 3 e 4). Há carência de estudos para efeitos da extrusão de torta de algodão sobre a digestibilidade de proteínas e efeitos antinutricionais. Entretanto, há relato de que a extrusão executada sob determinados ajustes pode reduzir fenólicos antinutricionais em tortas de soja, canola e girassol (VIDAL et al., 2022). Também há relato de que a extrusão aumentou a digestibilidade das proteínas de torta de canola (SALAZAR-VILLANEA et al., 2018; ZHANG et al., 2017).

Os diferentes processos vão levar a tortas e farelos com diferentes composições químicas (KUMAR et al., 2021) (Figura 5). Uma torta produzida pela extração mecânica do óleo terá maior percentual de óleo e, consequentemente, menos proteína. Se a extração for feita com solvente, como etanol, o teor de óleo residual é bastante reduzido e o teor de proteína pode chegar a até 55% (FREIRE, 2004; KUMAR et al., 2021). Mais detalhes sobre a composição química da torta e do farelo serão fornecidos na próxima seção do relatório.

Figura 4: Torta de algodão moída.
Fonte: ABIOVE, 2024.

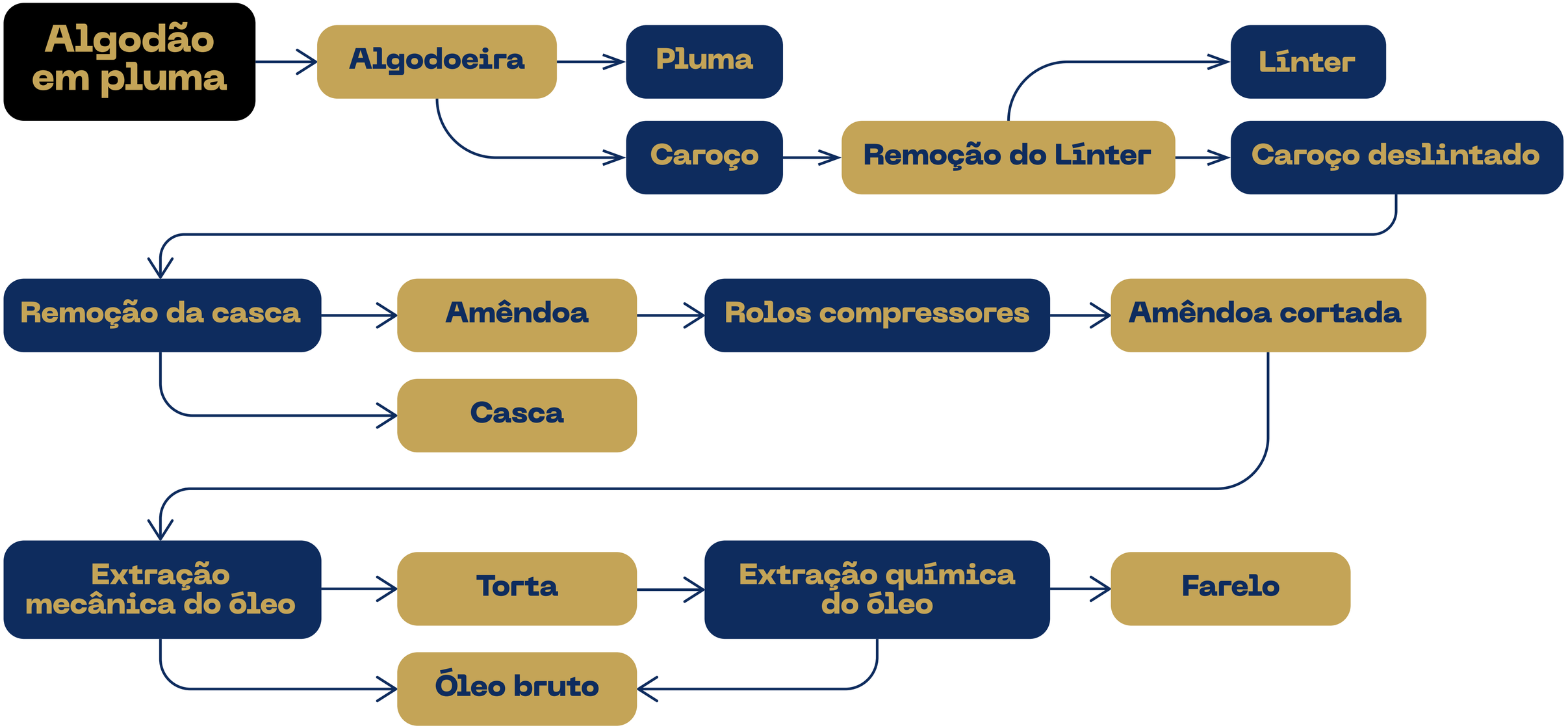


Figura 5: Processo de fracionamento da biomassa do caroço do algodão (autoria própria).

O caroço de algodão é um importante coproduto da cadeia do algodão, podendo ser fracionado em línter, casca, óleo e torta/farelo.

Diferentes processamentos do caroço geram tortas e farelos com diferentes composições químicas.

3. Composição química da torta e do farelo

Os teores de fibras, extrato etéreo, proteínas e fatores antinutricionais da torta e do farelo variam muito de acordo com as características intrínsecas do algodão em caroço original, tipo do coproduto a ser utilizado pelos animais, método de extração do óleo e proporção de casca/amêndoa (MA et al., 2018). A torta e o farelo são resultantes de processamentos da indústria e sua variação em composição nutricional é comum, pois depende de fatores tais como: moagem, prensagem, tipo de extração: (mecânico ou por solventes), além da variação natural do material originário, que pode ser influenciado pelas características de solo, variedades ou cultivares, etc.

Conforme comentado na seção anterior, a matéria sólida, que resulta após a extração do óleo, pode conter maior ou menor teor de óleo residual, dependendo da tecnologia de extração de óleo empregada (O'BRIEN et al., 2005). Desta forma, é importante que sejam distinguidas as diferentes formas de processamento da torta e do farelo, já que diferentes métodos de extração, com ou sem descascamento prévio, resultam em diferentes teores percentuais de proteína e de óleo. Ainda deve-se esperar o impacto da variação causada por diferentes cultivares de algodão e diferentes condições ambientais nas quais as plantas se desenvolveram. Assim, é esperado que variações percentuais de proteína, óleo e carboidratos sejam comuns para a torta e o farelo de algodão, da mesma forma que ocorre com tortas e farelos de outras oleaginosas, já que todas são produtos naturais. Uma nomenclatura mais eficiente é a especificação clara do teor de proteína presente na torta ou farelo. Por exemplo, farelo de algodão tipo 50 indica que há 50% em massa de proteína no farelo, independente de outros componentes (Figura 6) (FREIRE, 2004).

Figura 6: Exemplo de farelo P38. Esse farelo possui 38% mínimo de proteína bruta.

Análises químicas indicam as seguintes composições químicas: 88,1 a 94,2% de matéria seca (MS); 1,2 a 11,4% de extrato etéreo (EE); 25,9 a 47,5% de proteína bruta (PB); 28,4 a 58,9% de fibras solúveis em detergente neutro (FDN); 2,6 a 21,5% de fibras solúveis em detergente ácido (FDA) e 4,4 a 15,1% de lignina, (BRITO et al., 2007; SANTANA et al., 2010; VALADARES FILHO; LOPES, 2024). Considerando-se um processo no qual as amêndoas sejam descascadas e esmagadas, dependendo da variedade e do teor de proteína original, pode-se ter um teor de aproximadamente 38% de proteína na amêndoa e até 40% na torta prensada a frio (CANIKLI et al., 2023). Se ainda for feita uma remoção do óleo por solvente, a torta é transformada em farelo e o teor de proteína pode subir para até 55% (KUMAR et al., 2021). Embora esses números possam variar de lote para lote, eles demonstram o potencial que a torta e o farelo possuem para a alimentação animal (Tabela 1).

Fonte de proteína vegetal	Caroço de algodão*	Torta de algodão**	Farelo de algodão***	Farelo de soja†	Farelo de girassol††	DDGS††
Umidade	9,34	9,52	9,48	12,04	9,2	7,2
Proteína	22,94	29,72	40,67	44,37	49,7	33,5
Fibra solúvel em detergente neutro	45,65	45,21	28,76	14,72	40,4	30,2
Fibra solúvel em detergente ácido	33,81	35,17	17,94	8,60	34,0	15,6
Óleo	20,06	9,30	1,43	1,58	1,2	5,5
Minerais	4,28	4,77	5,86	5,82	8,1	2,3

(VALADARES FILHO et al., 2018)* *(VALADARES FILHO et al., 2020)* ****(ZHUO et al., 2023)* *†(GENEROSO et al., 2008)* *††(GAO et al., 2015)*

Tabela 1: Comparação entre diferentes fontes de proteína vegetal, comumente usadas para a alimentação animal.

Cerca de 75% do óleo de algodão é constituído por ácidos oleico (aproximadamente 22%) e linoleico (aproximadamente 52%), ambos ácidos graxos insaturados. Os ácidos saturados são basicamente apenas ácido palmítico (aproximadamente 24%). O óleo de algodão contém ácidos graxos raros, o malválico e o estercúlico (juntos representam aproximadamente 0,5%). Apesar de poderem causar danos a animais monogástricos, esses ácidos são facilmente destruídos durante o refino (ZIA et al., 2022). O óleo de algodão possui outros componentes com atividades bioativas, como gossipol (geralmente tóxico para monogástricos), fosfolipídios, tocoferóis e esteróis (ZIA et al., 2022).

No Brasil, de acordo com a Instrução Normativa nº 110, de 24 de novembro de 2024, com a Portaria nº 359 de 9 de julho de 2021, determinam que matérias-primas aprovadas como ingredientes, aditivos e veículos para uso na alimentação animal, incluindo aquelas utilizadas na alimentação humana e susceptíveis de emprego na alimentação animal, devem conter, no mínimo, os níveis de garantia de constituintes estabelecidos no anexo da própria Instrução Normativa. Essa instrução define o que são essas matérias-primas, os constituintes mínimos descritos e se o valor descrito é um valor máximo ou mínimo. Por exemplo, o caroço de algodão é definido como "Produto

Figura 7: Gado em confinamento comendo torta de algodão.

obtido no processamento industrial do algodão, após retirada da maior parte do línter podendo ser submetido a processos de moagem" enquanto a torta de algodão é "Produto obtido por prensagem do caroço do algodão integral para extração parcial do óleo, podendo ser moído e/ou peletizado e conter porções de casca. Permite-se nesse produto a adição dos resíduos da filtragem do óleo". De acordo com essa IN (Instrução Normativa), a rotulagem mínima do caroço de algodão deve conter o máximo de umidade, o mínimo de proteína bruta, o mínimo de extrato etéreo, o máximo de fibra bruta, o máximo de fibra em detergente ácido, o mínimo de fibra em detergente neutro e o máximo de matéria mineral. Já para a torta, além de todas essas informações, também deve estar presente, pelo menos, o conteúdo de máximo de gossipol (BRASIL, 2020, 2021). É importante ressaltar que essas são informações mínimas exigidas pela lei, mas se alguma indústria quiser fornecer informações complementares como, por exemplo, o teor de gossipol no caroço, elas podem adicioná-las.

As fontes de lipídeos utilizadas em dietas de ruminantes, no Brasil, são exclusivamente de origem vegetal, já que em 2004 foi proibido a utilização de lipídeos de origem animal na alimentação animal, segundo a Instrução Normativa, nº 8, de 25/03/2004 (BRASIL, 2004). As fontes mais utilizadas são as que apresentam algum tipo de proteção, como o caroço de algodão, soja, girassol, e os coprodutos ricos em teores de lipídeos, como a torta de algodão. O uso de fontes de lipídios em dietas para ruminantes ainda provoca muitas contradições, com conhecimento restrito apenas aos níveis e formas de inclusão e de seus efeitos no consumo voluntário dos animais (MAIA et al., 2006). Entretanto, fatores como a aceitabilidade das dietas, o efeito sobre as motilidades ruminal e intestinal, a liberação de hormônios intestinais e a oxidação das gorduras pelo fígado devem ser consideradas (NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE, 2021). A vantagem da utilização do caroço de algodão é que seu óleo é seu teor de cerca de 75% de ácidos graxos insaturados, com indícios de que essa gordura insaturada pode alterar a produção e composição da gordura do leite (KEELE; ROFFLER; BEYERS, 1989). Assim, a suplementação lipídica pode ser um forte instrumento para melhorar o perfil dos ácidos graxos do leite, melhorando também seu valor nutricional.

Produtos de algodão, como a torta ou o farelo, podem possuir um fator antinutricional denominado gossipol. O gossipol é produzido em glândulas espalhadas por toda a planta de algodão, inclusive na semente (SUN et al., 2024), existindo em uma forma (+) e uma (-) (WANG et al., 2009). O excesso de gossipol na alimentação animal, ruminante ou não, pode levar a problemas de saúde para animais, como diminuição da taxa de crescimento, perda de apetite, inflamações, danos hepáticos e intestinais, alteração no metabolismo do cálcio e redução na produção de espermatozoides (AMBROSE; ROBBINS, 1951; EAGLE, 1949; GADELHA et al., 2014; RANDEL; CHASE; WYSE, 1992; WANG; YEUNG, 1985).

Apesar dos efeitos potencialmente tóxicos do gossipol, é importante esclarecer três pontos-chaves: os relatos indicam que danos causados por gossipol são dose-dependente; há evidências de que um tipo de gossipol pode ser mais tóxico do que outro; a extração do óleo pode detoxificar uma grande quantidade do gossipol (WANG et al., 2009). Da mesma forma que a pluma do algodão varia com base em efeitos genéticos e ambientais, a torta e o farelo de algodão variam devidos a esses mesmos efeitos (MA et al., 2019). Esses produtos de algodão não podem ser usados sem uma orientação adequada para alimentação animal e culpar apenas a matéria-prima por problemas na produção. Além disso, é fundamental que seja informada a quantidade de gossipol presente nos produtos por lote.

4. Fatores antinutricionais

4.1. Gossipol

O gosssipol é um polifenol da classe dos aldeídos terpenoides de ocorrência natural com teor total variando de 0,55% a 1,89% nas sementes do algodoeiro (PANDEYA et al., 2023). Nas sementes, o gossipol apresenta as maiores concentrações observando-se no endosperma a formação de glândulas visivelmente identificáveis por pontos escuros (Figura 7). Além da destacada presença nas sementes, o gossipol poderá ser detectado nas raízes, folhas, brácteas, flores e pétalas do algodoeiro (PARK et al., 2019). A sua função biológica principal é relacionada à defesa contra o ataque de insetos ou micro-organismos que possam causar doenças, e nas sementes como um conservante natural, que reduz os efeitos deletérios de pragas (KENAR, 2006).

Por ser uma molécula de alta complexidade, suas propriedades químicas e biológicas possuem particularidades já conhecidas (KUMAR et al., 2022; PIERCE et al., 2024; TALIPOV et al., 2011). Como exemplo, a formação de enantiômeros com características específicas, em que uma fração poderá ser de alta toxicidade por fornecer restrições às frações alimentares do caroço, e de produtos derivados como a torta e o farelo, em dietas para animais monogástricos e ruminantes (PARK et al., 2019; SCHEFFLER, 2016). Dessa forma, o gossipol e derivados de seus enatiômeros, são os principais fatores para a não utilização dos coprodutos como a proteína da torta e o farelo de algodão na alimentação humana e animais monogástricos (CAI; XIE; LIU, 2010; LORDELO et al., 2005). Além de ser um componente de restrição, com mais efeito para alimentação de monogástricos, há vários trabalhos na literatura científica que estudaram os efeitos do gossipol na redução da capacidade reprodutiva de ruminantes (GADELHA et al., 2014; HATAMOTO-ZERVOUDAKIS et al., 2018; JIMENEZ et al., 2021; SANTOS et al., 2013).

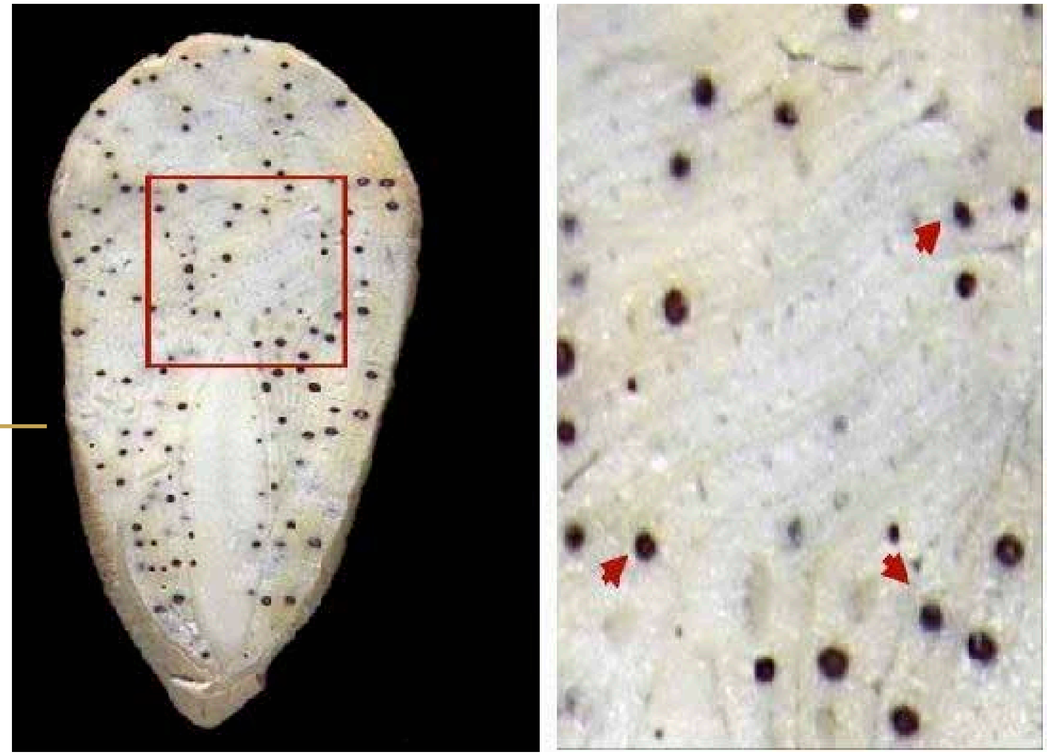


Figura 8: Glândulas de gossipol correspondentes aos pontos escuros (PANDEYA et al., 2023).

Muito embora pouco explorado posteriormente, estratégias para complexação do gossipol utilizando-se de sais de Fe (II) e Fe (III) foram estudadas no passado, e poderão ser uma alternativa para viabilizar o aproveitamento nutricional e proteico dos derivados do algodão (MUZAFFARUDDIN; SAXENA, 1966). No entanto, muitos trabalhos têm destacado novas variedades de algodão sem gossipol ou com baixos níveis, permitindo o aproveitamento da proteína do algodão para alimentação humana (RATHORE et al., 2020; SUNILKUMAR et al., 2006).

Os efeitos negativos do conteúdo de gossipol na digestibilidade de aminoácidos em farelo de algodão foram estudados, descobrindo-se que os verdadeiros coeficientes de digestibilidade para aminoácidos essenciais em farelo de algodão contendo 1,52% de gossipol total variaram de 73,9 a 91,8%, enquanto em farelo de algodão contendo 0,02% de gossipol esses coeficientes foram todos significativamente maiores (SALAS et al., 2013). A concentração de nutrientes, gossipol livre (GL) e ácidos graxos ciclopropenoides, no farelo de algodão, depende do cultivar do algodão, dos métodos de extração do óleo, da proporção de amêndoa em relação à casca, presença de línter e tegumento. As concentrações de gossipol livre em diversas variedades de farelo de algodão variam de 200 e 5300mg kg-1. Nas variedades sem glândulas, a concentração de GL é menor (> 130mg kg-1).

O gossipol inibe a atividade da pepsina e da tripsina no trato gastrointestinal, reduzindo assim, a digestibilidade das proteínas. Os sinais clássicos de toxicidade do gossipol em aves são: perda de peso, diminuição do apetite, fraqueza nas pernas, diminuição da produção e do tamanho dos ovos, descoloração da gema do ovo,

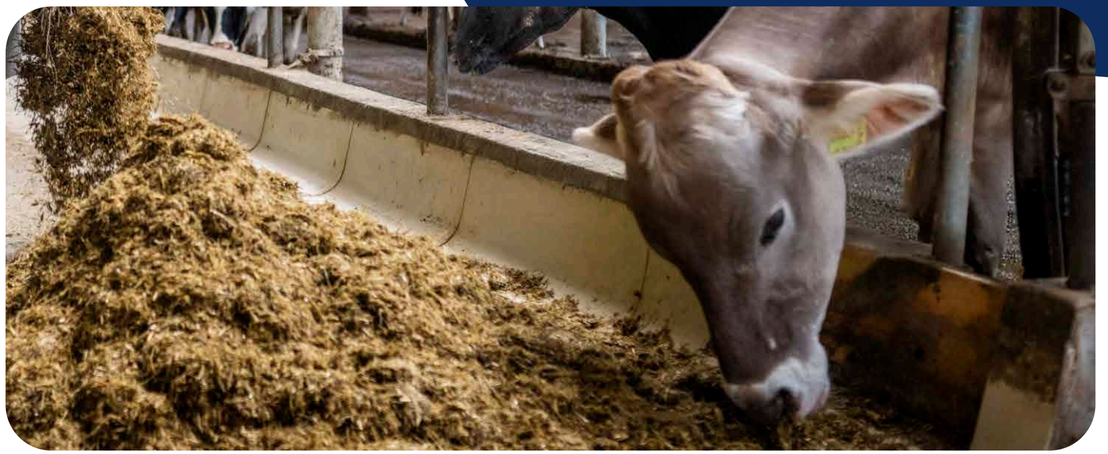


Figura 9: Gado em confinamento comendo torta de algodão.

diminuição da eclodibilidade dos ovos, redução de hemoglobina, contagem de eritrócitos totais, proteína e relação albumina/globulina no soro (NARAIN et al., 1960; WALDEOUP; GOODNER, 1973). Os sintomas tóxicos variam, dependendo da linhagem e da idade da ave, e das diferenças na qualidade e quantidade da proteína na ração, e nos vários conteúdos minerais da dieta. O gossipol também deteriora a qualidade interna do ovo, causando manchas na gema e descoloração rosada do albúmen.

Em pesquisa que avaliou o efeito de caroço de algodão e da torta de algodão sobre as características do sêmen e na histologia testículo-epididimal de caprinos de 6 a 8 meses de idade, verificou-se que a inclusão de produtos de algodão até 30% ocasionou efeito deletério nas características do sêmen e na histomorfologia testículo-epididimal (IYEGHE-ERAKPOTOBOR et al., 2023). Portanto, os produtores devem ser cautelosos na inclusão de produtos de algodão na alimentação de caprinos neste nível de inclusão.

4.2. Polissacarídeos não amiláceos (PNA)

Além do gossipol, outros fatores limitantes para o uso da torta de algodão, em aves e suínos, são as fibras dietéticas ou polissacarídeos não amiláceos (PNAs) (FERREIRA et al., 2019; URRIOLA; STEIN, 2010).

Os polissacarídeos não amiláceos (PNAs) compreendem diversas moléculas de polissacarídeos como carboidratos, pectinas, celulose, hemicelulose, compostos fenólicos, etc. com exceção do amido, que são os α-glucanos (CHOCT, 1997). Os PNAs são conhecidos como fibras e são os principais constituintes da parede celular dos alimentos de origem vegetal. Para minimizar o problema dos PNAs, são utilizadas enzimas exógenas. O uso de enzimas em dietas das aves e suínos melhora a digestibilidade e disponibilidade de certos nutrientes para os animais, principalmente P, N, Ca, Cu e Zn, diminuindo a necessidade de suplementação destes minerais na dieta, bem como sua presença nas fezes e urina, com consequente redução da sua emissão para o meio ambiente (CAMPESTRINI; SILVA; APPELT, 2005).

Apesar de os PNAs serem fermentados no intestino grosso e produzirem os ácidos graxos voláteis (AGVs), que são aproveitados de 5 a 28% da exigência de mantença dos suínos, eles reduzem o desempenho dos animais e aumentam a conversão alimentar, além de poderem ser observadas a diminuição da digestibilidade de energia, a proteína, a fibra em detergente neutro e a fibra em detergente ácido pelos suínos (FERREIRA et al., 2019; URRIOLA; STEIN, 2010). Os polissacarídeos não amiláceos (PNAs) não são digeridos pelas aves, por causa das ligações químicas, resistindo à hidrólise no trato digestivo, causando redução na energia do alimento, além de prejudicar a utilização de outros nutrientes presentes no alimento (CONTE et al., 2003).

5. Forma de uso do caroço de algodão na alimentação animal

A alimentação responde por mais de 70% dos custos totais na alimentação de ruminantes, portanto, a busca de alternativas alimentares de baixo custo vem sendo tema de diversos estudos. O caroço de algodão integral e seus subprodutos, como o farelo de algodão, são fontes alternativas mais baratas para alimentação, o que pode diminuir o custo de produção (PAIM et al., 2010).

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas com lipídios protegidos ou não, nos últimos anos, para determinar a quantidade máxima e mínima de caroço de algodão que poderia ser utilizada na dieta de ruminantes, sem que houvesse comprometimento da função ruminal. O caroço de algodão é uma fonte de gordura naturalmente protegida, já que a gordura está presente na amêndoa do caroço de algodão, que está protegida pela casca, sendo a liberação dos lipídeos no ambiente ruminal mais lenta, de forma a diminuir os efeitos deletérios sobre os microrganismos ruminais. Diversos estudos têm demonstrado que níveis de lipídeos, na matéria seca, em dietas totais, acima de 5 a 7% para ruminantes, podem interferir na fermentação ruminal, reduzindo a digestibilidade e o consumo de matéria seca (CENKVÁRI et al., 2005; KOZLOZKI, 2010; MAIA et al., 2006; NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE, 2021; PALMQUIST, 1994). Os possíveis mecanismos que provocam tal efeito podem estar associados aos ácidos graxos insaturados e à sua ação tóxica sobre os microrganismos gram-positivos do rúmen, como as bactérias fibrolíticas, dificultando a digestibilidade da fibra pelo efeito inibitório, ou por formarem uma camada protetora ao redor da partícula ruminal, impedindo a aderência dos microrganismos ao substrato, impedindo a degradação do alimento que passa pelo rúmen (PALMQUIST, 1994; VAN SOESTE, 1994). Portanto, a dieta de ruminantes não pode ser formulada com elevados teores de lipídios, acima de 7%, isso pode afetar a atividade dos microrganismos, reduzindo a digestibilidade da fibra e reduzindo o teor de gordura do leite.

Diversos trabalhos pesquisados evidenciam que o caroço de algodão apresenta boa capacidade em manter a atividade mastigatória, o que o torna uma fonte de fibra efetiva. Além disso, a FDN (fibra em detergente neutro) do caroço de algodão é 84% tão efetivo quanto à FDN do feno de alfafa, sugerindo que a utilização de, até 15%, de caroço de algodão em dietas com baixos teores de FDN de origem forrageiro não representa limitações quanto à capacidade em estimular a atividade mastigatória e, portanto, é capaz de manter o funcionamento adequado do ambiente ruminal (HARVATINE; FIRKINS; EASTRIDGE, 2002).

Figura 10: Caroço de algodão no cocho.

Portanto, a dieta para ruminantes deve conter uma quantidade mínima de fibra que em qualidade e quantidade adequadas terão as funções de permitir uma ótima atividade mastigatória do bolo alimentar, fermentação ruminal dentro dos padrões da normalidade, maximização do consumo de nutrientes dos alimentos e adequada porcentagem de gordura no leite.

Dentre os coprodutos do algodoeiro, o caroço é aquele que apresenta maior limitação quanto à utilização na alimentação animal, devido seu teor de gossipol livre ser mais alto quando comparado aos outros coprodutos, farelo e torta, pois quanto maior o teor de gossipol livre (GL) nesses ingredientes, maior a absorção pelo trato gastrointestinal e, por conseguinte, maior efeito tóxico aos animais. Segundo Jorge (2006), a concentração de gossipol no caroço de algodão varia amplamente com os genótipos da planta, podendo encontrar plantas com ausência de gossipol e até com 9% do peso da semente (JORGE, 2006).

Figura 11: Caroço de algodão inteiro.

Uma vantagem da utilização do caroço de algodão é a redução da metanogênese em ruminantes. Uma dieta de mantença com até 25% de caroço de algodão, em ovinos, reduziu a produção de metano em 12 a 14% por alterações na fermentação ruminal causadas pela maior quantidade de gordura do que carboidratos fermentáveis (ARIELI, 1992, 1998; WILKERSON; CASPER; MERTENS, 1995).

A introdução de torta de algodão com elevado teor de gordura em dietas de ruminantes pode auxiliar na mitigação de metano entérico (ABDALLA et al., 2008). A utilização de fontes lipídicas em dietas totais para ruminantes, principalmente ricas em ácidos graxos insaturados, têm despertado interesse por aumentar a densidade energética, melhorar a eficiência de utilização de nutrientes, influenciar positivamente na reprodução animal e alterar positivamente o perfil de ácidos graxos do leite, além de contribuir com a redução da metanogênese e do incremento calórico (MUÑOZ et al., 2021; SANTOS E SILVA, 2022).

A melhor forma de utilização do caroço de algodão é o fornecimento "inteiro", ou seja, nem moído em máquinas forrageiras e nem amassado ou quebrado. Não há vantagem em amassar, quebrar ou moer o caroço de algodão. O caroço "inteiro", e ainda com línter, permite que o lipídio presente na sua composição seja liberado lentamente no rúmen, garantindo ruminação, degradação e absorção lentas. A fibra presente no caroço de algodão é fundamental para a atividade ruminal e para a saúde do animal, além de ser importante para a síntese da gordura do leite.

Muitos produtores formulam as dietas de seus rebanhos com base nos nutrientes do caroço de algodão. Os pequenos produtores usam-no misturado com outros ingredientes em misturas básicas, já os grandes produtores compram grandes quantidades a granel e adicionam-no à uma dieta total. O caroço de algodão deve ser introduzido nas dietas de forma moderada para permitir melhor adaptação do animal ao seu uso. Devido à sua apresentação na forma física, granulado, e de pouca densidade, deve ser fornecido separadamente ou sobre os outros ingredientes da dieta, porém pode ser fornecido misturado com outros ingredientes (volumosos ou concentrados), dividido em duas vezes, se for o caso.

A introdução, de forma moderada, permite, ainda, melhor adaptação ao consumo do lipídeo existente no caroço do algodão. Por isso, recomenda-se, além de período de adaptação, respeitar os limites de 5-7% de lipídeo (extrato etéreo) na matéria seca da dieta para os ruminantes. É importante frisar que o excesso de óleo, acima desses teores, prejudica a flora microbiana presente no rúmen, diminuindo a digestibilidade da fibra e da energia das dietas, além disso, o excesso de óleo provoca diarreia nos ruminantes. Portanto, o fornecimento da quantidade de caroço a ser colocada deve ser calculado para não exceder esse limite de lipídeos.

O caroço de algodão não deve ser fornecido para os animais pré-ruminantes (bezerros, borregos, cabritos etc.) e outras categorias de ruminantes em fase crescimento, até alcançarem a idade de reprodução. Também não se deve fornecer para reprodutores machos (principalmente os reprodutores jovens). Portanto, o caroço de algodão é indicado para animais adultos, principalmente, para fêmeas adultas e machos em fase de terminação, para abate. O gossipol na torta de algodão causa a degeneração e destruição de vasos sanguíneos do fígado. Portanto, os níveis de inclusão de 25% de torta de algodão na dieta total de ovinos são permitidos, enquanto níveis de 40% causas maior efeito tóxico no fígado dos animais (PHYU et al., 2017).

6. Uso da torta e do farelo para alimentação animal

6.1. Ruminantes

Tradicionalmente, produtos baseados em sementes de algodão são fornecidos para ruminantes (COPPOCK; LANHAM; HORNER, 1987; POLIZEL NETO et al., 2022). Gado de corte e leiteiro são alimentados com sementes íntegras de algodão, cascas, línter, torta e farelo de algodão (ROGERS; POORE; PASCHAL, 2002) (ROGERS et al., 2002) . Ovinos podem ser alimentados com proteína de algodão (GAO et al., 2015) (GAO et al., 2015) , bem como caprinos (SANTOS et al., 2014).

Deve-se limitar a utilização do caroço de algodão para sea fim de evitar os efeitos tóxicos do gossipol, recomendando sua utilização em função dos níveis recomendados do percentual da dieta total e por kg/animal/dia, sendo em vacas de 20% ou de 2,3 a 3,2,; touros de 15% ou 2,3 a 3,2 e bovinos em crescimento de 15% ou de 0,7 a 1,1, não devendo ser utilizado para bezerros e touros jovens (ROGERS; POORE; PASCHAL, 2002; SANTOS et al., 2009). Neste sentido, Mello et al. (2018) destacam que para a elaboração de diferentes planos de manejo nutricional, a inclusão do caroço de algodão, na dieta, deve ser estabelecida de modo a não prejudicar a performance reprodutiva de ruminantes, mas a sua utilização é uma alternativa nos sistemas de confinamento de bovinos criados no Brasil (MELLO et al., 2018).

Vários trabalhos apontam para o potencial da torta e do farelo de algodão na alimentação animal, substituindo parcial ou totalmente o farelo de soja e o de milho, reduzindo custos de produção (ABDALLA et al., 2008). A torta de algodão pode ser um ingrediente eficiente em dieta animal com altos níveis de proteína e energia, como vacas em lactação, ou para animais criados em sistemas de pastejo. Esses coprodutos auxiliam na redução da idade ao abate, obtenção de carcaças mais pesadas e com melhor acabamento.

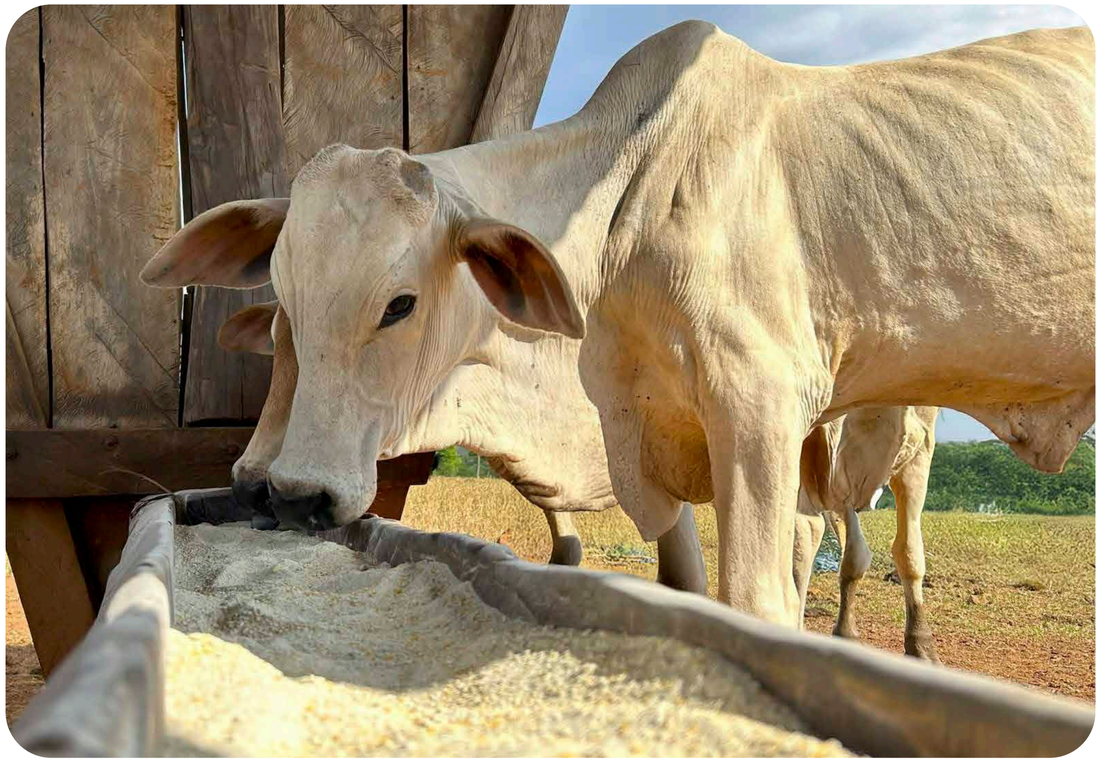


Figura 12: Gado se alimentando de caroço de algodão.

A torta de algodão é uma fonte eficaz de fibra para ruminantes e promove maior atividade alimentar, e menos tempo de mastigação e ruminação nos animais. A torta de algodão pode ser usada como única fonte de fibra em dietas para ruminantes. No entanto, recomenda-se que o tamanho de partículas de fontes de fibra de produtos agroindustriais seja monitorado para garantir segurança ao ser usada (ARCANJO et al., 2022). Dentre os principais benefícios da torta de algodão podem ser citados três:

a. Fonte rica em proteínas: a torta de algodão possui alto teor de proteínas, que contribui para o desenvolvimento muscular, a produção de leite e o crescimento dos animais;

b. Contribui para melhor eficiência alimentar e nutricional: a inclusão de torta de algodão na dieta contribui para uma maior eficiência alimentar dos animais, resultando em melhor produtividade e menor custo de alimentação;

c. Versatilidade: a torta de algodão pode ser incorporada em diferentes dietas e fases dos ruminantes, tanto de animais para corte como para animais leiteiros, proporcionando flexibilidade na formulação de rações.

Geralmente, vacas em lactação precisam de uma maior suplementação proteica que as vacas que não produzem leite. Comparando-se tortas de algodão, soja, amendoim e girassol para a suplementação de vacas em lactação, a torta de algodão teve um comportamento similar à dae soja, para o perfil de ácidos graxos do leite (SALLES et al., 2021). O uso de proteínas isoladas do farelo do algodão com hidrólise enzimática, como suplementação animal, aumentou o rendimento de leite e melhorou a digestibilidade da dieta dada às vacas (YUE et al., 2023).

O aumento do nível da torta de algodão de até 35% na dieta total aumentou o consumo de MS (matéria seca) total e o ganho em peso de vacas de leite mestiças, também aumentando a produção de leite (UDDIN et al., 2013). A torta de algodão também é uma alternativa sustentável e economicamente viável, que pode ser utilizada como fonte de fibra efetiva em novilhos Nelore, em terminação (confinados) em substituição à silagem de milho, sem afetar o desempenho produtivo dos animais (ARCANJO et al., 2022). Vacas leiteiras Girolando alimentadas com dieta experimental era composta de palma forrageira (53%), silagem de sorgo (32%) e concentrado (15%), onde foram testados cinco níveis de substituição de farelo de soja por farelo de algodão (0, 25, 75 e 100%), não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos, no que se refere ao consumo e na digestibilidade dos nutrientes (matéria orgânica, extrato etéreo, fibra em detergente neutro, proteína bruta, carboidratos totais e carboidratos não fibrosos), recomendando-se a substituição do farelo de soja pelo farelo de algodão para vacas leiteiras de baixa produção (SILVA et al., 2009). A substituição total de farelo de soja por farelo de algodão, no suplemento concentrado

de vacas leiteiras Holandês x Gir, sob sistema de pastoreio tropical intensivo, não afetou o desempenho, a eficiência alimentar, a composição do leite e o comportamento ingestivo diurno (BITTENCOURT et al., 2022). O farelo de algodão de alta energia (FAAE), com 28% de proteína bruta e 9,8% de extrato etéreo, foi fornecido a vacas leiteiras, sem interferir na digestibilidade dos nutrientes, na eficiência e balanço de nitrogênio, teor de nitrogênio ureico no leite ou no soro, na eficiência alimentar, nem na produção de leite, mostrando capacidade de substituir o farelo de soja na dieta de vacas com produção de 15 kg leite/dia (ALVES et al., 2010).

No caso de bovinos de corte, diversos estudos demonstraram a viabilidade em substituir o farelo de soja por farelo de algodão sem diminuir o desempenho animal (IMAIZUMI et al., 2016). No caso de bovinos de corte em pastejo, a substituição de até 25% de farelo de soja por FAAE proporcionou maior ganho de peso e melhor viabilidade econômica (ZERVOUDAKIS et al., 2015).

A suplementação proteica de ruminantes pode ser feita com diferentes fontes de proteínas, como farelos e tortas de algodão, soja, girassol ou DDGS (*Dried Distillers Grains with Solubles,* ou seja, Grãos Secos de Destilaria com Solúveis). Entretanto, cada uma dessas fontes pode ter vantagens e desvantagens para cada dieta. A degradação proteica ruminal da torta de algodão foi maior que a de DDGS para carneiros. Os autores verificaram que era importante suplementar a torta de algodão com leucina, enquanto o DDGS precisou ser suplementado com lisina (GAO et al., 2015). Cabras em lactação, alimentadas com torta de algodão, tiveram uma absorção de nitrogênio similar à torta de soja, indicando digestibilidade similar para esses dois materiais (SANTOS et al., 2014). Quando uma dieta contendo farelo de algodão e sorgo foi gradualmente modificada com substituição desses dois componentes por DDGS, o perfil de odor de cortes de carneiro foi modificado, mas com perda de marmoreio e redução dos pesos dos animais quando se substituiu totalmente o algodão e o sorgo (HODGES et al., 2020). A substituição parcial de farelo de soja por um suplemento proteico misto de algodão, canola e fava melhorou a quantidade e a qualidade do leite produzido por ovelhas (KALOGIANNI et al., 2022), e a substituição total de farelo de soja por farelo de algodão, em cordeiros híbridos de Santa Inês x Dorper não alterou o balanço de compostos nitrogenados do rúmen, nem teve impactos intestinais negativos (CABALLERO MASCHERONI et al., 2023).

A substituição total do farelo de soja por torta de algodão no concentrado de ovinos confinados, correspondente a 12% da dieta total, não altera o equilíbrio de compostos nitrogenados ou a síntese de proteínas microbianas, nem compromete o comportamento ingestivo, e a eficiência alimentar e a ruminação (PEREIRA et al., 2016; SILVA et al., 2016a, 2016b). A inclusão da torta de algodão na dieta de cordeiros até 28% da matéria seca total das dietas, não afeta negativamente as características físico-químicas, aroma e sabor da carne de cordeiros, tendendo a diminuir a concentração de ácidos graxos indesejáveis e aumentando a de ácidos graxos desejáveis (FAGUNDES, 2014). Essa concentração, de até 28% da matéria seca de dietas para ovinos, não afeta o consumo, desempenho, conversão alimentar, rendimento de carcaça, área de olho de lombo e síntese de proteína microbiana (LIMA, 2012).

A utilização de níveis acima que 28% e de até 42% de torta de algodão na dieta de ovinos, em substituição ao farelo de soja, não é recomendada, pois, ao fornecer ingestão semelhante de matéria seca há redução de ganho de peso dos animais, peso da carcaça e cortes comerciais (NEGRÃO et al., 2021, 2024).

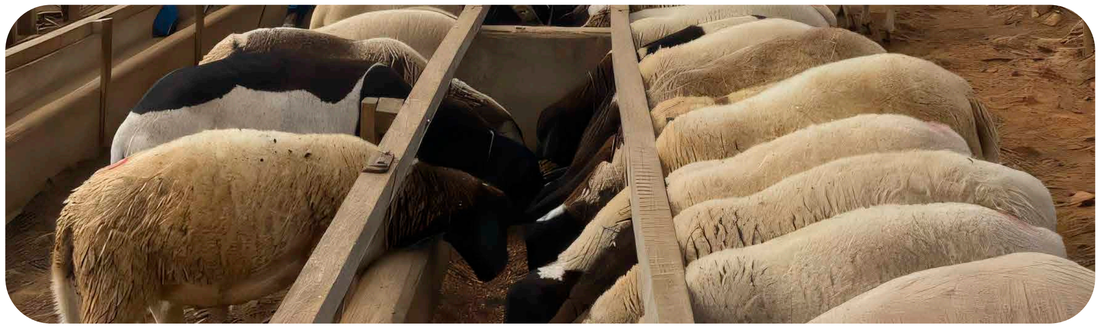


Figura 13: Ovinos comendo torta de algodão.

Em uma pesquisa, comparando-se diferente fontes de proteína em rações para ovinos, os animais foram alimentados com misturas concentradas a 3% do peso vivo e palha de trigo ad libitum. Foram quatro misturas concentradas isocalóricas e isoproteicas, onde avaliou-se os ingredientes proteicos, sendo farelo de soja, farelo de algodão, farelo de semente de cominho preto e farelo de gergelim. A partir dos dados obtidos, concluiu-se que o farelo de algodão foi o melhor tratamento para coeficiente de digestibilidade, ganho médio diário, melhor balanço de nitrogênio, melhor conversão alimentar e eficiência econômica. Isto é, o farelo de algodão pode substituir o farelo de soja em 100% em rações de ovinos no sistema de produção considerado (EL-NOMEARY et al., 2021).

Ao analisar as características de carne e carcaça de cordeiros, alimentados com diferentes subprodutos do algodão, verificou-se que animais alimentados com farelo de algodão e óleo de soja apresentaram maiores teores de ácido linoleico conjugado (CLA) do que aqueles alimentados com caroço de algodão (PAIM et al., 2014). Como o CLA mostrou efeitos benéficos na alimentação humana, com atividades como anticarcinogênica, antiobesidade, antidiabética e anti-hipertensiva (KOBA; YANAGITA, 2014), essa característica da carne pode vir a um diferencial de mercado para alimentos mais saudáveis ou mesmo alimentos funcionais.

A substituição do farelo de soja pelo farelo de algodão na nutrição de ovinos, também foi objeto de estudo de Caballero et al. (2023), que testou três níveis de farelo de algodão em concentrados para alimentação de ovinos machos não castrados, confinados, mestiços Santa Inês x Dorper (CABALLERO MASCHERONI et al., 2023). As dietas constituíram-se em rações totalmente misturadas, ou TMR (Total Mixed Ration), com relação 30:70 volumoso/concentrado em base na matéria seca; os níveis de substituição do farelo de soja pelo farelo de algodão foram de 0,15 e 30%. Nas condições desse experimento, o uso de farelo de algodão, até 20%, melhora a conversão alimentar dos cordeiros confinados, com incremento do ganho de peso diário, além de melhorar a maciez da carne e diminuir a perda por cocção.

Diferentes níveis de suplementação com farelo de algodão (FA) foram avaliados com o objetivo de avaliar o efeito sobre o consumo de ração, digestibilidade, ganho de peso e parâmetros de carcaça de cabras Sidama. O delineamento contou com quatro tratamentos: T1) feno de capim, fornecido ad libitium das espécies Digitaria nodosa, Sporobolus natalensis e Eragrostis papposa;, T2) feno + 200 g de FA em matéria seca;, T3) feno + 300 g de FA e T4) feno + 400 g de FA. O nível médio de suplementação (300 g FA por dia) resultou em maior ganho diário de peso corporal, peso corporal final e menor taxa de conversão alimentar. Portanto, conclui-se que a suplementação de farelo de algodão na dose de 300 g por dia (em base de MS) resultou em melhores parâmetros de desempenho animal em caprinos Sidama (SOLOMON; MELAKU; TOLERA, 2008).

6.2. Não ruminantes

A utilização da torta e farelo de algodão em dietas para animais não- ruminantes como ingrediente alternativo, rico em proteínas, vem crescendo nos últimos anos aceleradamente, porém de forma restrita, por causa da presença do gossipol e do excesso de fibras presentes. A torta e farelo de algodão são coprodutos com boa disponibilidade no mercado e tem despertado interesse dos produtores para inclusão na alimentação de não- ruminantes, no entanto, a presença do gossipol, PNAs, ácido fítico (AMORIM; ZANGERONIMO; THOMAZ, 2011) e a baixa composição em aminoácidos, limitam sua utilização em grande escala (PRAWIRODIGDO et al., 1997). Assim, uma das alternativas que vem sendo estudada para melhorar o aproveitamento dos nutrientes da torta e do farelo do algodão, permitindo seu uso na alimentação de não ruminantes, é a suplementação com enzimas exógenas nas dietas.

A utilização de enzimas exógenas, como as carboidrases: xilanases, β-glucanases e glucanases, pode ser uma estratégia para diminuir os efeitos adversos do excesso de fibra nas rações de não ruminantes. O fator antinutricional fitato, presente no farelo de algodão, prejudica a disponibilidade de alguns minerais (principalmente o fósforo) e pode ser inativado com o uso da enzima fitase (BORDA-MOLINA et al., 2019; MIRANDA et al., 2017).

A utilização de enzimas exógenas na nutrição de não ruminantes tem como principal objetivo melhorar o valor nutricional de determinado ingrediente, como o farelo de algodão. Atualmente, no mercado brasileiro, há dois tipos de enzimas disponíveis para uso em rações de aves e suínos, as fitases e as carboidrases (principalmente as xilanases). As fitases são responsáveis pela hidrólise do fitato, fator

Figura 14: O uso de torta e farelo de algodão vem crescendo em dietas para animais não ruminantes, mas a presença do gossipol ainda é um desafio.

antinutricional presente no farelo de algodão. As xilanases têm como principal substrato os polissacarídeos não amiláceos (fibra), reduzindo a viscosidade da digesta e fazendo uma modulação no microbioma intestinal. Contudo, o uso dessas enzimas nas dietas é uma decisão que envolve muitos fatores, como a qualidade e disponibilidade dos ingredientes, incremento da conversão alimentar com inclusão na ração, estabilidade do produto (enzima) e, principalmente, a relação custo benefício. Não há recomendações definidas para inclusão das enzimas na literatura técnica e científica.

Mesmo sabendo-se que o FA contém menos gossipol livre que o caroço e a torta de algodão, devido aos processos por que passam, seus limites de inclusão em animais não ruminantes são bem menores que em animais ruminantes, daí faz-se necessário algumas estratégias serem utilizadas para melhor aproveitamento do FA na alimentação de não ruminantes.

As tabelas brasileiras de exigências nutricionais e composição de alimentos sugerem uma inclusão máxima de 8% de farelo de algodão para aves e 10% para suínos, por esses últimos terem um sistema digestivo mais adaptado às dietas fibrosas. Segundo Smith (1970), o desempenho dos frangos de corte não foi afetado pela incorporação de FA em dietas equivalentes ao teor de gossipol livre até 100-150 mg kg-1 (SMITH, 1970). A inclusão de FA extraído por prensa ou com solvente em 300 g kg-1, na dieta de frangos fornecendo 120 g de gossipol livre kg-1, não causou qualquer efeito adverso no crescimento.

Os tratamentos térmicos aplicados na produção de farelo de algodão favorecem a formação de complexos inertes e indigestíveis entre o gossipol e a lisina. Na forma complexada, o gossipol não é tóxico aos animais, pois o complexo não é absorvido no trato gastrointestinal. Entretanto, ocorre diminuição na disponibilidade da lisina e na digestibilidade da proteína. Com relação ao gossipol livre, tóxico para suínos e aves, preconiza-se que a toxicidade pode ser prevenida pela adição de sais de ferro à dieta, como o sulfato ferroso, de forma que, para níveis superiores a 100 ppm de gossipol livre, a relação entre ferro e gossipol livre deve ser de 1:1 em peso (MELLO et al., 2012).

Em revisão do uso de farelo de algodão na alimentação de aves, Swiatewicz et al. (2016) concluíram que o farelo de algodão pode ser fornecido com segurança a um nível dietético de 10-15%, ou seja, abaixo de 100 mg kg-1 de gossipol livre na dieta (ŚWIĄTKIEWICZ; ARCZEWSKA-WŁOSEK; JÓZEFIAK, 2016). Entretanto, esse nível de tolerância para gossipol livre na ração de pintinhos varia amplamente de 160 mg kg-1 (HEYWANG; BIRD, 1955) até 1000 mg kg-1 (LIPSTEIN; BORNSTEIN, 1964; NARAIN et al., 1960). Nenhum efeito prejudicial na taxa de crescimento e consumo de ração foi observado por (COUCH; CHANG; LYMAN, 1955) quando alimentados com dietas contendo 600 mg kg-1. A grande variação na tolerância ao gossipol pode ser devido às diferenças na idade e linhagem das aves (HEYWANG; BIRD, 1955), qualidade e quantidade de proteína na ração e conteúdo mineral, particularmente ferro na dieta (NARAIN et al., 1960).

Carvalho et al. (2010) avaliaram o desempenho de frangos de corte de 9 aos 42 dias, submetidos a dietas com níveis de 3, 6, 9 e 12% de inclusão de farelo de algodão e não observaram diferenças no desempenho e rendimento de carcaça dos frangos aos 42 dias de idade (CARVALHO et al., 2010). Assim, o farelo pode ser utilizado até o nível de 12% de inclusão em dietas de frangos de corte sem interferir no desempenho e rendimento de carcaça. Segundo Amorim (2018), com base nos resultados das variáveis de desempenho, peso relativo, composição físico-química e análise sensorial da carne do peito, pode-se usar 40% de substituição da proteína do farelo de soja pela proteína da torta de algodão para frangos de crescimento lento (AMORIM, 2018). Contudo, considerando a análise de custo, a utilização do nível de 10% de substituição foi mais viável e eficiente economicamente.

O uso de farelo de algodão sem o uso de enzimas carboidrases, em substituição de 40% do farelo de soja na ração de frangos de corte, piora a conversão alimentar e diminui a digestibilidade no íleo. A perda de energia já ocorre no nível de 20% de substituição (BATONON-ALAVO et al., 2016; ZHANG; ADEOLA, 2017). Os resultados de alguns estudos mostraram que o processo de fermentação do farelo de algodão, bem como a adição dietética de sulfato de ferro ou lisina, pode aumentar a segurança e o valor nutricional das dietas contendo farelo de algodão para aves. Lançar mão da fermentação microbiana é um dos métodos efetivos para reduzir o teor de gossipol no farelo de algodão, que, além disso, traz como vantagem a incorporação dos metabólitos bacterianos positivos da fermentação, como enzimas, vitaminas, oligossacarídeos, aminoácidos e outros compostos formados durante o processo fermentativo, devendo-se tomar o cuidado de utilizar níveis reduzidos desse ingrediente nas fases iniciais de desenvolvimento das aves (DIAS et al., 2023; NIU et al., 2021). A redução da expressão de genes lipogênicos, com a fermentação do farelo de algodão, foi observado por Nie (2015), que avaliou que isso pode diminuir a deposição de gordura na carcaça dos frangos de corte, melhorando a aceitação de grande parte dos consumidores (NIE et al., 2015).

Embora os produtos de caroço de algodão sejam fontes de alimentação potencialmente úteis para galinhas poedeiras, os efeitos do gossipol e do ácido graxo ciclopropenoide, nos ovos, pode reduzir a utilidade deste coproduto barato durante a produção de ovos (COPE, 2018). Segundo Adeyemo e Longe (2008), em pesquisa sobre o desempenho de poedeiras alimentadas com dietas contendo níveis crescentes torta de algodão de 15, 30, 45 e 60% em substituição do farelo de soja concluíram que a torta de algodão pode substituir até 60% do farelo de soja sem efeitos adversos no desempenho e nas características de qualidade dos ovos das aves poedeiras (ADEYEMO; LONGE 2008).

A torta de algodão pode ser utilizada em até 24% de inclusão com adição de complexo enzimático nas rações de suínos na fase de crescimento II, sem alterar parâmetros de desempenho e característica da carcaça, além de apresentar redução do custo/kg de suíno produzido (FERREIRA et al., 2019). Segundo Palhares (2014), estudos mostraram que se pode substituir a proteína do farelo de soja pela proteína da torta de algodão em até 38,8%, com a inclusão do complexo multienzimático sem prejudicar o desempenho animal e as características de carcaça, e digestibilidade dos nutrientes, e energia de suínos na fase de crescimento ou até o nível de 60% com a suplementação do complexo enzimático prejudicar o desempenho animal e as características de carcaça de suínos na fase de crescimento (PALHARES, 2014; PALHARES et al., 2019).

De maneira geral, os teores de inclusão de farelo de algodão sugeridos pelo Rostagno et al. (2017) na nutrição de aves e suínos são bem aceitas nacionalmente (Tabelas 2 e 3).

Farelo de algodão 30% proteína bruta (PB)

Nível de inclusão (%)	Frangos de corte		Poedeiras
	Inicial	Crescimento	Produção
Prático	2	3	3
Máximo	4	5	5

Farelo de algodão 43% proteína bruta (PB)

Nível de inclusão (%)	Frangos de corte		Poedeiras
	Inicial	Crescimento	Produção
Prático	3	5	5
Máximo	7	8	8

Farelo de algodão 39% proteína bruta (PB)

Nível de inclusão (%)	Frangos de corte		Poedeiras
	Inicial	Crescimento	Produção
Prático	3	5	5
Máximo	7	8	8

Tabela 2: Recomendação de inclusão de farelo de algodão em aves.*
**Adaptado de Rostagno et al. (2017).*

Farelo de algodão 30% proteína bruta (PB)

Nível de inclusão (%)	Suínos em crescimento			Suínos em reprodução	
	Inicial	Crescimento	Terminação	Gestação	Lactação
Prático	2	4	5	5	3
Máximo	4	7	8	8	6

Farelo de algodão 39% proteína bruta (PB)

Nível de inclusão (%)	Suínos em crescimento			Suínos em reprodução	
	Inicial	Crescimento	Terminação	Gestação	Lactação
Prático	3	5	6	6	5
Máximo	5	8	10	10	8

Farelo de algodão 43% proteína bruta (PB)

Nível de inclusão (%)	Suínos em crescimento			Suínos em reprodução	
	Inicial	Crescimento	Terminação	Gestação	Lactação
Prático	3	5	6	6	5
Máximo	5	8	10	10	8

*Tabela 3: Recomendação de inclusão de farelo de algodão em suínos**
**Adaptado de Rostagno et al. (2017).*

No caso de suínos e aves faz-se necessário os ajustes das dietas em função, também, das características quanto à composição aminoacídica, digestibilidade e valores energéticos dos coprodutos do algodão, e suas misturas em dietas completas. Isto também servirá para nortear a utilização do farelo de algodão em peixes.

Estudos vêm sendo feitos visando adicionar aditivos às rações de peixes, para diminuir os efeitos nocivos dos fatores antinutricionais do farelo de algodão. A adição de α-tocoferol (vitamina E), pode servir como antioxidante para evitar efeitos adversos na incorporação de farelo de algodão, em substituição à farinha de peixe. Soltan et al. (2011) concluíram que a incorporação da vitamina E na dieta de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), melhorou a conversão alimentar, peso corporal, crescimento corporal, ganho de peso e taxa de crescimento específico (SOLTAN; FATH EL-BAB; SAUDY, 2011). A inclusão da enzima protease foi relatada por Hassaan et al. (2019), que testou rações para tilápia substituindo farinha de peixe por farelo de algodão, obtendo resultados positivos (HASSAAN et al., 2019).

Atualmente, o farelo de algodão, devido a suas características bromatológicas, passou a ser cogitado na alimentação de espécies de peixes, tornando-se uma excelente alternativa para minimizar custos de produção. As proteínas vegetais podem, portanto, ser consideradas alternativas viáveis para a produção de peixe na maioria dos países em desenvolvimento (ABDUL KADER et al., 2012; HASSAAN et al., 2018). O farelo de algodão tem sido investigado como um ingrediente alternativo potencial, tanto para substituição da farinha de peixe quanto para farinha de soja, devido ao seu custo mais barato, além de estar prontamente disponível em alguns países, particularmente nos Estados Unidos, China, Índia, Brasil e Egito.

Uma série de estudos em truta arco-íris, onde o farelo de algodão substituiu a farinha de peixe inteiramente, ao longo do período de três anos, não mostrou impacto significativo na taxa de crescimento da população dessa espécie (LEE et al., 2006). No estudo de Robinson e Li (1994), bagres do canal, *Ictalurus punctatus*, foram alimentados até a saciedade com dieta contendo 51% de farelo de algodão com lisina suplementada (0,65%) (ROBINSON; LI, 1994). Os resultados indicaram que a taxa de crescimento, a porcentagem e a composição química dos filés não diferiram significativamente dos peixes alimentados com dietas contendo farelo de soja (42%).

No estudo do valor nutricional do farelo de algodão (46% PB) na alimentação e desempenho de alevinos de tambaqui, concluiu-se que o farelo de algodão pode substituir a proteína do farelo de soja em até 100%, sem ocasionar efeitos negativos nos índices zootécnicos ou aumento de mortalidade (SOUZA, 2013). Assim, existe um vasto número de informações sobre a utilização do farelo de algodão em peixes com bons resultados, e os limites de inclusão em dietas são bastante variáveis, demonstrando a necessidade de mais estudos.

A determinação do nível de utilização do farelo de algodão na dieta de peixes depende de uma série de fatores. As diferentes espécies de peixes criados em cativeiro têm hábitos alimentares distintos, e, consequentemente, exigências nutricionais muito diferentes. Os peixes carnívoros, por exemplo, têm uma alta demanda por fontes de proteína animal (farelo de peixe) para atender às demandas aminoacídicas. Apesar do farelo de algodão ser um ingrediente muito promissor para a piscicultura, devido ao alto teor proteico, ainda há necessidade de mais estudos científicos, visando embasar as recomendações de inclusão desse ingrediente na dieta das diferentes espécies de peixes criadas no Brasil.

As proporções de coprodutos de algodão, considerando as concentrações de gossipol, na prática, são difíceis de serem relacionadas para dosar quantidades de um ou outro na dieta total de uma determinada espécie/categoria animal, isto porque existem diversas variáveis que interferem nas proporções e nas concentrações de gossipol presentes nos coprodutos do algodão. Espécies diferentes, raças, níveis de produção, categoria animal, variedade ou cultivar de algodão, condições climáticas, tipo de processo de beneficiamento do caroço de algodão, etc. Assim, torna-se impraticável associar-se proporções de coprodutos com concentrações de gossipol. Duas dietas com proporções iguais de algum coproduto podem ter concentrações de gossipol diferentes, dependendo do lote do coproduto do algodão.

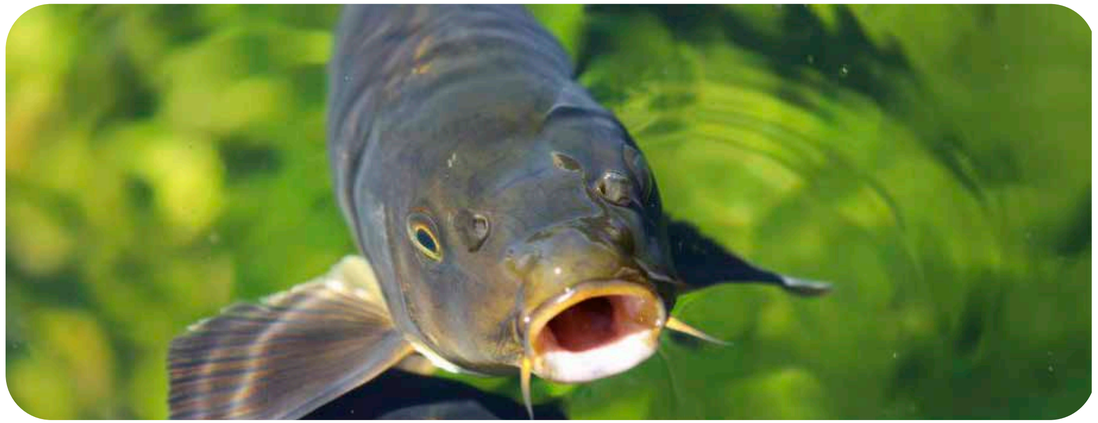
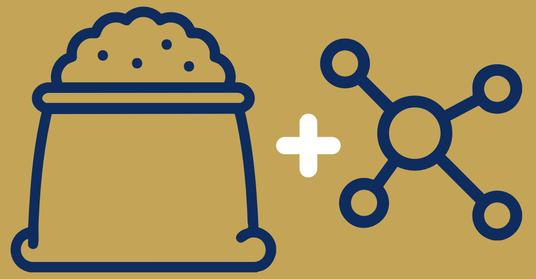


Figura 15: Uso de farelo de algodão na psicultura é promissor, mas ainda carece de mais estudos.

Todos os subprodutos ou coprodutos do algodoeiro (*Gossypium* sp.) tais quais, o caroço, a casca, farelos, resíduos e tortas devem ter as "Garantias obrigatórias de rotulagem": Umidade - máx.; Proteína Bruta - mín.; Extrato Etéreo - mín.; Fibra Bruta - máx.; Fibra em Detergente Ácido - máx.; Fibra em Detergente Neutro - mín.; Matéria Mineral - máx., exigidas pelo MAPA estão contidas na lista atualizada em 13 de agosto de 2024, segundo parágrafo único, do artigo 1º, da Instrução Normativa nº 110, de 24 de novembro de 2020. Os valores constantes nessas garantias são oriundos das análises químico-bromatológicas e deverão ser obrigatórios nas rotulagens dos produtos e ingredientes destinados à alimentação animal. Para isto, existem os responsáveis técnicos que atendem aos procedimentos estabelecidos nos artigos da Instrução Normativa nº 5, de 03 de agosto de 2020. Estes valores deverão indicar, para alguns parâmetros, os valores mínimos e máximos exigidos por lei. Esses valores são bastante variáveis devido aos valores nas composições dos coprodutos e origens dos materiais que os originaram, e do processo de manipulação dos mesmos.

Vários estudos apontam que a torta e o farelo de algodão podem substituir parcial ou totalmente o farelo de soja e milho para ruminantes.



O farelo de algodão associado com enzimas torna-se um ingrediente viável para a alimentação de não ruminantes.

7. Efeito dos coprodutos de algodão no sabor da carne

Os coprodutos do caroço do algodão podem ser utilizados como alternativas para substituir ingredientes com altos teores de gorduras saturadas já que são fontes de ácidos graxos poli-insaturados. A utilização da torta de algodão pode contribuir para a maximização de deposição de tecido muscular, características organolépticas desejáveis e melhor composição química da carne, com o incremento de ácidos graxos poli-insaturados, que podem melhorar a aceitabilidade do consumidor, já que os atuais buscam uma alimentação saudável e com qualidade nutricional elevada, aroma, textura e sabor favoráveis (ALVES et al., 2014).

Alguns alimentos influenciam negativamente o sabor da carne, principalmente por modificar o perfil do teor de lipídeos e isto está relacionado com a espécie alimentada, e do tempo total ou duração da alimentação (MELTON, 1990). Segundo Mottram (1998), é possível aumentar o teor de ácidos graxos insaturados na gordura bovina aumentando o teor de lipídeo da dieta fornecida (MOTTRAM, 1998). No entanto, se este aumento no fornecimento aos animais for demasiado, poderá acarretar rancificação oxidativa, que, por sua vez, gera sabor desagradável na carne. Portanto, a adição de lipídeos protegidos em dietas para ruminantes, como é o caso do caroço de algodão, pode alterar o sabor da carne, principalmente, quando acima dos limites preconizados. Essa assertiva corrobora com resultados de que grande quantidade de gorduras, principalmente aquelas ricas em ácidos graxos insaturados, presente no caroço de algodão, podem causar alteração na fermentação ruminal, devida à supressão das atividades de bactérias celulolíticas e metanogênicas (VAN SOESTE, 1994), alterando características da carne, incluindo aí o sabor.

Figura 16: Caroço de algodão utilizado, na medida adequada, em rações para bovinos de corte, em confinamento, não causa rejeição da carne.

O caroço de algodão integral pode ser empregado nas rações para bovinos de corte em confinamento, constituindo até 20% da matéria seca da dieta, sem causar rejeição da carne produzida ou provocar alterações importantes nas características de carcaça, proporcionando, inclusive, melhores resultados de desempenho. Entretanto, atenção especial deve ser dada à qualidade e ao tipo de caroço de algodão fornecido aos animais (PESCE, 2008).

Os animais terminados em confinamento com período mais curto, como comumente utilizado no Brasil, proporcionam melhor composição lipídica. O caroço de algodão inteiro proporciona mais maciez e carne fresca em animais acabados por 111 dias. Estudos mostram que a utilização de caroço de algodão para bovinos em confinamento até o nível máximo de 30% na dieta total, e salientam que o sabor e o aroma da carne poderiam estar comprometidos com a utilização de níveis acima de 30%, pois esta alteração poderia gerar sabor e odor característicos à carne dos animais (FERRINHO et al., 2018; PRADO; MOREIRA, 2002). Em outra pesquisa, a inclusão de até 32% de caroço de algodão inteiro em dietas de animais em fase de acabamento não ocasiona efeitos negativos na qualidade ou aceitabilidade da carne (GOUVÊA et al., 2020). A utilização de até 34,09% de caroço de algodão na dieta de novilhos Nelore não causa oxidação lipídica da carne e não altera a força de cisalhamento nem a cor da carne e da gordura, porém, o aroma e sabor são alterados negativamente pela adição de caroço de algodão acima de 34,09% da dieta (COSTA et al., 2013).

Em ovinos, Corte et al. (2015) não encontraram efeitos negativos na carne de cordeiros de engorda alimentados com níveis de até 20% de caroço de algodão em dietas (RUEGGER CORTE et al., 2015).

Bovinos alimentados com até 30% de caroço de algodão na dieta não têm o sabor da carne alterada.

Cordeiros alimentados com até 20% de caroço de algodão na dieta não têm o sabor da carne alterada.

8. Considerações finais

Tanto o caroço, a torta e o farelo de algodão podem substituir parcial ou totalmente o farelo de soja e o DDG/DDGS (*distillers dried grains/distillers dried grains with solubles*), principalmente em áreas onde o cultivo do algodão e/ou agroindústrias de processamento estão presentes em maior escala, gerando os subprodutos referidos e disponibilizando-os para os mercados pecuários locais com preços competitivos, podendo contribuir para a redução dos custos das dietas dos animais, a partir de formulações orientadas por especialistas que buscam atender os princípios nutritivos e saúde dos animais ao respeitarem os limites de inclusão destes subprodutos das dietas.

Os coprodutos da cultura do algodão são excelentes alternativas confiáveis para a alimentação de ruminantes, suínos e aves, desde que sejam utilizados os níveis recomendados para estas espécies, em decorrência da presença de gossipol, cujo excesso poderá ocasionar aos animais problemas já especificados aqui. Porém, a grande variação nos níveis desta substância nos coprodutos indica que a recomendação de utilização deve ser feita de forma cuidadosa e fundamentada na análise do coproduto no momento de utilização. Para isso, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos de avaliação práticos e rápidos para a determinação do nível de gossipol presente, bem como uma cadeia de laboratórios regionais disponíveis e habilitados para esse tipo de análise nas regiões diversas do Brasil.

Outro fator que deve ser considerado na alimentação animal é observar os limites de inclusão de extrato etéreo ou gordura (lipídeos) na dieta total que não deve exceder 5-7%. E para não -ruminantes, observar os níveis de PNAs da dieta total para não prejudicar o desempenho animal pelo excesso de fibras.

9. Referências bibliográficas

ABDALLA, A. L. et al. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. spe, p. 260–268, jul. 2008.

ABDUL KADER, MD. et al. Can fermented soybean meal and squid by-product blend be used as fishmeal replacements for Japanese flounder (Paralichthys olivaceus)? **Aquaculture Research**, v. 43, n. 10, p. 1427–1438, set. 2012.

ABRAPA. **Quais as projeções para o algodão nos próximos10 anos?** Disponível em: <https://abrapa.com.br/2023/09/18/quais-as-projecoes-para-o--algodao-nos-proximos-10-anos/>. Acesso em: 19 set. 2024.

ABRAPA. **BI Cotton Brazil – Plataforma Cotton BI.**, 2024. Disponível em: <https://cottonbi.com.br/>. Acesso em: 19 set. 2024.

ADEYEMO, G. O.; LONGE, O. G. Effects of cottonseed cake based diets on performance and egg quality characteristics of layers. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 7, n. 4, p. 597–602, 2008.

ALVES, A. F. et al. Substituição do farelo de soja por farelo de algodão de alta energia em dietas para vacas leiteiras em produção: consumo, digestibilidade dos nutrientes, balanço de nitrogênio e produção leiteira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 3, p. 532–540, mar. 2010.

ALVES, L. G. et al. Produção de carne ovina com foco no consumidor. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2399–2415, 2014.

AMBROSE, A. M.; ROBBINS, D. J. Studies on the Chronic Oral Toxicity of Cottonseed Meal and Cottonseed Pigment Glands. **The Journal of Nutrition**, v. 43, n. 3, p. 357–370, mar. 1951.

AMORIM, A. B.; ZANGERONIMO, M. G.; THOMAZ, M. C. Enzimas exógenas para suínos. **Nutri-Time**, v. 8, n. 2, p. 1469–1481, 2011.

AMORIM, A. F. **Utilização da torta de algodão em dietas de frangos de crescimento lento**. Dissertação de Doutorado—Araguaína: Universidade Federal do Tocantins, 2018.

ARCANJO, A. H. M. et al. Cotton cake as an economically viable alternative fibre source of forage in a high-concentrate diet for finishing beef cattle in feedlots. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, n. 2, p. 112, abr. 2022.

ARIELI, A. Energetic value of whole cottonseeds fed for maintenance of sheep at 2 levels in the diet. **Livestock Production Science**, v. 31, n. 3–4, p. 301–311, jun. 1992.

ARIELI, A. Whole cottonseed in dairy cattle feeding: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 72, n. 1–2, p. 97–110, maio 1998.

ARUDE, V. G. Significance of scientific processing of cottonseed in cotton value chain. **Journal of Cotton Research and Development**, v. 37, n. 1, p. 115–126, 2023.

BATONON-ALAVO, D. I. et al. Simultaneous inclusion of sorghum and cottonseed meal or millet in broiler diets: effects on performance and nutrient digestibility. **Animal**, v. 10, n. 7, p. 1118–1128, 2016.

BITTENCOURT, C. A. et al. Replacement of soybean meal with alternative protein sources in the concentrate supplement for lactating Holstein × Gyr cows in an intensive tropical pasture-based system: Effects on performance, milk composition, and diurnal ingestive behavior. **Livestock Science**, v. 259, p. 104898, maio 2022.

BORDA-MOLINA, D. et al. Effects of protease and phytase supplements on small intestinal microbiota and amino acid digestibility in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 98, n. 7, p. 2906–2918, jul. 2019.

BRASIL. IN 8/2004. MAPA. I**nstrução Normativa 8/2004**. Proíbe em todo o território nacional a produção, a comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua composição proteínas e gorduras de origem animal. 26 mar. 2004. D.O.U., 26/03/2004.

Disponível em <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=178957228>. Acesso em 1 ago. 2024.

BRASIL. IN 110/2020. SDA/MAPA. **Instrução Normativa 110/2020**. Publica a lista de matérias-primas aprovadas como ingredientes, aditivos e veículos para uso na alimentação animal. 9 dez. 2020. D.O.U. 09/12/2020. Disponível em < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/INM000001101.pdf>. Acesso em 23 out. 2024.

BRASIL. **Portaria 359**. SDA/MAPA. Altera a lista de matérias-primas, aditivos e veículos do anexo da Instrução Normativa SDA nº 110, de 24 de novembro de 2020 e informa sobre a publicação da lista atualizada no site do MAPA. 9 jul. 2021. D.O.U. 13/07/2021.

Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/arquivos-alimentacao-animal/legislacao/POR000003592021.pdf>. Acesso em 23 out. 2024.

BRITO, R. M. D. et al. Degradabilidade in situ e parâmetros ruminais em bovinos alimentados com dietas balanceadas para diferentes ganhos de peso e potenciais de fermentação microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5 suppl, p. 1639–1650, out. 2007.

CABALLERO MASCHERONI, J. D. et al. Inclusión de niveles de expeller de algodón en la alimentación de ovinos confinados: comportamiento productivo, características de la canal y calidad de la carne. **Manglar**, v. 20, n. 3, p. 195–200, 9 out. 2023.

CAI, Y.; XIE, Y.; LIU, J. Glandless seed and glanded plant research in cotton. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 1, p. 181–190, mar. 2010.

CAMPESTRINI, E.; SILVA, V. T. M.; APPELT, M. D. Utilização de enzimas na alimentação animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 2, n. 6, p. 259–272, 2005.

CANIKLI, A. et al. Nutritional composition, antioxidant activity and gossypol level of Nazilli glandless cottonseed, cottonseed kernel and their cold-pressed meal. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 12, n. 1, p. 59, 10 jun. 2023.

CARVALHO, C. B. D. et al. Avaliação nutricional do farelo de algodão de alta energia no desempenho produtivo e características de carcaças de frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1166–1172, maio 2010.

CENKVÁRI, É. et al. Investigations on the effects of Ca-soap of linseed oil on rumen fermentation in sheep and on milk composition of goats. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 89, n. 3–6, p. 172–178, abr. 2005.

CHOCT, M. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. **Feed Milling International**, p. 13–26, 1997.

CONTE, A. J. et al. Efeito da fitase e xilanase sobre o desempenho e as características ósseas de frangos de corte alimentados com dietas contendo farelo de arroz. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1147–1156, out. 2003.

COPE, R. B. Cottonseed Toxicity. Em: **Veterinary Toxicology**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 967–980.

COPPOCK, C. E.; LANHAM, J. K.; HORNER, J. L. A review of the nutritive value and utilization of whole cottonseed, cottonseed meal and associated by-products by dairy cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 18, n. 2, p. 89–129, 1 set. 1987.

COSTA, D. P. B. D. et al. Meat characteristics of Nellore steers fed whole cottonseed. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 3, p. 183–192, mar. 2013.

COUCH, J. R.; CHANG, W. Y.; LYMAN, C. M. The Effect of Free Gossypol on Chick Growth. **Poultry Science**, v. 34, n. 1, p. 178–183, jan. 1955.

DA COSTA, L. F. et al. Optimizing recycled asphalt mixtures with zeolite, cottonseed oil, and varied RAP content for enhanced performance and circular economy impact. **Case Studies in Construction Materials**, v. 20, p. e02707, 1 jul. 2024.

DIAS, A. G. F. et al. Farelo de algodão na alimentação de frangos de corte e suínos: Revisão de literatura. Em: MEDEIROS, J. A.; NIRO, C. M. (Eds.). **Produção Animal e Vegetal: Inovações e Atualidades - Volume 2**. 1. ed. [s.l.] Agron Food Academy, 2023.

EAGLE, E. Chronic Toxicity of Gossypol. **Science**, v. 109, n. 2832, p. 361–361, 8 abr. 1949.

EL-NOMEARY, Y. A. A. et al. Effect of different dietary protein sources on digestibility and growth performance parameters in lambs. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 45, n. 1, p. 40, dez. 2021.

FAGUNDES, D. G. **Características físico-químicas, perfil de ácidos graxos, aroma e sabor da carne de cordeiros alimentados com torta de algodão**. Dissertação de Mestrado—Cuiabá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, 2014.

FERREIRA, D. N. M. et al. Desempenho e características de carcaça de suínos em crescimento alimentados com torta de algodão e complexo enzimático. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1616–1622, out. 2019.

FERRINHO, A. M. et al. Whole cottonseed, vitamin E and finishing period affect the fatty acid profile and sensory traits of meat products from Nellore cattle. **Meat Science**, v. 138, p. 15–22, abr. 2018.

FREIRE, R. M. M. Química do algodoeiro. Em: **Algodão**. 500 perguntas 500 respostas. Brasília: Embrapa, 2004. p. 227–237.

GADELHA, I. C. N. et al. Gossypol Toxicity from Cottonseed Products. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1–11, 2014.

GANESAN, S. et al. Environmental impact of VCR diesel engine characteristics using blends of cottonseed oil with nano additives. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 42, n. 6, p. 761–772, 18 mar. 2020.

GAO, W. et al. Rumen Degradability and Post-ruminal Digestion of Dry Matter, Nitrogen and Amino Acids of Three Protein Supplements. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 4, p. 485–493, 14 fev. 2015.

GENEROSO, R. A. R. et al. Composição química e energética de alguns alimentos para frangos de corte em duas idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 7, p. 1251–1256, jul. 2008.

GOUVÊA, V. N. D. et al. Effects of soybean oil or various levels of whole cottonseed on growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing bulls. **Livestock Science**, v. 232, p. 103934, fev. 2020.

HAIGLER, C. H. et al. Cotton fiber: a powerful single-cell model for cell wall and cellulose research. v. 18, n. 18, p. 35–1, 2012.

HARVATINE, D. I.; FIRKINS, J. L.; EASTRIDGE, M. L. Whole Linted Cottonseed as a Forage Substitute Fed with Ground or Steam-flaked Corn: Digestibility and Performance,. Journal of Dairy Science, v. 85, n. 8, p. 1976–1987, ago. 2002.

HASSAAN, M. S. et al. Growth and physiological responses of Nile tilapia, Oreochromis niloticus fed dietary fermented sunflower meal inoculated with Saccharomyces cerevisiae and Bacillus subtilis. Aquaculture, v. 495, p. 592–601, out. 2018.

HASSAAN, M. S. et al. Partial dietary fish meal replacement with cotton seed meal and supplementation with exogenous protease alters growth, feed performance, hematological indices and associated gene expression markers (GH, IGF-I) for Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Aquaculture, v. 503, p. 282–292, mar. 2019.

HATAMOTO-ZERVOUDAKIS, L. K. et al. Free gossypol supplementation frequency and reproductive toxicity in young bulls. **Theriogenology**, v. 110, p. 153–157, abr. 2018.

HEYWANG, B. W.; BIRD, H. R. Relationship between the Weight of Chicks and Levels of Dietary Free Gossypol Supplied by Different Cottonseed Products. **Poultry Science**, v. 34, n. 6, p. 1239–1247, nov. 1955.

HODGES, K. M. et al. Replacing cottonseed meal and sorghum grain with corn dried distillers' grains with solubles in lamb feedlot diets: carcass, trained sensory panel, and volatile aroma compounds traits. J**ournal of Animal Science**, v. 98, n. 6, p. skaa182, 1 jun. 2020.

IMAIZUMI, H. et al. Replacing soybean meal for cottonseed meal on performance of lactating dairy cows. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 1, p. 139–144, jan. 2016.

IYEGHE-ERAKPOTOBOR, G. T. et al. Semen Characteristics and Testiculo-Epididymal Histology of Red Sokoto Bucks Fed Whole Cottonseed and Cottonseed Cake. **Nigerian Journal of Animal Production**, v. 49, n. 5, p. 75–86, 26 maio 2023.

JIMENEZ, C. R. et al. Cottonseed (gossypol) intake during gestation and lactation does affect the ovarian population in ewes and lambs? **Research in Veterinary Science**, v. 135, p. 557–567, mar. 2021.

JORGE, F. A. S. **Estudo da adsorção do gossipol existente em óleo de semente de algodão**. Dissertação de Mestrado—Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006.

KALOGIANNI, A. I. et al. The Effects of Replacing Soybean Meal with Rapeseed Meal, Cottonseed Cake, and Fava Beans on the Milk Yield and Quality Traits in Milking Ewes. **Animals**, v. 12, n. 3, p. 274, 22 jan. 2022.

KEELE, J. W.; ROFFLER, R. E.; BEYERS, K. Z. Ruminal Metabolism in Nonlactating Cows Fed Whole Cottonseed or Extruded Soybeans. **Journal of Animal Science,** v. 67, n. 6, p. 1612, 1989.

KENAR, J. A. Reaction chemistry of gossypol and its derivatives. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 83, n. 4, p. 269–302, abr. 2006.

KOBA, K.; YANAGITA, T. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). **Obesity Research & Clinical Practice**, v. 8, n. 6, p. e525–e532, nov. 2014.

KOZLOZKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. [s.l.] Editora UFSM, 2010.

KUMAR, M. et al. Cottonseed: A sustainable contributor to global protein requirements. **Trends in Food Science & Technology**, v. 111, p. 100–113, 1 maio 2021.

KUMAR, M. et al. Evaluation of detoxified cottonseed protein isolate for application as food supplement. **Toxin Reviews**, v. 41, n. 2, p. 412–419, 3 abr. 2022.

KUMAR, M. et al. Cottonseed Oil: Extraction, Characterization, Health Benefits, Safety Profile, and Application. **Food Analytical Methods**, v. 16, n. 2, p. 266–280, 1 fev. 2023.

LEE, K.-J. et al. Long-term effects of dietary cottonseed meal on growth and reproductive performance of rainbow trout: Three-year study. **Animal Feed Science and Technology**, v. 126, n. 1–2, p. 93–106, fev. 2006.

LIMA, L. R. **Torta de algodão na dieta de cordeiros confinados**. Dissertação de Mestrado - Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.

LIPSTEIN, B.; BORNSTEIN, S. Studies with acidulated cottonseed-oil soapstock. **Poultry Science**, v. 43, n. 3, p. 694–701, maio 1964.

LORDELO, M. M. et al. Relative toxicity of gossypol enantiomers in broilers. **Poultry Science**, v. 84, n. 9, p. 1376–1382, set. 2005.

MA, M. et al. Physicochemical and functional properties of protein isolate obtained from cottonseed meal. **Food Chemistry**, v. 240, p. 856–862, fev. 2018.

MA, X. et al. Chemical composition, energy content and amino acid digestibility in cottonseed meals fed to growing pigs. **Journal of Applied Animal Research**, v. 47, n. 1, p. 280–288, 1 jan. 2019.

MAIA, F. J. et al. Inclusão de fontes de óleo na dieta de cabras em lactação: digestibilidade dos nutrientes e parâmetros ruminais e sanguíneos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 4, p. 1496–1503, ago. 2006.

MELLO, G. et al. Farelo de algodão em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, n. 233, p. 55–62, mar. 2012.

MELLO, R. R. C. M. et al. Efeitos do caroço de algodão sobre a reprodução de bovinos. **Pubvet**, v. 12, n. 10, 20 nov. 2018.

MELTON, S. L. Effects of feeds on flavor of red meat: a review. J**ournal of Animal Science**, v. 68, n. 12, p. 4421–4435, 1 dez. 1990.

MIRANDA, L. M. B. D. et al. Cottonseed meal in broiler diets with or without enzyme supplements. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, 2017.

MOTTRAM, D. S. Flavour formation in meat and meat products: a review. **Food Chemistry**, v. 62, n. 4, p. 415–424, ago. 1998.

MULLENIX, M. K. et al. Invited Review: Using whole cottonseed and cotton harvest residue in southeastern US beef cattle diets: Quality, intake, and changes in feed characteristics. **Applied Animal Science**, v. 38, n. 5, p. 447–455, 1 out. 2022.

MUÑOZ, C. et al. Long-Term and Carryover Effects of Supplementation with Whole Oilseeds on Methane Emission, Milk Production and Milk Fatty Acid Profile of Grazing Dairy Cows. **Animals**, v. 11, n. 10, p. 2978, 15 out. 2021.

MUZAFFARUDDIN, M.; SAXENA, E. R. Physicochemical studies on the composition and stability of metal-gossypol complexes. I. Fe +++ gossypol complex. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 43, n. 7, p. 429–430, jul. 1966.

NARAIN, R. et al. Effect of Protein Level of the Diet on Free Gossypol Tolerance in Chicks. **Poultry Science**, v. 39, n. 6, p. 1556–1559, nov. 1960.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2021. p. 25806

NEGRÃO, F. D. M. et al. Rumen fermentation and metabolic profile of rams fed with diets amended cottonseed cake. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, n. 6, p. 548, dez. 2021.

NEGRÃO, F. D. M. et al. Performance, carcass yield and economic viability of sheep fed diets containing by-product of cotton agribusiness. **AIMS Agriculture and Food**, v. 9, n. 2, p. 411–429, 2024

NIE, C. et al. Effect of Cottonseed Meal Fermented with Yeast on the Lipid-related Gene Expression in Broiler Chickens. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 17, n. spe, p. 57–64, dez. 2015.

NIU, J. L. et al. Fermented cottonseed meal improves production performance and reduces fat deposition in broiler chickens. **Animal Bioscience**, v. 34, n. 4, p. 680–691, 1 abr. 2021.

O'BRIEN, R. D. et al. Cottonseed oil. Em: **Bailey's industrial oil and fat products**. Hoboken, NJ: Fereidoon Shahidi, 2005. v. 2p. 173–279.

PAIM, T. D. P. et al. Carcass traits and fatty acid profile of meat from lambs fed different cottonseed by-products. **Small Ruminant Research**, v. 116, n. 2–3, p. 71–77, fev. 2014.

PAIM, T. P. et al. Uso de subprodutos do algodão na nutrição de ruminantes. **Ciência Veterinária dos Trópicos**, v. 13, n. 1/2/3, p. 24–37, 2010.

PALHARES, L. O. **Utilização da torta de algodão com ou sem enzimas para suínos em crescimento**. Dissertação de Mestrado - Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

PALHARES, L. O. et al. Utilization of an enzyme complex in diets containing cottonseed cake for growing pigs. **Ciência Animal Brasileira**, v. 20, p. e-56254, 2019.

PALMQUIST, D. L. The role of dietary fats in efficiency of ruminants. **The Journal of Nutrition**, v. 124, n. Supplement 8, p. 1377S-1382S, 1994.

PANDEYA, D. et al. Gossypol and related compounds are produced and accumulate in the aboveground parts of the cotton plant, independent of roots as the source. **Planta**, v. 257, n. 1, p. 21, jan. 2023.

PARK, S. et al. Chemical defense responses of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. to physical wounding. Plant Direct, v. 3, n. 5, p. e00141, maio 2019.

PEREIRA, L. et al. Nutritional Characteristics of Lambs Meat Fed Diets with Cotton Cake. **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 2, p. 140–149, abr. 2016.

PESCE, D. M. C. E**feito da dieta contendo caroço de algodão no desempenho, características quantitativas da carcaça e qualitativas da carne de novilhos Nelore confinados**. Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal—Pirassununga: Universidade de São Paulo, 17 mar. 2008.

PHYU, H. W. et al. A study on the effects of cottonseed cake on histopathological changes of liver in sheep. **International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry**, v. 2, n. 4, p. 10–13, 2017.

PIERCE, R. B. et al. Effect of feeding increasing levels of whole cottonseed on milk and milk components, milk fatty acid profile, and total-tract digestibility in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 5, p. 2916–2929, maio 2024.

POLIZEL NETO, A. et al. Cottonseed and Soy-bean agro-industrial by-products used in feedlot cattle diet: effects on beef fatty acid profile and quality parameters. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 23, p. e202100082022, 2022.

PRADO, I. N.; MOREIRA, F. B. **Suplementação de bovinos no pasto e alimentos alternativos usados na bovinocultura**. Maringá: Eduem, 2002.

PRAWIRODIGDO, S. et al. Nitrogen retention in pigs given diets containing cottonseed meal or soybean meal. **Animal Feed Science and Technology**, v. 67, n. 2–3, p. 205–211, jul. 1997.

RANDEL, R. D.; CHASE, C. C.; WYSE, S. J. Effects of gossypol and cottonseed products on reproduction of mammals. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 5, p. 1628–1638, 1 maio 1992.

RATHORE, K. S. et al. Ultra-low gossypol cottonseed: selective gene silencing opens up a vast resource of plant-based protein to improve human nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 39, n. 1, p. 1–29, 2 jan. 2020.

RIAZ, T. et al. Cottonseed oil: A review of extraction techniques, physicochemical, functional, and nutritional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 9, p. 1219–1237, 3 abr. 2023.

ROBINSON, E. H.; LI, M. H. Use of Plant Proteins in Catfish Feeds: Replacement of Soybean Meal with Cottonseed Meal and Replacement of Fish Meal with Soybean Meal and Cottonseed Meal. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 25, n. 2, p. 271–276, jun. 1994.

ROGERS, G. M.; POORE, M. H.; PASCHAL, J. C. Feeding cotton products to cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 18, n. 2, p. 267–294, jul. 2002.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M.I. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2017. 488p.

RUEGGER CORTE, R. et al. Performance, carcass traits and meat quality of crossbred lambs fed whole cottonseed levels. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, n. 4, p. 3685, jan. 2015.

SALAS, C. et al. The TMEn, Proximate Analysis, Amino Acid Content and Amino AcidDigestibility of Glandless and Commercial Cottonseed Meal for Broilers. **International Journal of Poultry Science**, v. 12, n. 4, p. 212–216, 15 mar. 2013.

SALAZAR-VILLANEA, S. et al. Pelleting and extrusion can ameliorate negative effects of toasting of rapeseed meal on protein digestibility in growing pigs. **Animal**, v. 12, n. 5, p. 950–958, 2018.

SALLES, M. S. V. et al. Which oilseed meal provides a higher yield and better nutrient profile of milk in grazing cows? **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, n. 1, p. 57, mar. 2021.

SANTANA, D. F. Y. et al. Consumo de matéria seca e desempenho de novilhas das raças Girolando e Guzerá sob suplementação na caatinga, na época chuvosa, em Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 10, p. 2148–2154, out. 2010.

SANTOS, A. B. et al. Nitrogen Metabolism in Lactating Goats Fed with Diets Containing Different Protein Sources. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 27, n. 5, p. 658–666, 22 abr. 2014.

SANTOS E SILVA, L. Óleo de soja como suplementação lipídica para ruminantes leiteiros e precursor de fator antiobesidade no leite: revisão. **Science and Animal Health**, v. 8, n. 2, p. 158–175, 25 jul. 2022.

SANTOS, I. C. S. et al. **Beneficiamento de algodão orgânico no agreste paraibano. Anais do VII Congresso Brasileiro do Algodão**. Anais... Em: VII CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO. Foz do Iguaçu: 2009. Disponível em: <https://algodaoagroecologico.com/wp-content/uploads/2022/10/Beneficiamento-de-algodao-organico-no-agreste-paraibano.pdf>

SANTOS, M. D. et al. Qualidade seminal, morfologia dos testículos e epidídimos de touros submetidos à dieta contendo gossipol. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 4, p. 975–980, ago. 2013.

SCHEFFLER, J. A. Evaluating Protective Terpenoid Aldehyde Compounds in Cotton (*Gossypium hirsutum*; L.) Roots. American Journal of Plant Sciences, v. 07, n. 07, p. 1086–1097, 2016.

SCZOSTAK, A. Cotton Linters: An Alternative Cellulosic Raw Material. **Macromolecular Symposia**, v. 280, n. 1, p. 45–53, jun. 2009.

SIDDIQUE, A. et al. Up-gradation of the dielectric, physical & chemical properties of cottonseed-based, non-edible green nanofluids as sustainable alternatives for high-voltage equipment's insulation fluids. **Heliyon**, v. 10, n. 7, p. e28352, 15 abr. 2024.

SILVA, F. M. D. et al. Replacement of soybean meal by cottonseed meal in diets based on spineless cactus for lactating cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 10, p. 1995–2000, out. 2009.

SILVA, R. V. M. M. et al. Cottonseed cake in substitution of soybean meal in diets for finishing lambs. **Small Ruminant Research**, v. 137, p. 183–188, abr. 2016a.

SILVA, R. V. M. M. et al. Nitrogen balance, microbial protein synthesis and ingestive behavior of lambs fed diets containing cottonseed cake in substitution of soybean meal. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 2155, 30 ago. 2016b.

SMITH, K. J. Practical significance of gossypol in feed formulation. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 47, n. 11, p. 448–450, nov. 1970.

SOLOMON, M.; MELAKU, S.; TOLERA, A. Supplementation of cottonseed meal on feed intake, digestibility, live weight and carcass parameters of Sidama goats. **Livestock Science**, v. 119, n. 1–3, p. 137–144, dez. 2008.

SOLTAN, M.; FATH EL-BAB, A.; SAUDY, A.-N. Effect of replacing dietary fish meal by cottonseed meal on growth performance and feed utilization of the Nile tilapia, (Oreochromis niloticus). **Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries**, v. 15, n. 2, p. 17–33, 1 abr. 2011.

SOUZA, D. C. **Farelo de algodão na alimentação de alevinos e juvenis de tambaqui**. Dissertação de Mestrado - Araguaína: Universidade Federal do Tocantins, 2013.

SUN, Y. et al. GoPGS regulates cotton pigment gland size and contributes to biotic stress tolerance through jasmonic acid pathways. **New Phytologist**, v. 243, n. 3, p. 839–845, ago. 2024.

SUNILKUMAR, G. et al. Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 48, p. 18054–18059, 28 nov. 2006.

ŚWIĄTKIEWICZ, S.; ARCZEWSKA-WŁOSEK, A.; JÓZEFIAK, D. The use of cottonseed meal as a protein source for poultry: an updated review. **World's Poultry Science Journal**, v. 72, n. 3, p. 473–484, 1 set. 2016.

TALIPOV, S. A. et al. Gossypol clathrates: Structure and thermal behavior of gossypol solvates with two picoline isomers. **Journal of Structural Chemistry**, v. 52, n. 1, p. 186–192, fev. 2011.

UDDIN, H. et al. Effect of Cotton Seed Cake on Cattle Milk Yield and Composition at Livestock Research and Development Station Surezai, Peshawar, Pakistan. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 12, n. 5, p. 468–475, 15 abr. 2013.

URRIOLA, P. E.; STEIN, H. H. Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 4, p. 1454–1462, 1 abr. 2010.

USDA. **Cotton: World markets and trade - 24/25 global use forecast at 4-year high**. [s.l.] USDA, maio 2024. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/kp78gg36g/b8517b87p/cj82mz04k/cotton.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2024.

VALADARES FILHO, S. C. et al. **BR-CORTE 4.0. Formulação de dietas, predição de desempenho e análise econômica de zebuínos puros e cruzados**, 2020. Disponível em: <www.brcorte.com.br>

VALADARES FILHO, S. C.; LOPES, S. A. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para ruminantes**. Disponível em: <https://www.cqbal.com.br/#!/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

VALADARES FILHO, S. D. C. et al. **CQBAL 4.0**. Disponível em: <https://www.cqbal.com.br/>. Acesso em: 19 set. 2024.

VAN SOESTE, P. J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2. ed. [s.l.] Cornell University Press, 1994.

VIDAL, N. P. et al. Enhancing the nutritional value of cold-pressed oilseed cakes through extrusion cooking. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 77, p. 102956, maio 2022.

VIRK, G.; SNIDER, J. L.; BOURLAND, F. Genotypic and environmental contributions to lint yield, yield components, and fiber quality in upland cotton from Arkansas variety trials over a 19-year period. **Crop Science**, v. 63, n. 3, p. 1284–1299, 2023.

VONSUL, M.-I.; WEBSTER, D. C. Investigation of cottonseed oil as renewable source for the development of highly functional UV-curable materials. **Progress in Organic Coatings**, v. 185, p. 107883, 1 dez. 2023.

WALDEOUP, P. W.; GOODNER, T. O. Tolerance Levels of Free Gossypol in Layer Diets as Influenced by Iron: Gossypol Ratios. **Poultry Science**, v. 52, n. 1, p. 20–28, jan. 1973.

WANG, C.; YEUNG, R. T. T. Gossypol and hypokalaemia. **Contraception**, v. 32, n. 3, p. 237–252, set. 1985.

WANG, X. et al. Chapter 6 Gossypol-A Polyphenolic Compound from Cotton Plant. Em: **Advances in Food and Nutrition Research**. [s.l.] Elsevier, 2009. v. 58p. 215–263.

WILKERSON, V. A.; CASPER, D. P.; MERTENS, D. R. The Prediction of Methane Production of Holstein Cows by Several Equations. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 11, p. 2402–2414, nov. 1995.

WILLCUTT, M. H.; MAYFIELD, W. D. Cottonseed handling and storage. Em: **Cotton ginners handbook**. Agricultural Handbook. Washington: USDA, 1994. p. 195–214.

YUE, S. et al. Impact of Enzymatic Hydrolyzed Protein Feeding on Rumen Microbial Population, Blood Metabolites and Performance Parameters of Lactating Dairy Cows. **The Pakistan Veterinary Journal**, v. 43, n. 4, p. 804–808, 2023.

ZERVOUDAKIS, J. T. et al. Níveis de farelo de algodão de alta energia em suplementos múltiplos para bovinos em pastejo: desempenho e avaliação econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3283, 21 out. 2015.

ZHANG, B. et al. Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and in vitro protein digestibility of canola meal. **Food Research International**, v. 100, p. 658–664, out. 2017.

ZHANG, F.; ADEOLA, O. Energy values of canola meal, cottonseed meal, bakery meal, and peanut flour meal for broiler chickens determined using the regression method. **Poultry Science**, v. 96, n. 2, p. 397–404, fev. 2017.

ZHUO, Y. et al. Nutritional values of cottonseed meal from different sources fed to gestating and non-pregnant sows. **Journal of Animal Science**, v. 101, p. skad118, 3 jan. 2023.

ZIA, M. A. et al. Physicochemical features, functional characteristics, and health benefits of cottonseed oil: a review. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. e243511, 2022.

ABIOVE
Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

ABRAPA
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO

Embrapa