

O futuro da segurança alimentar na China: estratégias e tecnologias para reduzir a dependência estrutural em proteínas

Para reduzir a sua dependência de importações no complexo grãos-carne a China mira tecnologia, produtividade e diversificação

Gabriela Mota da Cruz¹

Leandro Gilio²

Bruno Capuzzi³

Marcos S. Jank⁴

Destaques

1. A dependência externa da China é concentrada, não generalizada: o país é autossuficiente em cereais, como milho, trigo e arroz, e proteínas animais, como carnes suína, frango e pescados, com vulnerabilidade estrutural recaindo principalmente sobre a soja, que transfere risco indireto às cadeias de produção animal;
2. Foi uma escolha deliberada. Entre 2000 e 2025, a área de milho subiu de 23 Mha (15%) para 45 Mha (26%), enquanto a soja ficou estagnada em cerca de 6% de uso de área.
3. A estratégia chinesa atual visa conter a dependência por soja (redução de vulnerabilidade que rebate nas cadeias pecuárias) atuando principalmente sobre redução da demanda por farelo de soja na ração animal e menos sobre a substituição das importações;
4. A redução do farelo na ração é a rota tecnologicamente mais avançada e a única com efeito já mensurável em escala nacional. A produção doméstica, mesmo com a meta de produtividade cumprida, cobriria cerca de um quinto do consumo.
5. Em 2030, a demanda suplementar (compensada por importações) chinesa de soja podem variar de 92 a 118 milhões de toneladas, conforme os cenários avaliados, que depende, crescimento da demanda de ração e o grau de cumprimento das metas oficiais.
6. Menor intensidade de uso de farelo em ração não significa diretamente menor volume demandado: com o farelo em 11,7% da ração, os ganhos se anulam quando a produção de ração (demanda) cresce acima de 4% a 5% ao ano, que foi exatamente a média dos últimos 5 anos.
7. Espera-se que para o Brasil, responsável por cerca de 70% das importações chinesas de soja, a China permaneça um mercado central, mas deixe de ser um vetor de expansão contínua.

¹ Professora e pesquisadora do Insper Agro Global

² Professor e pesquisador do Insper Agro Global

³ Pesquisador do Insper Agro Global

⁴ Professor Sênior do Insper e coordenador do Insper Agro Global

1. INTRODUÇÃO

A importância da segurança alimentar para a China emerge de uma questão estrutural: o país concentra 18% da população mundial [1], mas dispõe de menos de 10% das terras aráveis do planeta [2], além de restrições de terra e água [3]. Essa configuração impõe um descasamento persistente entre a dimensão da população e a disponibilidade de recursos produtivos, agravado pela evolução dos padrões de consumo. Como resultado, a China apresenta uma condição de fragilidade particular entre as grandes economias globais, caracterizada pela crescente distância entre a demanda e a capacidade produtiva doméstica [4].

A essa restrição estrutural soma-se uma memória histórica marcada por episódios de fome e colapsos produtivos, com ciclos de escassez agravados por guerras civis, choques climáticos e migrações maciças entre áreas rurais e urbanas, além do desmantelamento de redes de pesquisa e extensão agrícola durante a Revolução Cultural, entre 1966 e 1976 [4-6]. Esse legado ajuda a explicar por que, no contexto chinês, a segurança alimentar não se restringe a métricas de produção, comércio ou disponibilidade calórica, assumindo também uma dimensão política e estratégica associada à estabilidade social, à legitimidade do Estado e à soberania nacional. Essa perspectiva converge com o conceito contemporâneo de segurança multidimensional, que ultrapassa uma interpretação estritamente militar ou econômica e incorpora a produção, o acesso e o comércio de alimentos como elementos relacionados à estabilidade, à projeção de poder e à afirmação da soberania [4,7].

Isso explica o conceito de segurança alimentar deixar de ser tratado predominantemente como uma política setorial, para ocupar posição cada vez mais central na agenda de segurança econômica do país, ao lado das questões energéticas, tecnológicas e financeiras. O 15º Plano Quinquenal aprofunda essa diretriz ao estabelecer prioridades voltadas à redução das vulnerabilidades do sistema agroalimentar e ao fortalecimento de sua capacidade de resiliência [8]⁵.

Essas vulnerabilidades, porém, não estão distribuídas por todo o sistema. A China é praticamente autossuficiente nos alimentos básicos de sua dieta, como arroz, trigo, milho e as carnes suína e de frango, e sua dependência externa se concentra em poucos produtos como soja, algodão e carne bovina [9]. O caso alimentar mais relevante de dependência é a soja, principal fonte de proteína das rações animais, da qual o país importa cerca de 85% do que consome [10]. Por meio da composição de ração, essa dependência alcança as cadeias de suínos, aves e pescados, ainda que o país seja autossuficiente na produção dessas carnes.

Essa dependência ampliou-se à medida a urbanização, o aumento da renda e as mudanças nos hábitos alimentares elevaram a participação de proteínas animais na dieta da população e, conseqüentemente, a demanda por insumos destinados à alimentação animal. Diante dos limites físicos à expansão agrícola, o país concentrou a

⁵ Veja mais em “[O dilema da segurança alimentar na China: fases históricas e perspectivas](#)” publicado pelo Insper Agro Global em junho de 2026.

produção doméstica em grãos básicos, enquanto a soja, oleaginosa mais intensiva em terra e água, ficou de fora.

Nesse processo, o Brasil consolidou-se como o principal fornecedor externo para o mercado chinês. A participação brasileira nas importações chinesas de soja cresceu de forma expressiva, alcançando aproximadamente 70% do mercado em 2025. Em movimento simétrico, a China absorveu, no mesmo período, cerca de 70% das exportações brasileiras de soja [11].

É sobre essa vulnerabilidade que o 15º Plano Quinquenal (2026-2030) concentra parte relevante de suas diretrizes para o sistema agroalimentar. Ele não propõe eliminar as importações de soja, mas conter o crescimento da dependência por duas vias principais: elevar a produtividade da produção doméstica, com ênfase em sementes, biotecnologia e mecanização, e reduzir a intensidade de uso do farelo de soja na alimentação animal.

O padrão de política industrial adotado pela China em setores como energia solar, veículos elétricos e semicondutores, caracterizado por coordenação central, competição entre províncias, financiamento direcionado e forte apoio à inovação, vem sendo progressivamente incorporado à agropecuária [12]. Nesse contexto, a questão relevante deixa de ser se a China buscará reduzir sua dependência de soja importada e passa a ser em que medida essa ambição já se concretiza, se está apoiada em tecnologias testadas em escala ou em que medida permanece apenas em objetivos de política pública, mas sem os mecanismos de execução claramente definidos.

O objetivo deste estudo, portanto, é analisar os esforços em curso com potencial para desacelerar o crescimento da demanda chinesa por soja importada e reduzir vulnerabilidades específicas associadas principalmente esse produto e às cadeias produtivas relacionadas. A análise contempla, nesse sentido, as mudanças tecnológicas e transformações nos padrões de consumo capazes de afetar a demanda chinesa por soja, considerando tanto seus efeitos potenciais em termos produtivos quanto as limitações à sua adoção em escala.

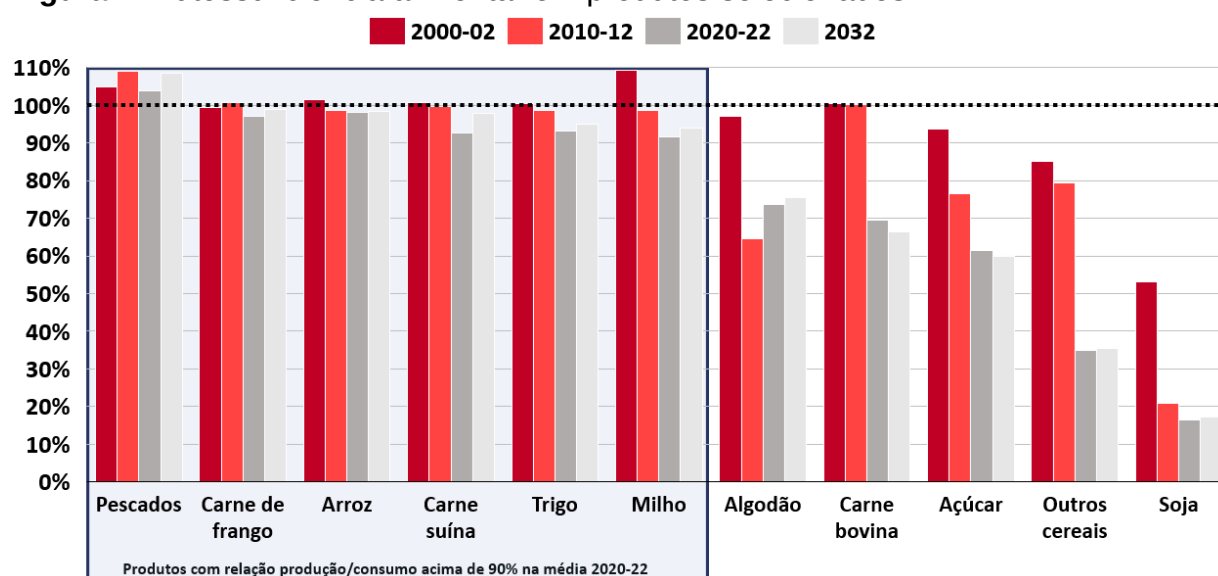
Este estudo adota uma abordagem descritiva e exploratória, baseada na análise de documentos oficiais e em uma revisão integrativa da literatura científica. As evidências foram organizadas em quatro rotas tecnológicas voltadas à redução da dependência chinesa de soja importada: aumento da produtividade doméstica, redução do uso de farelo de soja na alimentação animal, desenvolvimento de proteínas alternativas e a mudança de padrão de consumo da população chinesa. Essas rotas são avaliadas quanto ao estágio de desenvolvimento tecnológico, ao potencial de adoção em escala e às principais limitações técnicas e econômicas, por meio da literatura disponível e também com a realização de entrevistas semiestruturadas com agentes técnicos do setor⁶. A partir das rotas, também foram construídos cenários para avaliação dos potenciais impactos sobre a demanda Chinesa.

⁶ O detalhamento da metodologia é apresentado na seção 3 e no APÊNDICE, disponível ao final.

2. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NA CHINA E A RELAÇÃO DE DEPENDÊNCIA

A China produz em grande escala praticamente todos os produtos de sua cesta básica. Na média de 2020 a 2022, a produção doméstica cobriu mais de 90% do consumo de pescados, carne de frango, arroz, carne suína, trigo e milho, e as projeções da OECD-FAO indicam que esse patamar se mantém na próxima década (Figura 1) [9]. Nos demais produtos, a dependência é maior. A autossuficiência em algodão, carne bovina, açúcar e outros cereais fica entre cerca de 35% e 75%, e a da soja é a mais baixa, em torno de 16%. As seções seguintes mostram como esse perfil se formou, a partir das escolhas de uso da terra e da evolução de cada cadeia de proteína animal.

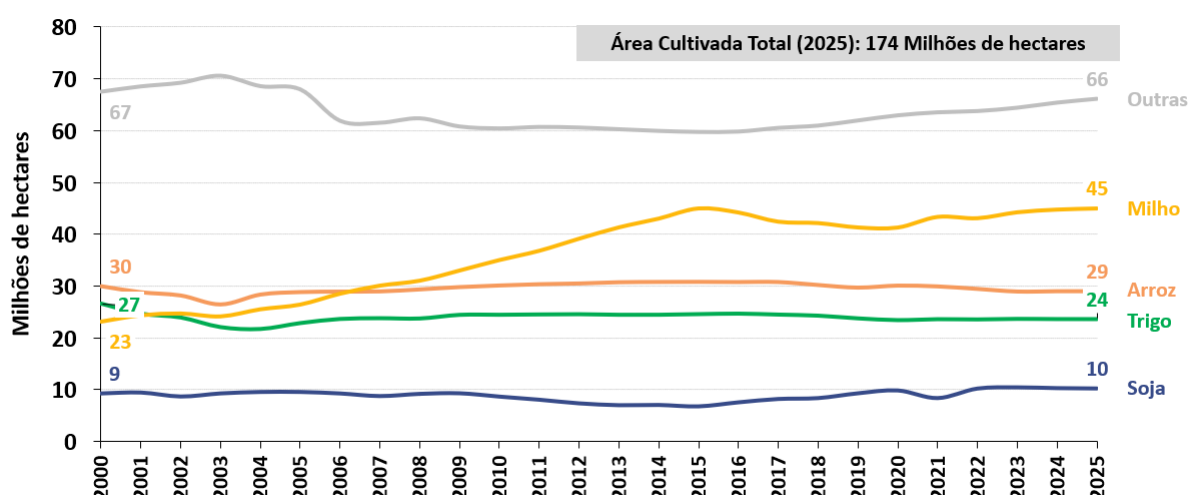
Figura 1. Autossuficiência alimentar em produtos selecionados



Fonte: Insper Agro Global com base nos dados da OECD-FAO Agricultural Outlook 2025-2034 [9]. Nota (*): Pescados utiliza projeção para 2033

A produção na China é resultado de um planejamento sobre o uso da terra dentro das limitações físicas e impede, como já citado, um descontrole produtivo e uma escassez agrícola generalizada. Entre 2000 e 2025, a área cultivada total do país cresceu de 156 para 174 milhões de hectares. Essa expansão concentrou-se quase inteiramente no milho, cuja área passou de 23 para 45 milhões de hectares, elevando sua participação de 15% para 26% da área total. A soja, por sua vez, permaneceu estagnada em dados relativos, mantendo participação cerca de 6% da área cultivada (Figuras 2).

Figura 2. Área cultivada na China por culturas agrícolas principais



Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nos dados do National Bureau of Statistics [13].

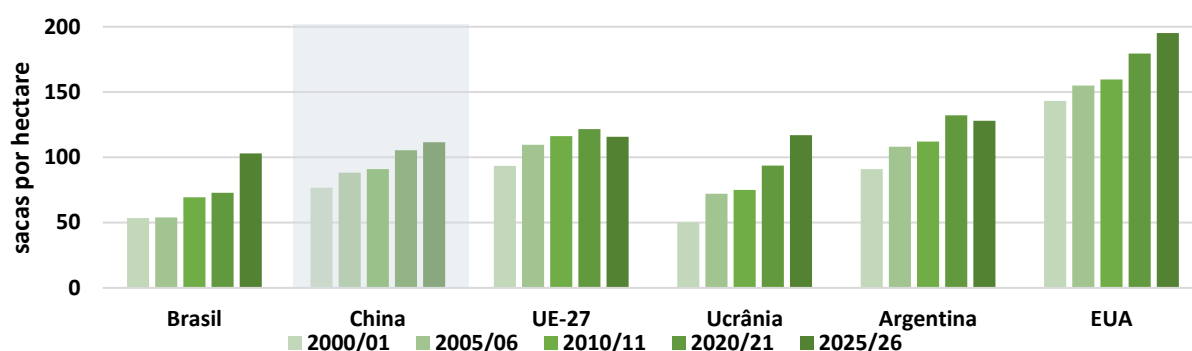
Nota: "Outros" inclui demais cereais, leguminosas e tubérculos, oleaginosas, algodão, fibras, cana e beterraba, tabaco, hortaliças, plantas medicinais e outras lavouras.

De forma estratégica, a China priorizou a autossuficiência em cereais e aceitou importar os produtos mais intensivos em terra por unidade produzida, como oleaginosas, algodão e matérias-primas para produção de açúcar [14]. A política comercial reforçou essa divisão: enquanto os cereais seguiram protegidos, a importação de soja passou a ter, ainda no fim dos anos 1990, uma tarifa relativamente baixa e única, sem restrição de cotas [15].

Essa diferença de incentivos se refletiu também na produtividade. Entre as safras 2000/01 e 2025/26, o rendimento do milho avançou 46%, resultado de décadas de adoção generalizada de híbridos, combinada ao aumento da densidade de plantio e ao uso mais eficiente de fertilizantes [16]. No mesmo período, o rendimento da soja cresceu apenas 22%, o segundo menor ganho entre os principais produtores mundiais, o que ampliou o hiato de produtividade em relação ao Brasil e aos Estados Unidos (Figuras 3 e 4). Diferentemente do milho, a soja chinesa avançou apenas com melhoramento convencional, a partir de uma base genética estreita, já que o cultivo comercial de variedades transgênicas não era permitido no país e somente a partir de 2023 o governo passou a registrar variedades geneticamente modificadas para cultivo, e mesmo assim em número muito maior para o milho (64) do que para a soja (17) já em 2024 [17]. Além disso, há a necessidade de recuperação de solos salinos, o que torna a evolução em produção e produtividade mais custosa [18].

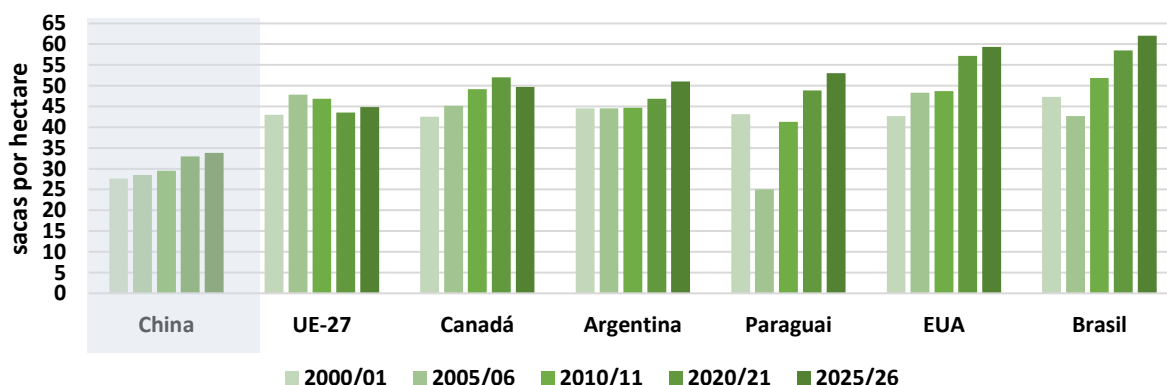
Esse hiato tornou o milho estruturalmente mais rentável e contribuiu para que a cultura ocupasse novas áreas, inclusive sobre a própria soja [15]. No entanto, a aprovação recente em transgenia e também tecnologias mais modernas, como edição gênica, tem grande potencial de impacto na agricultura chinesa com a melhoria da eficiência do uso da terra, o que será melhor discutido na próxima seção. Destaca-se que a soja e o milho têm a maior da demanda interna pela produção de proteína animal, sendo componentes essenciais na composição de rações.

Figura 3. Produtividade da produção de milho (sc 60kg/ha), por ano-safra em países selecionados



Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nos dados do USDA [19].

Figura 4. Produtividade da produção de soja (sc 60kg/ha), por ano-safra em países selecionados



Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nos dados do USDA [19].

Com relação as proteínas de origem animal, a China apresenta praticamente autossuficiência em carne suína, carne de frango e pescados, importando mais relativamente à produção de carne bovina (conforme Figura 1 já apresentada na introdução). Esta última tem modelo de produção mais demandante, pois apresenta maior ciclo e uso de espaço físico, tendo barreiras de produção mais complexas que serão discutidas adiante.

A carne suína é a mais importante, ocupando posição central na dieta e na cultura alimentar do país, aproximadamente 60% do consumo doméstico de carnes [9]. A China responde por cerca de metade da produção mundial, atingiu 59,4 milhões de toneladas em 2025, ainda mantendo autossuficiência superior a 95% sustentada por ganhos de eficiência no plantel [19]. O sucesso produtivo é explicado pelo tratamento da produção de suínos em uma política de Estado e não apenas de mercado. A evolução recente da relação entre produção, consumo, importação e exportação de carne suína está descrita na tabela 1.

Tabela 1. Evolução de produção, consumo, importação e exportação de carne suína na China em 2015, 2020 e 2025 (em mil toneladas)

	2015	2020	2025
Produção	56.454	36.340	59.380
Consumo	57.180	41.517	60.445
Relação produção/consumo	99%	88%	98%
Importação	955	5.277	1.188
Exportação	229	100	123

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nos dados do USDA [19]

Essa relevância tem raízes históricas profundas, que chega à ligação com a estabilidade do Estado chinês. O ditado tradicional *zhū liáng ān tiānxià* ("porcos e grãos garantem a paz sob o céu") sintetiza a ligação entre abastecimento de carne suína, grãos e estabilidade política [20].

A escala da suinocultura chinesa, porém, depende de grandes volumes de ração, cuja principal fonte proteica é o farelo de soja, em boa parte importado (conforme destacado na Figura 1). A autossuficiência em carne suína, portanto, convive com uma dependência indireta dos mercados internacionais de grãos. Por isso, políticas de redução do farelo de soja nas rações e de ganho de eficiência produtiva no plantel ganham maior peso estratégico na agenda chinesa de segurança alimentar recente.

A carne de frango é caso de maior sucesso do desenvolvimento produtivo recente chinês, em que país não só alcançou a autossuficiência, como passou a gerar excedentes exportáveis. Segundo o USDA [19], a produção passou de 11,6 milhões de toneladas em 2017 para 16,5 milhões em 2025, e a relação entre produção e consumo subiu de 96% em 2020 para 105% em 2025. Impulsionadas pela produção, as exportações subiram de 401 mil toneladas em 2015 para 1,09 milhão em 2025, marcando o momento em que a China se tornou exportadora líquida a partir de 2024 [19].

Os embarques concentram-se em produtos processados destinados a mercados exigentes, como Japão e Hong Kong [21]. Esse desempenho resulta de investimentos recentes em integração vertical e em genética própria. O frango de corte de penas brancas, de ciclo curto e alta eficiência, saltou de cerca de 50% para 70% da produção em cinco anos [21]. Com apoio de subsídios públicos, as linhagens nacionais já respondem por mais de 30% do mercado de genética avícola, o que reduz a dependência histórica de aves importadas, embora a eficiência produtiva dessas linhagens ainda seja inferior à das estrangeiras [21].

Tabela 2. Evolução de produção, consumo, importação e exportação de carne frango na China entre em 2015, 2020 e 2025 (em mil toneladas)

	2015	2020	2025
Produção	13.561	14.600	16.500
Consumo	13.428	15.211	15.712
Relação produção/consumo	101%	96%	105%
Importação	268	999	297

Exportação	401	388	1.085
------------	-----	-----	-------

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nos dados do USDA [19]

A autossuficiência chinesa em carne de frango depende de uma base de ração que o próprio país só controla em parte. Na ração avícola, o milho responde pela maior parte da energia e o farelo de soja pela proteína. A expansão da avicultura, portanto, apoia-se diretamente na especialização em milho descrita anteriormente. O próprio governo tem estimulado a substituição da carne suína pela de frango, já que a conversão alimentar das aves é bem mais eficiente que a dos suínos [22]. O componente proteico, porém, continua dependente de soja importada. Por isso, a política de redução do farelo de soja nas formulações, é decisiva para que o crescimento da avicultura não se converta em mais demanda externa por soja - a inclusão de farelo de soja na ração composta caiu de 17,9% em 2017 para 13,7% em 2024 [23]. Na prática, a autossuficiência em frango é mais sustentada pelo milho doméstico, mas também segue condicionada ao acesso ao farelo de soja importado.

A carne bovina é o segmento de proteína animal em que a China está mais distante das próprias metas de autossuficiência. Com cerca de 70% de atendimento do consumo doméstico, a produção ainda está longe da meta Estatal de autossuficiência de 85% [24]. Para reduzir essa distância, o governo mantém subsídios à alimentação animal, crédito facilitado e incentivos à retenção de matrizes. Ao mesmo tempo, o setor passa por uma consolidação produtiva: grandes empresas investem em confinamentos de escala, programas próprios de genética e transferência de embriões, enquanto pequenos criadores deixam a atividade diante da fiscalização ambiental [25].

Esses investimentos ainda não compensam restrições estruturais, como a baixa eficiência reprodutiva do rebanho e a competição por terra com a agricultura. O USDA projeta queda da produção para 7,56 milhões de toneladas em 2026 [25]. Por isso, a resposta mais recente do governo foi de incentivo em nível comercial. Após uma investigação de salvaguarda, a China passou a aplicar, a partir de janeiro de 2026, uma cota tarifária de 2,69 milhões de toneladas às importações de carne bovina, com tarifa adicional de 55% sobre o volume excedente [26]. A medida atinge diretamente o Brasil, principal fornecedor do mercado chinês, e objetiva a proteção do mercado doméstico.

Tabela 3. Evolução de produção, consumo, importação e exportação de carne bovina na China entre em 2015, 2020 e 2025 (em mil toneladas)

	2015	2020	2025
Produção	6.169	6.720	8.010
Consumo	6.754	9.485	11.644
Relação produção/consumo	91%	71%	69%
Importação	613	2781	3658
Exportação	28	16	24

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nos dados do USDA [19]

Diante desse quadro geral, a dependência externa chinesa mostra-se concentrada, e não sistêmica. O país é autossuficiente em cereais básicos, carnes suína e de frango e pescados, e sua vulnerabilidade estrutural concentra maior peso na soja e, em menor grau, à carne bovina. A soja, contudo, tem peso que vai além do próprio

grão: como o farelo é a principal fonte proteica das rações, as cadeias de suínos, aves e aquicultura carregam uma dependência indireta dos mercados internacionais, mesmo sendo autossuficientes em seus produtos finais.

Para enfrentar essa vulnerabilidade, a estratégia chinesa organiza-se em três rotas complementares: elevar a produtividade doméstica da soja, por meio de melhoramento genético, transgenia, edição gênica e otimização no uso de recursos; reduzir a participação do farelo de soja nas rações, com metas iniciais já superadas e o objetivo de diminuir o consumo anual de 77 para cerca de 46,9 milhões de toneladas até 2030⁷; e desenvolver proteínas alternativas, como a microbiana e a de insetos, ainda em estágio inicial de maturidade tecnológica. O êxito dessas rotas indicará se a China é capaz de replicar na soja a política industrial coordenada que já aplicou com sucesso ao milho e à avicultura. As próximas seções avaliam a maturidade e o potencial de difusão de cada uma delas. Ainda há uma quarta possibilidade de redução, relacionada às mudanças de padrão de consumo da população, que impacta na demanda final, que também é descrita na próxima seção.

3. AS ROTAS PARA REDUÇÃO DA DEPENDÊNCIA

O 15º Plano Quinquenal atua sobre essa exposição externa pelo lado da oferta e pelo lado da demanda. Do lado da oferta, a meta é elevar a produção de grãos de 695 milhões para 725 milhões de toneladas até 2030 [28]. Do lado da demanda, a soja importada segue uma cadeia.

Cerca de 80% do volume é destinado à produção de farelo para ração [23], que é convertida em carnes, ovos, leite e pescado, e esses produtos atendem ao consumo final da população. Há metas oficiais em cada etapa dessa cadeia: reduzir a participação do farelo na ração para 10% e diminuir em 0,2 kg o consumo de ração por quilo de produto animal [27], além de orientar a dieta para menos óleo e mais leguminosas, aves e laticínios [29].

A partir desse encadeamento, a demanda por soja importada pode ser reduzida em quatro rotas analisadas nessa seção: (1) Aumento da produção doméstica; (2) Menor intensidade de farelo na ração animal; (3) Menor intensidade total de ração; e (4) Mudança no consumo de alimentos.

Como a conversão alimentar e a participação de farelo em rações variam entre as cadeias produtivas pecuárias, as rotas 2 e 3 são avaliadas de modo diferente entre as atividades pecuárias. A Tabela 4 sintetiza o conteúdo tecnológico de cada rota, seu indicador de acompanhamento e sua referência no ciclo de planejamento.

⁷ O Ministério da Agricultura e Assuntos Ruais da China fixou a meta de reduzir a participação de farelo de soja na ração de 13,7% para 10% até 2030 [27]. Se a meta for cumprida, o consumo anual de farelo cairá de cerca de 77 para 46,9 milhões de toneladas, considerando dados da USDA.

Tabela 4. As quatro rotas, seu conteúdo tecnológico e sua referência no 15º Plano Quinquenal

Rotas	O que representa	Tecnologias e práticas que a integram	Indicador físico	Referência (meta) no 15º Plano Quinquenal (2026–2030)
(1) Aumento da produção doméstica	Ampliação da oferta de soja	Melhoramento genético; agricultura de precisão e digital; fixação de nitrogênio	Produção (toneladas); rendimento (t/ha); área colhida	Elevar produção de grãos de para 725 milhões de toneladas em 2030 [28]. O plano setorial da produção: estabilizar área e difundir soja transgênica conforme as condições locais [30].
(2) Menor intensidade de farelo na ração animal	Redução da demanda por soja	Novas formulações de ração; aplicação de aminoácidos industriais; farelos alternativos.	Farelo / ração (%)	Difusão de dietas de baixa proteína de formulação [31]. Redução da farelo para 10% da ração [27].
(3) Menor intensidade total de ração	Redução total de ração	Seleção genômica; controle sanitário; alimentação de precisão; profissionalização das granjas.	kg de ração por kg de produto animal.	Criação industrial de 76,9% para 82%; ração industrial de 340 para 350 milhões de toneladas até 2030 [31]. Redução de 0,2 kg de ração por quilo de produto animal [27].
(4) Mudança no consumo de alimentos	Redução da demanda por proteína animal	Proteínas alternativas; fermentação de precisão; carne cultivada; mudança de padrão alimentar.	Consumo per capita por categoria.	Desenvolver biotecnologia sintética [28]. Reduzir óleo e aumentar leguminosas, aves e laticínios no consumo [29].

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nos documentos oficiais chineses do ciclo de planejamento 2026–2030 e na literatura analisada.

4. AVALIAÇÃO DAS ROTAS

4.1 Critérios de avaliação das tecnologias

Para avaliar as rotas, o estudo parte de duas perguntas sobre cada tecnologia. A primeira é até onde ela já foi testada e comprovada, ou seja, sua maturidade. A segunda é quanto dela já está de fato em uso na China, ou seja, sua difusão. As duas perguntas são tratadas separadamente porque podem ter respostas diferentes: uma tecnologia pode funcionar bem nos testes, estar aprovada e disponível no mercado e, ainda assim, ser pouco usada pelos produtores [32,33].

A análise também não trata cada tecnologia de forma genérica. Ela considera o uso específico: para que a tecnologia serve, em que espécie é aplicada e em que etapa da cadeia. O mesmo critério vale para todas as demais tecnologias das quatro rotas. O levantamento contou com o Elicit, ferramenta de inteligência artificial de voltada à pesquisa acadêmica, que foi usada para buscar, selecionar e extrair a evidência sobre cada aplicação. Os dados foram conferidos nos documentos originais, e as notas de maturidade, difusão e situação regulatória foram atribuídas pelos autores [34]. Foi utilizada uma escala de maturidade tecnológica (códigos E1, E2 e E3), uma escala de difusão dessas tecnologias (D1, D2 e D3), a indicação de situação regulatória (R+, R± e R-) e efeitos modelados (M) ou observados (O). A definição completa dessas escalas

de referência que são utilizadas no texto estão disponíveis no Apêndice metodológico, disponível ao final do estudo.

4.2 Aumento de produção doméstica (Rota 1)

Trata-se da rota mais intuitiva, aumentando a produção doméstica de soja pela mesma via em que a China elevou a produtividade do milho: melhoramento genético, transgenia, edição gênica e agricultura de precisão. O milho, ademais, cresceu apoiado em expansão de área que quase dobrou entre 2000 e 2025. Contudo, as restrições de terra cultivável não deixam margem significativa de expansão para a soja.

O espaço técnico para aumento de produtividade existe, e é amplo. Na safra 2025/2026, o rendimento médio da soja registrado foi de cerca de 2 toneladas por hectare, evidenciando uma estagnação com comparação à última década. É um patamar entre 40% e 45% inferior ao observado no Brasil e nos Estados Unidos, cujos rendimentos giram entre 3,5 e 3,7 toneladas por hectare [19]. Esse hiato de produtividade é o ponto de partida para qualquer avaliação do potencial chinês de aumentar oferta doméstica.

O governo chinês estima aumentar a produtividade na soja em 39% até 2034 [10]. Isso elevaria a colheita média para cerca de 2,78 toneladas por hectare, elevando a produção atual de 21 milhões de toneladas [19] para cerca de 28 milhões. Caso esses números se realizem, a China teria, em 2030, a produtividade que Brasil e Estados Unidos registravam há 20 anos. Ainda assim, a produção doméstica cobriria apenas 21% do consumo atual de soja, estimado em 136 milhões de toneladas.

A frente mais ativa da pesquisa chinesa atualmente é a edição gênica, técnica que altera com precisão um trecho do DNA da própria planta sem necessariamente inserir genes de outra espécie. Isso a distingue da transgenia clássica e, em vários países, a submete a regras regulatórias mais leves. Os resultados de campo são consistentes. Em ensaios de três safras, linhagens editadas elevaram o rendimento entre 13% e 17% [35]. Em outra linhagem, a edição aumentou em cerca de 17% a atividade de fixação de nitrogênio⁸ nos nódulos e em 21% o nitrogênio acumulado pela planta, com rendimento em campo entre 10% e 17% superior [36].

No que se refere à transgenia, há ainda o componente regulatório importante. A China concluiu o arcabouço de aprovação para plantio comercial de milho e soja transgênicos, mas a industrialização documentada permanece em estágio piloto, com projetos iniciados entre 2021 e 2023 [37]. O milho oferece precedente útil para calibrar expectativas de velocidade. Liberado comercialmente em 2021 no Nordeste chinês, alcançou 250 mil hectares em 2023, com resultados importantes no controle de pragas e aumento de rendimento entre 4,6% e 10,1%, além da redução de 91,7% a 95,6% na contaminação por micotoxinas [38]. É um resultado técnico forte, obtido em área que ainda representa fração pequena do milho chinês (~0,6%).

⁸ A fixação biológica de nitrogênio é a capacidade da soja de obter do ar, em simbiose com bactérias do solo, parte do nitrogênio de que necessita. Quanto maior a fixação, mais nitrogênio a planta tem para formar grãos e proteína sem depender de adubação adicional.

As frentes agronômicas convencionais completam o quadro, com plantio adensado, ao lado de cultivares de soja de alto teor de óleo e alto rendimento [30]. A agricultura de precisão, com manejo de nutrientes e irrigação orientado por sensores, está associada a aumentos de rendimento de até 35,4% na América do Norte. O caso norte-americano documentado identificou o alto custo inicial como uma limitação clara ao escalonamento [39].

O resultado mais expressivo desta rota não é de natureza tecnológica, mas institucional. A plataforma Science and Technology Backyard (STB), criada em 2009 pela Universidade Agrícola da China no condado de Quzhou instala professores e estudantes de pós-graduação nas aldeias, onde vivem e trabalham junto aos produtores. Em Quzhou, onde predomina a rotação de trigo e milho, os agricultores obtinham menos de dois terços do rendimento alcançado na estação experimental local, apesar do uso elevado de fertilizante nitrogenado. O diagnóstico, feito com entrevistas a 150 agricultores e 55 experimentos de campo, atribuiu a lacuna a falhas de manejo: variedades pouco adaptadas, densidade de plantio inadequada, semeadura e colheita fora da época recomendada e adubação mal dimensionada. Apenas 6,7% dos agricultores sabiam calcular a necessidade de nutrientes das culturas. Na origem dessas falhas estavam a falta de informação, a aversão ao risco, a oferta confusa de insumos no mercado, a escassez de mão de obra e o tamanho reduzido dos lotes [40].

As recomendações técnicas foram ajustadas em conjunto com produtores líderes e difundidas por meio de demonstrações de campo, escolas de agricultores e cooperativas informais que reuniam de 30 a 40 famílias com terras contíguas para adotar práticas uniformes. Entre os produtores líderes, que variaram de 45 a 71 por safra, o rendimento passou de 67,9% do nível atingível antes da intervenção para 97% na média de 2009 a 2014. No conjunto do condado, que reúne 93.074 famílias agricultoras, passou de 62,8% em 2009 para uma média de 79,6% nos cinco anos seguintes, resultado que contou também com o apoio do governo local, como o subsídio de US\$ 2 milhões à compra de arados para aração profunda, e de empresas privadas [40]. Embora o estudo trate de trigo e milho, e não de soja, ele indica que boa parte da lacuna de rendimento na agricultura chinesa de pequena escala decorre de manejo e informação, e não de genética, o que faz de sua redução um problema de capilaridade institucional antes que de novas cultivares. O modelo já foi replicado: em 2015, havia 71 plataformas em 21 províncias, incluindo sistemas de produção de soja [40].

Os resultados gerais relacionados à Rota 1 estão resumidos na Tabela 5.

Tabela 5. Maturidade, difusão e situação regulatória das tecnologias da Rota 1

Aplicação	O que é e como atua	Maturidade / Difusão / Regulação	Base da classificação
Melhoramento convencional	Seleção de cultivares mais produtivas por cruzamento.	E3 / D3 / R+	Maturidade: Uso produtivo corrente documentado: levantamento de 1.472 cultivares de soja em 60 anos [41]. Difusão e regulação: respondem por praticamente toda a área comercial, já que nenhuma variedade transgênica ou editada passou da fase piloto [37]. Sem restrição regulatória.
Edição gênica para rendimento	Alteração genes da própria soja para aumentar número e peso de sementes.	E2 / D1 / R±	Maturidade: Ensaios de campo replicados sem operação comercial: aumento de produção de +13–17% [42]. Difusão e regulação: Nenhuma cultivar editada em plantio comercial; a evidência é de parcelas experimentais [35]. A via regulatória existe, mas a industrialização documentada é apenas de pilotos [37].
Edição gênica para fixação de nitrogênio	Otimização da simbiose com bactérias do solo. Melhora nutrição nitrogenada e rendimento.	E2 / D1 / R±	Maturidade: Aumento de nódulos e fixação de nitrogênio, e rendimento em linhagens editadas [36,43]. Difusão e regulação: Ensaios conduzidos por instituições de pesquisa, sem cultivar comercial registrada [43].
Edição gênica para resistência a pragas e doenças	Redução de perdas produtivas sem depender de ganho genético bruto.	E2 / D1 / R±	Maturidade: Mutantes livres de transgene com resistência ampliada e maior rendimento em campo sem pressão de patógeno [44]. Difusão e regulação: Resultados obtidos em mutantes experimentais, sem registro comercial [44].
Soja transgênica	Variedades tolerantes a herbicida e resistentes a insetos.	E2 / D2 / R+	Maturidade: Industrialização documentada apenas em projetos-piloto entre 2021 e 2023 [37]. Difusão e regulação: Arcabouço regulatório concluído [37]. A segmentação do mercado limita o alcance, já que a soja alimentar chinesa é não transgênica [15].
Milho transgênico (precedente de difusão)	Caso de referência para a velocidade de adoção de transgenia na China.	E3 / D2 / R+	Maturidade: Plantio comercial desde 2021, com 250 mil ha em 2023 e ganho de rendimento de 4,6–10,1% medido em campo [38]. Difusão e regulação: Liberado comercialmente em 2021, mas ainda fração pequena do milho chinês (~0,6%, em ha) [38].
Plantio adensado	Mais plantas por hectare.	E2 / SE / R+	Maturidade: Registro de 6 ton/ha e 299 mil plantas/ha em Xinjiang, resultado de experimentação e não de prática corrente [45]. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa a área efetivamente cultivada sob esse manejo na China [45].
Agricultura de precisão e digital	Sensores, GPS, taxa variável e sensoriamento remoto.	E3 / SE / R+	Maturidade: Documentada em operação comercial norte-americana com ganho de até 35% em fazenda de cerca de 500 ha [39]. Difusão e regulação: No caso norte-americano o custo inicial é apontado como barreira; nenhuma fonte fornece taxa de adoção em soja na China [39].
Assistência técnica residente e cooperativas de produtores	Pesquisadores locados em aldeias qualificam produtores	E3 / D2 / R+	Maturidade: Aplicada em condições reais de produção em 93.074 estabelecimentos, elevando o rendimento de 62,8% para 79,6% do atingível em 93.074 domicílios [40]. Difusão e regulação: Adoção real, porém localizada, com o próprio desenho exigindo presença permanente de pesquisadores [40].

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nas fontes indicadas na coluna de justificativa.

4.3. Menor intensidade de farelo na ração animal (Rota 2)

Esta é a rota em que a China avançou mais, onde os números são mais sólidos e já há maior escala comercial. Algumas metas de redução já vêm sendo atingidas: a participação do farelo de soja na ração composta, em média nacional e considerando o conjunto da produção animal, caiu de 17,9% em 2017 para 13,7% em 2024 [23]. O plano setorial pecuário do 15º Plano Quinquenal mantém a linha de ação e determina aprofundar a redução e substituição do farelo, difundir dietas de baixa proteína e desenvolver sistemas digitais de formulação [31]. A meta atual é reduzir a composição de farelo para 10% até 2030, na média nacional [27]. Há margem documentada para a trajetória continuar, uma vez que o conteúdo de farelo proteico na ração chinesa excede os níveis atuais dos Estados Unidos e da União Europeia [9].

No entanto, na avaliação de um agente técnico com alto grau de experiência que atua em uma indústria de produção de frangos e suínos global de origem brasileira, consultado pelo Insper Agro Global durante a execução desse estudo, a meta chinesa é considerada ambiciosa:

“[...] dada a condição que observamos com produtores na China hoje, estimamos que seria viável reduzir em até dois pontos percentuais a participação do farelo nas rações, mas dificilmente além disso, o que situaria a média nacional acima da meta de 10% [...]”

(Entrevistado 1)

O mecanismo é direto: o farelo de soja é, antes de tudo, um veículo de proteína, e proteína é um agregado de aminoácidos. Se a ração for formulada com menos proteína total e os aminoácidos essenciais forem repostos na forma purificada, o animal é suprido nutricionalmente com menos composição direta de proteína. Para essa dieta de baixa proteína suplementada, o gargalo passa a ser a produção industrial de aminoácidos por fermentação microbiana [46]. A relação quantitativa está estabelecida por estudos de meta-análise. Em frangos, cada ponto percentual a menos de proteína bruta⁹ na dieta reduz o farelo de soja em 39 gramas por quilo de ração, queda de 19% [49].

A rota tem teto conhecido: quando a proteína cai muito, outros componentes se tornam limitantes mesmo com todos os aminoácidos essenciais equilibrados [47]. A maior parte dos estudos, além disso, foi conduzida em contextos europeu e brasileiro, com os próprios autores apontando necessidade de pesquisa em contextos asiáticos [50]. O Entrevistado 1 indica que a redução não seria absoluta:

⁹ Proteína bruta é a medida-padrão do teor proteico de uma ração, obtida a partir do nitrogênio total do alimento. É sobre ela que se define quanto de farelo a fórmula precisa conter. Em suínos, uma meta-análise de 46 artigos estimou os teores mínimos de proteína antes que o desempenho seja comprometido: 18,4% na creche, 16,1% na recria e 11,6% na terminação, as três fases de crescimento do animal [47]. Outra, restrita a ensaios em que energia e aminoácidos essenciais foram adequadamente supridos, não encontrou efeito sobre consumo, ganho ou conversão alimentar, e registrou aumento de 2,7 pontos percentuais na eficiência do nitrogênio para cada ponto percentual de redução de proteína [48].

“[...] A redução da intensidade não implica, necessariamente, redução do consumo absoluto. Como a produção chinesa de ração continua crescendo, o menor uso de farelo por tonelada pode ser compensado pelo maior volume produzido; aminoácidos e farelo operam, nessa leitura, mais como insumos complementares que como substitutos. Para o Brasil, a métrica relevante é o volume importado, não a taxa de inclusão [...]”
(Entrevistado 1)

A rota depende inteiramente de um insumo: aminoácidos industriais baratos e abundantes. Impulsionado justamente pela política de redução do farelo, o país tornou-se um dos principais produtores mundiais de aminoácidos para ração, ainda que a indústria tenha começado tarde no desenvolvimento independente de cepas industriais e apresente parâmetros econômicos e técnicos relativamente atrasados, e propriedade intelectual menos robusta [46]. Na avaliação de um agente representante de uma cadeia produtiva da produção de aves, consultado pelo Insper Agro Global durante a execução desse estudo, a avaliação *“é compartilhada pelo setor produtivo brasileiro para o qual o ponto de inflexão da rota será o domínio chinês pleno da tecnologia de produção de aminoácidos”* (Entrevistado 2 – Agente técnico que atua em uma entidade representante de uma cadeia produtiva da produção de aves).

O plano setorial pecuário determina ampliar a produção e a oferta de aminoácidos de pequeno volume e enzimas, apoiar a inovação em cepas de alta eficiência e otimizar o procedimento de aprovação de cepas construídas por biotecnologia [31]. O Plano de Aceleração da Modernização Agrícola e Rural institui, por sua vez, uma ação de biomanufatura agrícola voltada à síntese eficiente de proteína microbiana, proteína de insetos, óleos e aminoácidos como matérias-primas de ração [51]. A rota de maior efeito comprovado depende, assim, menos de uma tecnologia nova do que da consolidação de uma indústria de fermentação já em operação.

A segunda estratégia é trocar o farelo de soja por outros farelos e por coprodutos agroindustriais. Em ruminantes a margem para reaproveitamento é ampla. Em cordeiros, a substituição completa por farelo de outras culturas¹⁰ não afetou o peso corporal [52]. A fermentação de canola, apresentou, ainda, ganho de 18% no ganho de peso diário frente ao farelo de soja [53]. Em aves e suínos, o limite de substituição com manutenção de peso foi identificado a 50g de farelo alternativo para cada quilo de farelo de soja [54].

O potencial agregado é relevante. Simulações para a suinocultura chinesa estimam que a adoção em larga escala de ingredientes não convencionais poderia poupar entre 15,8 e 31,0 milhões de toneladas de farelo de soja por ano, com a ressalva de que os ganhos ambientais dependem do ingrediente e podem ser adversos para emissões de nitrogênio e uso da terra [55]. O plano setorial pecuário incorpora essa frente ao determinar o avanço do uso de novos recursos proteicos na alimentação animal, a aceleração da difusão de rações fermentadas e o aproveitamento de palhas e resíduos de destilaria [31]. No entanto, cabe ponderar sobre a pressão sobre outros produtos, conforme alertado pelo agente consultado pelo Insper Agro Global:

¹⁰ Algodão, de amendoim, de canola ou por resíduos secos

[...] A indústria emprega hoje cerca de dez aminoácidos, de um conjunto de 14 a 16 aplicáveis à nutrição animal, e sua produção consumiria aproximadamente 30 milhões de toneladas de milho [...] (Entrevistado 1)

A rota reduz a demanda por soja, mas transfere parte da pressão sobre a terra para o milho. Enquanto nos setores de suínos e aves a tendência é de redução da composição do farelo de soja, a aquicultura apresenta cenário antagônico. Cerca de 70% da produção mundial é alimentada por ração composta [56] que, por sua vez, observa um aumento de soja na composição proteica em detrimento da farinha de peixe [57]. O farelo de soja já é o principal ingrediente utilizado das dietas de carpa-comum, camarão-branco e tilápia-do-nilo [57].

A aposta de composição mais ambiciosa é a proteína microbiana, biomassa rica em proteína obtida no cultivo de microrganismos em substratos orgânicos, como açúcar, metano ou resíduos industriais. A principal vantagem do processo é a obtenção de proteína sem dependência de terra agrícola. Em carpa-capim, a inclusão de 5% de proteína microbiana¹¹ substituiu 27,5% de farelo de soja [58]. Em frangos de corte, um ensaio com 960 aves testou inclusões de 1% a 5%, que substituíram de 6% a 36% do farelo [59]. Em juvenis de pescada-amarela, a substituição de 15% da farinha de peixe não afetou o desempenho, mas 30% e 45% reduziram o crescimento [60].

Além da biologia, a efetividade da expansão dessa formulação dependerá da acessibilidade. A escala moderada dessa produção é um gargalo para sua expansão. Enquanto o valor do farelo de soja doméstico variou entre RMB 3.220 e 4.600 por tonelada (2022-2024), a proteína microbiana se manteve entre RMB 8.268 e 8.505 [61]. A meta governamental é ampliar a oferta dessas proteínas das 25 mil toneladas observadas em 2024 para 10 milhões de toneladas até 2030 [27].

Insetos e algas aparecem nos documentos oficiais como frentes a explorar, não como substitutos comprovados [27], e a literatura científica confirma essa posição. Em frangos, farinha de larvas de mosca substituiu 30% do farelo de soja sem prejuízo ao desempenho. O custo, porém, permanece acima do farelo de soja e da farinha de peixe, sobretudo pelo estágio inicial da indústria e pela ausência de economias de escala [62]. Para microalgas, o potencial produtivo é alto, de 22 a 44 toneladas de proteína por hectare por ano, mas a escala atual é pequena. Ampliar o leque de espécies utilizáveis exige aprovação regulatória como novo alimento [63].

Os resultados gerais relacionados à Rota 2 estão resumidos na Tabela 6.

¹¹ *Clostridium autoethanogenum*

Tabela 6. Maturidade, difusão e situação regulatória das tecnologias da Rota 2 (continua)

Aplicação	O que é e como atua	Maturidade / Difusão / Regulação	Base da classificação
Dieta de baixa proteína com aminoácidos industriais (suínos)	Reduz a proteína total da fórmula e repõe aminoácidos essenciais purificados.	E3 / D3 / R+	Maturidade: Prática aplicada em produção real, com limites mínimos de proteína estabelecidos por meta-análise de 46 artigos [47] e sem perda de desempenho quando energia e aminoácidos são controlados [48]. Difusão e regulação: Denominador nacional disponível: a inclusão de farelo na ração composta caiu de 17,9% em 2017 para 13,7% em 2024, queda que só se explica por adoção ampla da formulação [23]. Regulação R+ por ausência de barreira de registro à prática de formulação; a elaboração de normas técnicas de dieta de baixa proteína consta como tarefa do plano [27], o que é objetivo normativo e não restrição vigente.
Dieta de baixa proteína com aminoácidos industriais (aves)	Mesmo mecanismo, aplicado a frangos e poedeiras.	E3 / D3 / R+	Maturidade: Efeito quantificado por meta-análise: -1 p.p. de proteína reduz o farelo em 39 g/kg, ou 19% [49], com reduções de 30 g/kg sem perda de desempenho [50]. Difusão e regulação: Mesmo denominador nacional [23]; ressalva de que a evidência experimental de suporte é majoritariamente europeia e brasileira [50].
Produção industrial de aminoácidos por fermentação	Insumo que viabiliza toda a frente anterior.	E3 / D3 / R+	Maturidade: Produção industrial consolidada, com a China entre os principais produtores mundiais de aminoácidos para ração [46]. Difusão e regulação: A China é descrita como um dos principais produtores mundiais, o que caracteriza indústria estabelecida e não nicho [46].
Aminoácidos de pequeno volume e enzimas	Aminoácidos menos comuns, como valina e isoleucina, necessários a fórmulas de proteína muito baixa.	E3 / SE / R±	Maturidade: A produção comercial de aminoácidos de cadeia ramificada é hoje inteiramente feita por fermentação microbiana, embora a eficiência do processo permaneça um desafio técnico reconhecido [64]. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa volume produzido ou participação nas fórmulas. A regulação é R± porque o registro desses produtos passa por canal de aprovação específico previsto em norma [27], e não porque exista meta de aperfeiçoá-lo.
Farelos alternativos em ruminantes	Farelo de algodão, amendoim, canola e resíduos de destilaria no lugar do farelo de soja.	E2 / SE / R+	Maturidade: Ensaio de alimentação de 62 dias com 60 cordeiros, sem demonstração em operação comercial [52]. Difusão e regulação: Não há fonte com tonelagem, participação de mercado ou número de propriedades usando esses farelos na China; o ensaio disponível é experimental [52].
Farelos alternativos em aves e suínos	Mesmos ingredientes aplicados a animais de estômago simples, que toleram menos esses farelos.	E2 / SE / R+	Maturidade: Ensaio controlado com 540 frangos: 50 g/kg mantém desempenho, níveis maiores prejudicam [54]. Difusão e regulação: Mesma ausência de denominador; a janela estreita de inclusão sugere uso limitado, mas isso não é medido [54].
Fermentação de farelos alternativos	Pré-tratamento microbiano que melhora o valor nutricional.	E2 / SE / R+	Maturidade: Ensaio com 51 ovinos e fermentador de escala experimental: canola fermentada com 226,03 g/d contra 192,10 g/d no controle [53]. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa volume ou participação de rações fermentadas nas fórmulas chinesas; a determinação de acelerar sua difusão [31] indica objetivo, não adoção. O licenciamento de produção está previsto em norma [27].

Tabela 6. Maturidade, difusão e situação regulatória das tecnologias da Rota 2 (continuação)

Aplicação	O que é e como atua	Maturidade	Base da classificação
Proteína microbiana de gases de um carbono	Fermentação de CO e CO ₂ de gases industriais, gerando proteína com 80–89% de teor [65].	E3 / D2 / R+	Maturidade: Produto vendido comercialmente, com eficácia confirmada em ensaios revisados por pares: 5% de inclusão substituiu 27,5% do farelo em carpa com melhor conversão [58] e 1–5% substituíram 6–36% do farelo em 960 frangos [59]. Difusão e regulação: Único indicador do inventário apoiado em fonte não científica, por inexistir equivalente revisado por pares. Uso comercial documentado e concentrado em nichos de alto valor: vendas de 6.476 t em 2022, 10.174 t em 2023 e 10.743 t em 2024, a preço cerca do dobro do farelo de soja [61]. Aprovado com o primeiro certificado chinês de novo ingrediente de ração [66].
Proteína microbiana de açúcares e metano	Rotas alternativas de proteína unicelular, a partir de açúcares, metanol ou metano.	E2 / SE / R±	Maturidade: Avanços em substratos e fermentação viabilizaram o uso de subprodutos industriais, resíduos agrícolas e matérias-primas de um carbono; inovações em biorreatores de fermentação gasosa estão, nos termos da revisão, abrindo oportunidades para produção em escala, formulação que indica demonstração e não operação consolidada [67]. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa operação comercial dessas rotas na China, nem em volume nem em capacidade instalada.
Proteína de insetos	Larvas processadas como ingrediente proteico.	E2 / SE / R±	Maturidade: Substituição de 30% do farelo de soja em frangos sem perda de desempenho, mas com validação comercial ainda recomendada pelos autores [62]. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa capacidade instalada ou volume utilizado na China; classificar o uso como via a explorar [27] indica objetivo, não adoção. Regulação R± porque a proteína de insetos ainda não integra o Catálogo de Matérias-Primas para Ração, cuja revisão para incluí-la está prevista [27].
Proteína de algas	Microalgas cultivadas como fonte proteica.	E2 / SE / R±	Maturidade: Potencial produtivo alto — 22 a 44 t de proteína/ha/ano — porém com escala de produção atual reconhecidamente pequena [63]. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa volume utilizado na China. Regulação R± pela mesma razão das proteínas de insetos — as microalgas ainda não constam do Catálogo de Matérias-Primas para Ração [27] —, somada à exigência de aprovação como novo alimento para ampliar o leque de espécies [63].

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nas fontes indicadas na coluna de justificativa.

4.4. Menor intensidade total de ração (Rota 3)

Esta rota avalia a possibilidade de produzir a mesma quantidade de produto animal com menos ração. O plano de economia de grãos determina reduzir, até 2030, em mais de 0,2 kg o consumo médio de ração por quilo de produto animal na criação padronizada em escala, em relação a 2023, uma queda superior a 7% [27].

A China já avançou bastante nessa frente. Entre 1980 e 2010, a produção de proteína animal aumentou 4,9 vezes, enquanto o uso de ração e as emissões de gases de efeito estufa por grama de proteína caíram pela metade. Isso resultou da transição para sistemas industriais, novas raças, tecnologia e apoio governamental [68]. O ganho de eficiência, porém, não impediu que as emissões totais dobrassem no período, porque a produção cresceu ainda mais rápido.

A eficiência alimentar varia fortemente com o porte das granjas. Entre 2012 e 2020, as grandes granjas suínas gastaram cerca de 12% menos com ração por animal do que as criações familiares e de pequenas propriedades, e abateram os suínos com 143 dias, contra 163 dias das menores [69]. A concentração em escala já está em curso. Pelo número de estabelecimentos, as granjas médias e grandes eram apenas 0,6% e 0,01% do total em 2020 [69]. Pelo volume abatido, porém, 57% dos suínos já vinham de granjas com pelo menos 500 animais em 2000, contra 50% em 2018 [70]. O plano setorial pecuário trata a concentração como meta para toda a pecuária: a taxa de criação em escala tem a intenção de chegar a 82% em 2030 [31]. Restam duas lacunas: a parcela da produção ainda em unidades pequenas e a diferença grande de eficiência dentro de cada faixa de porte [71].

Sanidade animal pertence a esta rota porque doença é desperdício de ração. Um estudo com dados de 17 províncias entre 2010 e 2022 encontrou redução significativa da eficiência total da produção suína durante o surto de peste suína africana [72]. Mais revelador é um estudo de produtividade desagregado por escala. O efeito também difere por porte: choques sanitários tendem a ampliar a distância de produtividade entre grandes e pequenas propriedades [73].

Na alimentação de precisão, a tecnologia está madura, mas a difusão acompanha a concentração da produção. Câmeras, sensores e internet das coisas já operam comercialmente na suinocultura chinesa, embora as pequenas propriedades ainda sejam a maioria dos estabelecimentos [74]. A implantação em escala está documentada na Muyuan, maior produtora de suínos do mundo [75]. Em revisão de estudos experimentais sobre a alimentação de precisão de suínos reduziu em mais de 8% o custo de ração e em cerca de 40% a excreção de nitrogênio e fósforo [76]. O plano setorial pecuário vincula essa frente ao subsídio à compra de máquinas e determina acelerar a difusão de equipamentos de alimentação de precisão, controle ambiental inteligente e sensoriamento [31].

Há uma ressalva importante com relação à aquicultura. Medida pela conversão alimentar, a aquicultura parece o sistema mais eficiente: em produção intensiva com ração comercial, as razões típicas são de 6,0 a 10,0 em bovinos de corte, 2,7 a 5,0 em suínos, 1,7 a 2,0 em frangos e 1,0 a 2,4 em peixes e camarões [56]. Daí se conclui

que deslocar consumo para pescado economizaria ração e, por extensão, consumo de soja. Como a ração aquícola é muito mais densa em proteína, porém, a conversão favorável não se traduz em melhor aproveitamento do nutriente que importa aqui. Medida pela retenção de proteína¹⁰, a aquicultura fica entre 14% e 28% nas nove espécies avaliadas, contra 13% a 37% na pecuária terrestre: menor que a dos frangos e semelhante à dos suínos e bovinos [56]. O ciclo atual de planejamento incorpora o setor nesta rota, ao determinar a reforma dos viveiros tradicionais e o desenvolvimento da aquicultura em sistemas de recirculação de água [51].

Os resultados gerais relacionados à Rota 3 estão resumidos na Tabela 7.

Tabela 7. Maturidade, difusão e situação regulatória das tecnologias da Rota 3

Aplicação	O que é e como atua	Maturidade / Difusão / Regulação	Base da classificação
Escala e maior profissionalização da produção	Migração da produção para granjas maiores que operam com melhor conversão	E3 / D3 / R+	Maturidade: Conversão - Feed Conversion Ratio (FCR) - medida em operação real: 2,73 em granjas acima de 500 cabeças/ano (mais eficiente) contra 3,99 de pequenos domicílios [71]. Difusão: 57,1% dos suínos abatidos em 2020 vinham de granjas com pelo menos 500 animais [70]; meta de taxa de criação em escala de 77% para 2025 e 82% em 2030 [31].
Seleção genômica para melhor conversão alimentar	Marcadores de DNA para selecionar animais mais eficientes	E2 / SE / R+	Maturidade: identificação pelo DNA de suínos que consomem menos ração chega a acurácias de predição de 0,506–0,532 em testes laboratoriais, o que indica resultados bons o suficiente para auxílio na seleção de reprodutores [77]. Difusão/regulação: populações de referência para avaliação genômica da conversão alimentar é citada como meta [31] difusão em escala na China não está documentada. Isso indica que já há apoio de política, mas não há evidência de difusão em rebanhos chineses.
Biossegurança e controle sanitário	Prevenção de doenças que destroem eficiência e elevam mortalidade	E3 / SE / R+	Maturidade: ocorrência de peste suína africana reduziu de forma significativa e mensurável a produtividade total da suinocultura chinesa, sobretudo pela via de mudança tecnológica, mas elevou a eficiência de escala [72]. Difusão e regulação: não há evidência da proporção de granjas que adotam protocolos mais definidos; e o efeito medido por porte de criação sugere adoção muito desigual [73].
Alimentação de precisão e sensores	Ajuste do fornecimento de ração por fase, com monitoramento contínuo	E3 / D2 / R+	Maturidade: Câmeras, Internet das Coisas e sensores descritos em operação comercial na suinocultura chinesa [74], com implantação documentada na maior produtora mundial de suínos chinesa [75]. Difusão e regulação: Uso comercial documentado e concentrado em grandes produtores, há casos empresariais de sucesso e redução de custo e uso de rações (caso Muyuan). Mas as fazendas pequenas ainda respondem pela maior parte das operações e tecnologia aparece apenas nas grandes integradas [74].
Instalações inteligentes e padronizadas	Equipamentos e manejo integrados em granjas padronizadas	E2 / SE / R+	Maturidade: Componentes disponíveis, integração não consolidada: revisão do setor suinícola identifica como barreira central a ausência de tecnologias de pecuária de precisão que possam ser integradas e analisadas sem o apoio de um analista de dados dedicado [78]. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa quantas granjas chinesas operam com o conjunto integrado de equipamentos; o indicador oficial de criação em escala mede porte do rebanho, não dotação tecnológica, e por isso não serve de denominador aqui [31].
Aquicultura em sistemas de recirculação	Reúso da água após tratamento, em tanques e sistemas fabris	E3 / SE / R+	Maturidade: Tecnologia em desenvolvimento há quatro décadas; as duas últimas registraram aumento expressivo de aceitação de mercado e de escala, ainda que as unidades permaneçam pequenas frente a outros sistemas de produção aquícola [79]. A conversão alimentar da aquicultura (1,0 a 2,4) é comparável à dos frangos (1,7 a 2,0) e inferior à dos suínos (2,7 a 5,0). A vantagem, porém, não se traduz em maior retenção de proteína [56]. Difusão e regulação: nenhuma fonte informa a parcela da produção aquícola chinesa em sistemas de recirculação. A determinação de desenvolvê-los [51] indica objetivo, e não adoção.
Genética aquícola para conversão alimentar	Seleção de espécies de peixes e camarões com melhor conversão	SE/SE/R+	Maturidade: Nenhuma fonte revisada documenta o estágio de programas de seleção aquícola voltados à conversão alimentar na China; a única menção disponível é a determinação oficial de apoiá-los. Difusão e regulação: Nenhuma fonte informa o uso de variedades selecionadas por conversão na aquicultura chinesa; a determinação de apoiá-las indica objetivo, não adoção.

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nas fontes indicadas na coluna de justificativa.

4.5. Mudança no consumo de alimentos (Rota 4)

O parâmetro mais revelador do ciclo atual é a estabilidade planejada da produção de carne. O plano setorial pecuário fixa a produção total de carnes em mais de 95 milhões de toneladas em 2030, patamar abaixo dos mais de 100 milhões de toneladas registrados já em 2025, enquanto eleva a produção de ovos de 34,98 para 35,50 milhões de toneladas e a de leite de 41,69 para 43 milhões [31]. A política deixou de perseguir crescimento de volume em carnes e passou a orientar a composição do consumo de proteínas. Três documentos convergem nessa direção:

- o plano setorial pecuário determina promover o desenvolvimento intensivo da avicultura [31];
- o plano de economia de grãos determina desenvolver a produção avícola eficiente e orientar ativamente o consumo de carne de aves [27];
- a diretriz da grande visão de alimentos orienta os consumidores a reduzir o consumo de óleo e aumentar o de leguminosas, aves e laticínios [29].

As projeções da OCDE e da FAO indicam movimento semelhante [9]. Simulações do modelo setorial agrícola chinês estimam que dobrar aproximadamente o consumo de carne de aves, em substituição à suína, reduziria a demanda por ração em 50 milhões de toneladas até 2035, em relação ao cenário-base, e as emissões agrícolas em 82 milhões de toneladas de CO₂ equivalente [80]. Duas ressalvas acompanham esse número: primeiramente, a unidade de medida: o efeito é medido em ração total, não em farelo de soja. Como aves e suínos usam fórmulas diferentes, a economia de soja precisa ser recalculada espécie a espécie; segundo, o comportamento e capacidade produtiva: a preferência cultural pela carne suína, já discutida, e os limites à expansão imediata da produção e do processamento de aves restringem a velocidade da substituição [80].

Já o potencial das mudanças dietéticas mais amplas é substancial nos exercícios de modelagem. Nos exercícios de modelagem, o potencial é substancial. Estratégias integradas de inovação no sistema alimentar poderiam fechar quase 80% das futuras lacunas proteicas da China e reduzir de 57% a 85% os impactos ambientais incorporados nas importações agrícolas [81]. A transição para padrões dietéticos otimizados reduziria a pegada de terra nacional entre 30% e 35% [82]. Contra isso pesa a evidência sobre o comportamento real. Um estudo do consumo urbano identifica forte formação de hábito nos principais alimentos fonte de proteína, sobretudo os de origem animal, e atribui a esse efeito a continuidade do aumento da ingestão de proteína animal [83]. A mudança de dieta é, portanto, uma alavanca de efeito grande, mas de velocidade baixa, o perfil oposto ao das rotas de formulação de ração.

Para as proteínas alternativas destinadas ao consumo humano, a pergunta relevante não é se a tecnologia funciona, e sim quanto produto animal ela efetivamente desloca. A modelagem disponível é cautelosa. Um estudo que combina padrões de comércio e estruturas de custo regionais conclui que a adoção nos Estados Unidos e na União Europeia teria efeito modesto sobre os mercados de grãos,

ao passo que a adoção mundial poderia reduzir significativamente os preços de milho e soja, com impacto heterogêneo entre regiões produtoras [84]. Um trabalho anterior estimou que a substituição de 2% a 6% da carne animal levaria a queda permanente de 16% a 29% no preço da soja, frente ao cenário sem carne vegetal [85]. O mesmo estudo identifica o preço como barreira clara para esses produtos alcançarem mercados de massa em países emergentes [85].

A hipótese de que a difusão de medicamentos agonistas de GLP-1 (as conhecidas canetas emagrecedoras) possam alterar de forma relevante o consumo de proteína animal permanece como sinal exploratório. A evidência clínica de redução aguda de ingestão é robusta: estudo de meta-análise encontrou diferença combinada de -1.132 kJ, cerca de -271 kcal, na ingestão energética de uma refeição à vontade, sem heterogeneidade entre estudos [86]. Os próprios autores registram, porém, que a ingestão habitual em condições reais permanece sub-reportada [86]. Não há evidência que estabeleça efeito populacional na China nem elasticidade de substituição para carnes, ovos, lácteos ou soja, o que recomenda registrar a hipótese, declarar a insuficiência de evidência e não incorporá-la a cenários quantitativos.

Os resultados gerais relacionados à Rota 4 estão resumidos na Tabela 8.

Tabela 8. Maturidade, difusão e situação regulatória das tecnologias da Rota 4

Aplicação	O que é e como atua	Maturidade / Difusão / Regulação	Base da classificação
Substituição de suínos por aves no consumo	Deslocar consumo para espécie com melhor conversão alimentar.	n.a. · M / SE / R+	Maturidade: Mudança de hábito, sem estágio tecnológico; o efeito de 50 Mt de economia de ração até 2035 vem de simulação setorial, não de observação [80]. Difusão e regulação: Não há série que quantifique substituição efetiva; a política orienta aumentar o consumo de aves, o que indica objetivo e não estado observado [27]. A inércia de preferência cultural é apontada como limitação central [80].
Mudança de padrão alimentar	Dietas otimizadas com menor participação de produtos animais.	n.a. · M / SE / R+	Maturidade: Efeito integralmente modelado: dietas otimizadas reduziram de 30% a 35% a pegada de terra [82], e um pacote integrado de inovações no sistema alimentar fecharia quase 80% das lacunas proteicas futuras [81]. Difusão e regulação: não há evidência de transição efetiva. O consumo urbano, ao contrário, mostra forte hábito de consumo (crescente) em alimentos de origem animal [83].
Proteínas vegetais (carne vegetal)	Produtos que substituem carne usando proteína de origem vegetal.	E3 / SE / R+	Maturidade: produto já comercializado em escala em diversos mercados e já há efeito modelado: substituição mundial de 3% da carne animal, a demanda de soja cairia o equivalente a 2,63% da produção global, já descontada a soja usada como ingrediente da carne vegetal [84]. E a substituição também teria impacto em redução do preço da soja [85]. Difusão e regulação: nenhuma fonte informa participação de mercado ou volume na China. O preço e hábitos alimentares são apontados como barreiras, principalmente em mercados emergentes [85].
Fermentação de precisão para alimentos	Microrganismos programados para produzir ingredientes específicos, como proteínas idênticas às do leite, sem o animal.	E2 / SE / R±	Maturidade: a produção de proteínas do leite por microrganismos passou da fase de laboratório para a escala industrial, graças a melhorias nos microrganismos produtores e no processo de fermentação. Nem todas as proteínas, porém, são viáveis atualmente [87]. Difusão e regulação: nenhuma fonte informa produção ou comercialização desses ingredientes na China. (R±: existe via regulatória para aprovação como novo alimento, mas esses produtos ainda não foram aprovados [29].
Carne cultivada	Tecido animal produzido em biorreator.	E2 / D1 / R-	Maturidade: Maturidade: no mundo, a carne cultivada já passou do conceito à aprovação regulatória e a uma comercialização inicial em alguns países. A produção ainda ocorre em instalações piloto ou de demonstração, e os produtos de corte inteiro, como filés, devem continuar restritos a um nicho premium até o início da década de 2030 [88]. Difusão e regulação: na China, há centros nacionais de pesquisa e instalações piloto, mas nenhuma operação comercial [88]. R-: não existe via regulatória específica para o produto. Ele aparece apenas na diretriz geral de promover, com prudência, a industrialização de novos alimentos [29].
Agonistas de GLP-1	Medicamentos antiobesidade que reduzem a ingestão alimentar.	n.a. · O / SE / R+.	Maturidade: Efeito observado, porém restrito à ingestão aguda: -1.132 kJ (≈ -271 kcal) por refeição à vontade [86], com os autores registrando que a ingestão habitual real permanece sub-reportada [86]. Difusão e regulação: O uso dos medicamentos já regulamentado e liberado para humanos na China. Nenhuma evidência liga a terapia ao consumo de proteína animal ou de soja na China, e não há dado de penetração populacional aplicável a esta análise [86].

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nas fontes indicadas na coluna de justificativa.

4.6 Síntese das quatro rotas

A análise das quatro rotas revela três padrões principais. O primeiro é que a direção da política chinesa é inequívoca e, o que importa mais para um observador externo, verificável em indicadores datados. O ciclo 2026–2030 fixa capacidade de produção de grãos de 725 milhões de toneladas como meta de cumprimento obrigatório [28], além de taxa de criação em escala de 82% e produção de ração industrial de 350 milhões de toneladas [31]. Do ciclo anterior, preserva a participação do farelo de soja em torno de 10% e a redução de mais de 0,2 kg de ração por quilo de produto animal [27]. Avaliar o progresso não exige confiar na narrativa oficial, mas acompanhar os indicadores que a própria política define.

O segundo é que o gargalo muda de natureza conforme a rota. Onde existe meta nacional de adoção, como nas dietas de baixa proteína, a tecnologia está madura e a difusão avança de forma documentada, com a inclusão de farelo caindo de 17,9% para 13,7% entre 2017 e 2024 [23]. Onde metas nacionais não existem e a difusão é desconhecida, este estudo não estima, identificando os casos como sem evidência suficiente. É o caso de 16 das 32 aplicações analisadas, entre elas farelos alternativos, seleção genômica, protocolos de biossegurança e carne vegetal, nos quais não foi possível atribuir nível de difusão. Para metade do inventário tecnológico relevante à soja, portanto, conhece-se o desempenho técnico e desconhece-se quanto dele está em uso. Em edição gênica, proteína microbiana de novas rotas, insetos e algas, por sua vez, o gargalo é de maturidade e escala, não de adoção.

O terceiro padrão é o mais relevante para exportadores. Onde a tecnologia é genuinamente nova, a distância entre capacidade anunciada e volume efetivamente existente é significativo. A proteína microbiana é o caso mais nítido. Ensaio revisados por pares confirmam que o produto funciona em doses moderadas [58,65]. As vendas informadas pelo setor, porém, somavam cerca de 10,7 mil toneladas em 2024, a preço cerca do dobro do farelo de soja [61], frente a uma meta setorial de 10 milhões de toneladas [27]. Separar eficácia demonstrada, capacidade instalada e volume vendido é, assim, condição para uma leitura útil da estratégia chinesa.

A Tabela 9 faz uma síntese geral das rotas e tecnológicas mais viáveis, um resumo analítico e uma estimativa de efeito total avaliado.

Tabela 9. Síntese: tecnologias mais viáveis, metas oficiais e resultado esperado até 2030 (continua)

Rota	Tecnologias mais viáveis (M / D / R)	Meta oficial	Ponto de partida	Resultado esperado até 2030	Efeito total (demanda de soja)
1. Aumento da Produção doméstica	Melhoramento convencional (E3/D3/R+); soja transgênica (E2/D2/R+); assistência técnica e cooperativas (E3/D2/R+)	+39% de produtividade até 2034, para cerca de 2,78 t/ha e 28 Mt [10]; grãos de 695 para 725 Mt em 2030 [28]	~2,0 t/ha em média de produtividade e 21 Mt produzidos, cerca de 15% do consumo de 136 Mt [19]	Parcial. Ganhos dependem mais de manejo e extensão rural do que de genética nova. A transgenia ainda tem baixo nível de difusão e a edição gênica é experimental	Pequeno: até 2030, a produção doméstica aumentaria de 2 a 4 Mt, o que reduz na mesma medida a importação de soja. Com a meta de produtividade cumprida em 2034, o ganho chegaria a 7 Mt, e a produção doméstica passaria de cerca de 15% para 21% do consumo.
2. Menor intensidade de farelo na ração animal	Dieta de baixa proteína com aminoácidos industriais, suínos e aves (E3/D3/R+); produção industrial de aminoácidos (E3/D3/R+)	Farelo em torno de 10% da ração até 2030 [27]	Participação de 13,7% de farelo em rações – dado de 2024 [23]	Parcial. O setor considera viável cair até 2 p.p., para algo perto de 11,7%, cerca de metade da distância até a meta	Parcial: o efeito sobre o volume depende do crescimento do consumo absoluto de ração. Com demanda estável (base 2025), que seria próximo da meta oficial de 350 Mt, -9 a -16 Mt de soja (farelo a 11,7% ou a 10% da composição). Mantido o crescimento médio de 6,2% a.a. que foi registrado entre 2020 e 2025, de +9 a -1 Mt.
	Proteína microbiana de gases industriais (E3/D2/R+)	10 Mt até 2030 [27]	~10,7 mil t vendidas em 2024, ao dobro do preço do farelo [61]	Improvável. A meta equivale a cerca de 1.000 vezes o volume atual	Marginal até 2030 (≈ 0 Mt): o volume atual equivale a cerca de 0,02% do farelo usado na ração industrial.

Tabela 9. Síntese: tecnologias mais viáveis, metas oficiais e resultado esperado até 2030 (continuação)

Rota	Tecnologias mais viáveis (M / D / R)	Meta oficial	Ponto de partida	Resultado esperado até 2030	Efeito total (demanda de soja)
3. Menor intensidade total de ração	Escala e profissionalização da produção (E3/D3/R+); alimentação de precisão e sensores (E3/D2/R+)	Criação em escala de 76,9% para 82% em 2030 [31]; mais de 0,2 kg a menos de ração por kg de produto (-7%) até 2030, em relação a 2023 [27]	Conversão de 2,73 em granjas com mais de 500 cabeças/ano, contra 3,99 em pequenos domicílios [71]; 57% dos suínos vindos de granjas com mais de 500 animais em 2020 [70]	Provável. A concentração já está em curso, e a diferença de eficiência entre portes (cerca de 30%) supera a redução exigida pela meta (7%)	Moderado: -3 a -5 Mt de soja, pela meta oficial de -7% de ração por kg de produto. Reduz o uso relativo, mas a ração industrial total deve subir de 340 para 350 Mt, mesmo de acordo com a meta oficial [31]
4. Mudança no consumo de alimentos	Substituição de carne suína por aves (n.a./M, SE, R+)	Sem meta quantitativa de consumo. Carnes acima de 95 Mt em 2030, ovos 35,5 Mt e leite 43 Mt [31]; orientação para consumir mais aves [27]	Mais de 100 Mt de carnes em 2025; consumo de proteína animal ainda crescente, com forte formação de hábito [83]	Lento. A meta de carnes indica estabilização do volume. A substituição por aves é orientada pela política, mas limitada pela preferência cultural	Baixo até 2030 (não quantificado). Potencial alto no longo prazo: -50 Mt de ração até 2035 no cenário modelado [80]
	Proteínas alternativas: carne vegetal, fermentação de precisão, carne cultivada (E2-E3 / SE-D1 / R+ a R-)	Diretriz de desenvolver a biotecnologia sintética, sem meta de volume [28]	Nenhum volume documentado na China	Improvável em escala relevante até 2030	Marginal (≈ 0 Mt até 2030). Pouca documentação e evidência de resultado prático
Síntese	Efeito total possível em 2030: -14 a -23 Mt de soja com demanda de ração estável; de +3 a -9 Mt com crescimento de tendência. Rotas 2 e 3 concentram o efeito majoritário; rotas 1 e 4 têm efeito limitado ou de longo prazo (maior grau de incerteza)				

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nas Tabelas 5 a 8 e nos documentos oficiais citados. "Resultado esperado" é avaliação dos autores com base na distância entre a meta e o ponto de partida e na evidência de difusão. Nota: Provável = tecnologia madura e difundida, com trajetória observada compatível com a meta; Parcial = direção correta, mas evidência indica ficar aquém da meta; Lento = efeito de longo prazo, dependente de comportamento; Improvável = distância de ordens de grandeza entre o volume atual e a meta. M/D/R = maturidade, difusão e regulação, conforme as Tabelas A1 e A2.

Na tabela 10, estima-se cenários com base na síntese das rotas tecnológicas. Os cenários resultam da combinação de duas dimensões. A primeira é a trajetória da demanda de ração: estável, com produção de proteína animal constante e volume próximo da meta oficial, ou crescendo à taxa média observada entre 2020 e 2025, tratada como limite superior por partir do período de recomposição dos rebanhos após a peste suína africana. A segunda é o grau de cumprimento das metas: metas oficiais integralmente atingidas, ou um cenário "viável", calibrado com base nas entrevistas. Os demais usos da soja, como a produção de óleo e o consumo humano direto, foram mantidos constantes (*ceteris paribus*). As premissas detalhadas estão disponíveis na seção Apêndice Metodológico. As limitações relativas às bases estatísticas de ração e de farelo de soja, e seus efeitos sobre os cenários, são discutidas na nota A4 do Apêndice.

A análise indica que em um cenário de crescimento seguindo a tendência de demanda por ração dos últimos 5 anos e também considerando o cenário viável com relação às questões técnicas envolvendo as rotas avaliadas, verifica-se que há uma tendência de desaceleração da demanda por importações (demanda complementar), mas não exatamente uma reversão (queda). Os cenários onde há queda de importações para 2030 correspondem ao cumprimento integral das metas do governo chinês e/ou considerar que não haveria um crescimento da demanda total por ração animal dentro do processo produtivo pecuário chinês, o que é pouco provável diante dos investimentos e do crescimento de produção animal que a China tem atingido nos últimos anos, conforme informações já mencionadas nesse estudo.

Tabela 10. Efeito total possível sobre a demanda de soja em 2030, por rota e cenário (Mt de soja equivalente, em relação a 2025)

Rota	Demanda de ração estável e metas cumpridas	Demanda de ração estável e cenário viável	Crescimento de tendência e metas cumpridas	Crescimento de tendência e cenário viável
1. Produção doméstica	-4,0	-2,0	-4,0	-2,0
2. Menos farelo na ração	-16,0	-8,7	-0,7	+9,3
3. Menos ração por produto	-3,0	-3,5	-4,1	-4,8
4. Demanda final	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Total	-23,0	-14,2	-8,8	+2,5
% do consumo atual (136 Mt)	-17%	-10%	-6%	+2%
Importações de soja em 2030	92 Mt (-20%)	101 Mt (-12%)	106 Mt (-8%)	118 Mt (+2%)

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global. Valores negativos indicam redução da demanda chinesa por soja importada.*Nota 1: (base: 115 Mt = 136 Mt de consumo - 21 Mt de produção). Nota geral: premissas disponíveis em detalhes na seção APÊNDICE.

Na tabela 11, apresenta-se uma análise de sensibilidade que complementa os cenários, variando conjuntamente a taxa de crescimento da demanda por ração e a variação da participação do farelo na ração, o que permite identificar o limiar de crescimento a partir do qual os ganhos de intensidade deixam de reduzir o volume absoluto de farelo demandado. A análise considera apenas a ração industrial e não incorpora efeitos de preço nem a demanda adicional de milho associada à produção de aminoácidos.

Tabela 11. Análise de sensibilidade: efeito das Rotas 2 e 3 em 2030 (Mt de soja) por crescimento da ração e participação do farelo

Crescimento anual da ração ↓ / Composição de Farelo em 2030 →	10.0%	11.0%	11.7%	12.5%	13.7%
0.0%	-19.1	-15.0	-12.2	-9.0	-4.2
1.0%	-17.0	-12.8	-9.8	-6.4	-1.3
2.0%	-14.9	-10.4	-7.3	-3.7	+1.6
3.0%	-12.6	-8.0	-4.7	-1.0	+4.6
4.0%	-10.3	-5.4	-2.0	+1.9	+7.8
5.0%	-7.9	-2.8	+0.8	+4.9	+11.1
6.3%	-4.8	+0.7	+4.5	+8.8	+15.4

Fonte: elaborado por Insper Agro Global.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise indica que a segurança alimentar chinesa não enfrenta um problema de escassez generalizada, mas de dependência concentrada. O país é autossuficiente em cereais básicos, carnes suína e de frango e pescados, e a vulnerabilidade estrutural recai sobre a soja e, em menor grau, sobre a carne bovina. Como o farelo de soja é a principal fonte proteica das rações, essa dependência atravessa todas as cadeias de proteína animal. Por isso, a estratégia chinesa atua menos sobre a substituição direta das importações e mais sobre a redução da demanda por farelo.

As quatro rotas avaliadas diferem em maturidade e velocidade. A redução do farelo na ração é a mais avançada e a única com efeito já mensurável em escala nacional, mas enfrenta três limites: a meta de 10% até 2030 é considerada ambiciosa pelo setor produtivo; a menor intensidade pode ser compensada pelo crescimento da produção de ração; e a dependência de aminoácidos industriais transfere parte da pressão sobre a terra para o milho. O aumento da produção doméstica esbarra no teto de área: mesmo que a meta de produtividade seja cumprida, a soja nacional cobriria cerca de um quinto do consumo. A transgenia e a edição gênica são promissoras, mas a primeira esbarra em questões regulatórias, e a segunda ainda está em fase piloto e não está em escala comercial. Parte relevante do hiato de rendimento da China com relação à produtividade decorre de manejo e extensão rural, e não de genética, o que acentua uma dificuldade de disseminação de práticas em meio a uma agricultura heterogênea de pulverizada. A maior eficiência alimentar e a mudança de dieta, com substituição de carne suína por frango, têm efeito potencial grande, porém

lento e condicionado por hábitos culturais. Nas proteínas alternativas, a distância entre a meta e o volume efetivamente comercializado ainda é alta, esbarrando em restrições técnicas muito significativas.

O cenário mais provável para o horizonte do 15º Plano Quinquenal é, portanto, de seguir com a desaceleração do crescimento da demanda chinesa por soja importada, e não de sua reversão. Para o Brasil, responsável por cerca de 70% dessas importações, isso significa um mercado que permanece central, mas com expansão bem mais moderada. O estudo também mostra que a China utiliza instrumentos distintos conforme o produto: tornou-se exportadora líquida de carne de frango, o que a coloca como concorrente em terceiros mercados, e recorreu à cota tarifária para proteger sua produção de carne bovina.

Como a própria política chinesa define indicadores verificáveis, como a participação do farelo, a taxa de criação em escala e a produção de ração industrial, o acompanhamento dessas metas oferece ao Brasil um instrumento objetivo de monitoramento. Uma agenda futura de pesquisa deve priorizar duas lacunas identificadas: a medição da difusão efetiva das tecnologias, sem evidência suficiente em metade das aplicações analisadas, e a modelagem do efeito das rotas sobre o volume, e não apenas sobre a intensidade, da demanda por soja.

APÊNDICE: METODOLOGIA.

A1. Escalas de avaliação tecnológica

A escala de maturidade (Tabela A1) deriva dos Technology Readiness Levels (TRL) como um ponto de partida. A escala de nove níveis foi criada pela NASA e hoje é amplamente usada fora da engenharia aeroespacial [89,90]. A literatura apresenta agrupamentos e adaptações da escala para outros contextos [91-93]. A classificação apresentada na tabela A1 e sua tradução para aplicações agronômicas e zootécnicas são operacionalizações propostas neste estudo.

Tabela A1. Escala de maturidade tecnológica

Código	Estágio	O que significa	Evidência exigida para a classificação
E1	Pesquisa (TRL 1 a 3)	A aplicação ainda está no campo da ciência. Já se sabe que é possível em princípio, e há resultados iniciais que indicam que funciona. Esses resultados, porém, foram obtidos em condições simplificadas, em pequena escala e por pouco tempo. Ainda não se sabe se o efeito se mantém em condições próximas às da produção.	Estudos que identificam o mecanismo que torna a aplicação possível, como um gene associado a uma característica da planta ou uma rota metabólica de um microrganismo. Soma-se a eles uma primeira comprovação do efeito em laboratório, em casa de vegetação ou em ensaios curtos com poucos animais ou parcelas.
E2	Validação e demonstração (TRL 4 a 6)	A aplicação já foi testada de forma completa e controlada. Depois foi levada a condições cada vez mais próximas das reais, até ser	Ensaio completo em condições controladas, ensaios repetidos em vários locais ou em granjas comerciais sob

Código	Estágio	O que significa	Evidência exigida para a classificação
		demonstrada em ambiente produtivo. Sabe-se que funciona fora do laboratório. Ainda não está comprovado que é economicamente viável, que o resultado se repete em diferentes lugares e que pode operar em escala comercial.	protocolo de pesquisa, plantas-piloto ou projetos demonstrativos em ambiente produtivo. Resultados de laboratório, mesmo repetidos, e projeções de desempenho não bastam para esta classificação.
E3	Aplicação comercial (TRL 7 a 9)	A aplicação saiu da fase de testes e opera como atividade econômica regular: é produzida, vendida ou cultivada no mercado. O estágio vai da primeira operação comercial até o uso rotineiro na produção.	Registro de operação comercial efetiva, como produto vendido, capacidade instalada que possa ser verificada ou área efetivamente cultivada. Planta-piloto estável, certificação obtida, contrato assinado ou capacidade apenas anunciada não bastam, porque nenhum desses fatos comprova que há produção sendo vendida.

Nota: a maturidade indica o estágio mais avançado que a aplicação alcançou em qualquer país. O quanto ela é usada na China é medido separadamente, pela escala de difusão (Tabela A2).

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base nas definições TRL da NASA [90] e em adaptações publicadas em outros campos [91-93]; agrupamento E1–E3 elaborado pelos autores.

A escala de difusão (Tabela A2) deriva do modelo clássico de difusão de inovações, que descreve como uma nova prática se espalha entre os produtores ao longo do tempo [33]. Segundo esse modelo, a adoção costuma passar por três momentos. No primeiro, apenas um pequeno grupo de pioneiros experimenta a novidade. Em geral, são produtores com mais informação, mais recursos ou maior disposição para correr riscos. No segundo, os resultados se tornam conhecidos, a prática se mostra vantajosa e a maioria dos produtores passa a adotá-la, o que acelera a difusão. No terceiro, restam os produtores mais resistentes ou com menos condições de mudar, e o ritmo de adoção diminui [94,95]. O ponto decisivo para este estudo é a passagem do primeiro para o segundo momento, quando a inovação deixa de ser prática de um grupo restrito e passa a ser prática corrente no setor. A Tabela A2 foi construída em torno dessa passagem. D1 indica que a tecnologia ainda não começou a ser usada comercialmente. D2 indica que ela é usada apenas por pioneiros ou em segmentos específicos. D3 indica que ela já chegou à maioria dos produtores.

Tabela A2. Escala de difusão observada na China

Código	Grau de difusão	O que significa	Evidência exigida para a classificação
D1	Sem uso comercial	A tecnologia ainda não é usada comercialmente no país. Ela existe apenas como pesquisa, ensaio ou projeto-piloto.	Informação que mostre que não há operação comercial na China: nenhuma variedade registrada para plantio comercial, nenhum produto vendido, nenhuma área ou volume em operação. A simples falta de dados não basta; nesse caso, registra-se SE.
D2	Uso comercial restrito	A tecnologia já é usada comercialmente, mas apenas por pioneiros ou em um segmento específico do setor. Esse segmento pode ser um produto de alto valor, grandes empresas integradoras, uma única espécie animal ou uma única região. Ainda não é prática da maioria.	Dados de venda, de área cultivada ou de número de operações que comprovem o uso comercial, junto com informação que mostre que esse uso é pequeno em relação ao total do setor.
D3	Uso disseminado	A tecnologia deixou de ser prática de pioneiros e passou a ser adotada pela maioria dos produtores do setor em questão.	Estatística nacional que mostre uso na maior parte do setor. Pode ser a participação média de um ingrediente na ração, a parcela da produção que vem de determinado tipo de granja ou a área cultivada em relação ao total. Casos isolados, mesmo numerosos, e dados de uma única região não bastam.

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global a partir das categorias de adotantes do modelo de difusão de inovações [94].

O estudo não conta quantos produtores chineses adotaram cada tecnologia, porque esse dado não existe de forma sistemática. A classificação se apoia em estatísticas nacionais que permitem comparar o uso da tecnologia com o total do setor. É o caso da participação de um ingrediente na ração, da parcela dos abates que vem de granjas de grande escala ou da área cultivada com determinada variedade. A título de exemplo, a participação média do farelo de soja na ração chinesa caiu de forma expressiva entre 2017 e 2024 [23]. Como se trata de uma média de todo o país, essa queda só seria possível se as dietas com menos farelo já fossem usadas na maior parte da ração produzida, e não apenas por um grupo restrito de produtores. Por isso, essa prática é classificada como D3.

A situação regulatória é registrada em paralelo como R+, quando há aprovação e via comercial aberta; R±, quando a aprovação é parcial, condicionada ou em regime de piloto; e R–, quando não há aprovação nem via de registro definida. Quando a evidência disponível não sustenta uma atribuição em qualquer das três escalas, registra-se SE, sem evidência suficiente.

Os itens de mudança de consumo da Rota 4, como a troca de carne suína por carne de frango, não são tecnologias. Eles não passam por etapas de pesquisa, teste e lançamento comercial, por isso recebem n.a. (não se aplica) em maturidade. No

lugar dessa nota, indica-se como se conhece o efeito da mudança sobre a demanda por soja. O código M (efeito modelado) é usado quando o efeito foi calculado por simulações. Nesses estudos, os pesquisadores montam cenários de alimentação e estimam quanto a demanda por soja cairia se a população passasse a consumir daquela forma. O resultado mostra o que poderia acontecer, e seu tamanho depende das hipóteses adotadas no cenário. O código O (efeito observado) é usado quando a mudança já foi medida na prática, em séries de consumo ou em estudos que acompanharam o que as pessoas de fato passaram a comer. A título de exemplo, as dietas otimizadas para reduzir o uso de terra têm efeito modelado. Já a redução do consumo de alimentos entre usuários de medicamentos agonistas de GLP-1 tem efeito observado. Assim, M indica um potencial, e O, uma mudança que já está em curso.

A2. Entrevistas semiestruturadas com informantes-chave

De forma complementar à revisão integrativa da literatura e à análise documental, foram realizadas duas entrevistas semiestruturadas com informantes-chave do setor, com ampla base técnica, selecionados por amostragem intencional em função de sua experiência técnica direta com a produção animal e a nutrição em mercados internacionais, incluindo o mercado chinês, conforme perfis descritos abaixo. Para preservar o anonimato, os entrevistados são identificados no texto de forma codificada:

Entrevistado 1: Executivo de grande empresa nacional de proteína animal, com ampla experiência no setor.

Entrevistado 2: Representante de entidade nacional da cadeia produtora e exportadora, que acompanha de perto o mercado chinês e a estratégia internacional das empresas chinesas do setor.

As entrevistas ocorreram entre julho e agosto de 2026, em formato presencial e remoto, e seguiram um roteiro organizado em três eixos: (i) opinião sobre a viabilidade técnica e econômica das tecnologias identificadas na literatura; (ii) avaliação sobre o estágio atual de adoção dessas tecnologias na estrutura produtiva chinesa; e (iii) a plausibilidade do cumprimento das metas oficiais estabelecidas pelo governo chinês para o horizonte de 2030. O conteúdo foi sistematizado por análise de conteúdo temática [96], a partir de categorias definidas previamente com base nas quatro rotas do estudo. As entrevistas não foram tratadas como fonte primária de dados quantitativos. Seu papel foi triangular as evidências da literatura e dos documentos oficiais [97], apoiando a interpretação das classificações de maturidade e difusão e a calibração dos parâmetros dos cenários.

A3. Construção dos cenários

Para estimar a magnitude possível do efeito das rotas sobre a demanda chinesa por soja importada em 2030, adotou-se um modelo contábil de balanço (*bottom-up*), determinístico e de estática comparativa, com 2025 como ano-base. A chamada demanda complementar de demanda (ou por importação) é obtida pela identidade $M = C - P$, em que C representa o consumo doméstico de soja e P , a produção doméstica. O componente de ração é modelado pela cadeia em que o volume de ração industrial (R) é multiplicado pela participação do farelo de soja na formulação (s), resultando no consumo de farelo ($F = R \cdot s$), convertido em soja equivalente pelo rendimento de esmagamento (k), de modo que $S = F / k$. Cada rota atua sobre um elo dessa cadeia:

- a Rota 1 altera P , pelo ganho de produção previsto na meta de produtividade para 2034, contabilizado até 2030 em proporção do prazo decorrido;
- a Rota 2 altera s , pela meta oficial de participação do farelo;
- a Rota 3 altera R , pela meta de redução de ração por quilo de produto animal. Essa redução é aplicada sobre o volume de ração já ajustado pela Rota 2, para evitar dupla contagem;
- a Rota 4 não é quantificada até 2030, dada a ausência de evidência de efeito observado nesse horizonte.

Os cenários resultam da combinação de duas dimensões. A primeira é a trajetória da demanda de ração: estável, com produção de proteína animal constante e volume próximo da meta oficial, ou crescendo à taxa média observada entre 2020 e 2025, tratada como limite superior por partir do período de recomposição dos rebanhos após a peste suína africana. A segunda é o grau de cumprimento das metas: metas oficiais integralmente atingidas, ou um cenário "viável", calibrado com base nas entrevistas. As premissas e dados base estão descritos na Tabela A3. Os demais usos da soja, como a produção de óleo e o consumo humano direto, foram mantidos constantes (*ceteris paribus*). Uma análise de sensibilidade complementa os cenários, variando conjuntamente a taxa de crescimento da ração e a participação do farelo, o que permite identificar o limiar de crescimento a partir do qual os ganhos de intensidade deixam de reduzir o volume absoluto de farelo demandado. Os resultados devem ser interpretados como ordens de grandeza condicionadas às premissas, e não como projeções. A análise considera apenas a ração industrial e não incorpora efeitos de preço nem a demanda adicional de milho associada à produção de aminoácidos.

Tabela A3. Premissas e dados de base

Variável	Valor	Unidade	Fonte / observação
Ano-base	2025	ano	Ano de referência dos cenários
Ano de análise	2030	ano	Horizonte do 15º Plano Quinquenal
Consumo chinês de soja	136.00	Mt	USDA [19]
Produção doméstica de soja	21.00	Mt	USDA [19]
Demanda externa complementar /*Importações de soja (base)	115.00	Mt	Calculado: consumo – produção

Ração industrial – 2020	252.76	Mt	CFIA – China Feed Industry Association [98]
Ração industrial – 2025	342.25	Mt	CFIA – China Feed Industry Association [99]. Esse dado inclui premix, que praticamente não contém farelo de soja
Participação do farelo de soja na ração – base	13.7%	%	Dado de 2024 da série do MARA, calculado sobre o consumo total de ração [23]; usado como base de 2025 e aplicado à ração industrial como aproximação. A CFIA informa 13,4% para 2025 sobre a ração composta e concentrada [99]; com esse valor, os efeitos totais variam menos de 1,5 Mt (ver nota A4).
Farelo de soja na ração industrial – base	46.89	Mt	Calculado
Rendimento de farelo por t de soja esmagada	0.79	t/t	Coefficiente técnico usual de esmagamento
Soja equivalente ao farelo da base	59.35	Mt	Calculado
Rota 1 – Produção doméstica			
Produtividade atual da soja	2.00	t/ha	USDA [19]
Produtividade meta 2034	2.78	t/ha	China Agricultural Outlook [10]: 185 kg/mu
Ganho de produtividade implícito	39.0%	%	Calculado ($\approx +39\%$)
Produção prevista em 2034 com a meta	28.00	Mt	Paper (cerca de 28 Mt); área implícita na célula B22
Ano da meta de produtividade	2034	ano	China Agricultural Outlook [10]
Área implícita (produção 2034 ÷ produtividade meta)	10.07	Mha	Checagem
Fração do prazo decorrida até 2030	55.6%	%	Calculado: $(2030-2025)/(2034-2025)$
Cenário viável: fração do ganho proporcional	50.0%	%	Premissa dos autores (metade do ganho proporcional)
Rota 2 – Menos farelo na ração			
Participação do farelo em 2030 – meta	10.0%	%	MARA [27]
Participação do farelo em 2030 – viável	11.7%	%	Redução de 2 p.p. considerada viável pelo setor (Entrevistado 1)
Proteína microbiana – volume adicional em 2030	0.00	Mt	Padrão 0 (vendas de 2024: ~0,011 Mt). Meta oficial citada no paper: 10 Mt
Fator de substituição: t de farelo por t de proteína microbiana	1.80	t/t	Premissa: teor proteico de ~83% contra ~46% do farelo
Rota 3 – Menos ração por produto			
Redução de ração por kg de produto – metas	7.0%	%	MARA [27]: -0,2 kg/kg, > 7% até 2030
Redução de ração por kg de produto – viável	7.0%	%	Classificada como "provável" no paper; mesmo valor
Rota 4 – Mudança no consumo de alimentos			
Efeito da Rota 4 até 2030 (Mt de soja)	0.00	Mt	Não quantificado no paper até 2030; permite testar um valor (negativo = redução)
Crescimento da demanda de ração			
Crescimento anual – cenário estável	0.0%	%	Produção de produtos animais constante
Crescimento médio 2020–2025 (calculado)	6.2%	%	Calculado a partir da CFIA
Crescimento anual – cenário de tendência	6.2%	%	Por padrão igual ao crescimento 2020–2025; pode ser sobrescrito. Tratado como limite superior: inclui a migração da mistura na granja para a ração industrial; o consumo total de ração estimado pelo MARA cresceu cerca de 2% a.a. entre 2022 e 2024 (ver nota A4)
Referência: meta oficial de ração industrial em 2030	350.00	Mt	MARA [31] – apenas referência, não entra no cálculo

Fonte: elaborado por Insper Agro Global com base nos resultados da pesquisa e critérios metodológicos adotado.

A4. Bases estatísticas do consumo de farelo de soja na ração e limitações dos cenários

As estatísticas chinesas sobre farelo de soja na ração não formam uma série única. Cada fonte mede um recorte diferente do sistema produtivo, e os volumes que resultam delas não são diretamente comparáveis. Três fontes são relevantes para este estudo.

A China Feed Industry Association (CFIA) mede a produção das fábricas de ração licenciadas, inclusive as unidades próprias dos grandes integradores [99]. É a única série anual detalhada e consistente. Ela não cobre, porém, a ração misturada nas próprias granjas, em que o produtor adquire milho, farelo e premix ou concentrado e faz a formulação sem registro como produção industrial. Essa prática é relevante entre pequenos e médios suinocultores e na pecuária de ruminantes. A participação do farelo divulgada pela CFIA, de 13,4% em 2025, refere-se apenas à ração composta e concentrada [99].

O Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais (MARA) estima o consumo total de ração na pecuária, inclusive a não industrial. O cálculo parte da produção animal e aplica coeficientes técnicos de consumo de ração por produto. Trata-se, portanto, de uma estimativa por modelo, e não de um levantamento direto, divulgada de forma esporádica em comunicados sobre a política de redução do farelo. Segundo essa fonte, o consumo total foi de 454 Mt em 2022, com 65,8 Mt de farelo (14,5%) [100], e de 472 Mt em 2024 [101]. As metas oficiais de participação do farelo, como os 10% até 2030 [27], e a série de 17,9% em 2017 para 13,7% em 2024 [23] são calculadas sobre essa base.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) não mede diretamente o uso de farelo na ração. Ele o obtém como resíduo do balanço de oferta e demanda: produção de farelo pelo esmagamento, mais importações, menos exportações e variação de estoques. A linha correspondente ("Feed Waste Dom. Cons.") absorve também perdas e erros de estoque, e os dados seguem o ano-safra de outubro a setembro [19,102].

Tabela A4. Consumo de farelo de soja na ração na China, por fonte

Fonte	Ano	Farelo de soja (Mt)	O que mede
CFIA	2024	~41,8	Produção declarada das fábricas de ração
MARA	2024	~64,7	Consumo total estimado por coeficientes técnicos (472 Mt × 13,7%)
USDA	2025/26	77,3	Resíduo do balanço oferta–demanda

Fonte: elaborado pelo Insper Agro Global com base em CFIA [99], MARA [23,101] e USDA [102].
Nota: o valor da CFIA é estimado pelos autores a partir da queda de 2,06 Mt (-4,7%) informada para 2024, e o do MARA, pelo produto entre o consumo total e a participação do farelo.

A diferença de cerca de 33 Mt entre o USDA e a CFIA tem dois componentes. O primeiro, de 20 a 25 Mt, corresponde ao farelo usado na ração misturada nas granjas, dado pela distância entre as estimativas do MARA e da CFIA. O segundo, de cerca de 10 Mt, reflete diferenças de método e de período do balanço do USDA. Os componentes são aproximados. A ração concentrada registrada pela CFIA é diluída com grãos nas próprias granjas, de modo que as duas camadas se sobrepõem em parte e não se somam de forma exata.

Implicações para a avaliação dos cenários

Primeiro, quanto à base de cálculo. Os cenários aplicam a participação do farelo da série do MARA (13,7% em 2024), calculada sobre o consumo total de ração, ao volume de ração industrial da CFIA. Trata-se de uma aproximação entre bases distintas. Com a participação divulgada pela própria CFIA para a ração composta e concentrada (13,4%), os efeitos totais variam menos de 1,5 Mt em todos os cenários, o que indica que o resultado não depende dessa escolha. Em qualquer caso, a base industrial cobre pouco mais da metade do farelo usado na ração segundo o USDA, e os efeitos estimados para as Rotas 2 e 3 devem ser lidos como limite conservador da magnitude possível.

Segundo, quanto à taxa de crescimento. O crescimento da ração industrial, de 6,2% ao ano entre 2020 e 2025, superestima o crescimento do consumo total. Parte dele reflete a migração da mistura na granja para a ração industrial, que acompanha a concentração da produção em estabelecimentos de maior escala. Na base do MARA, o crescimento observado entre 2022 e 2024 foi de cerca de 2,0% ao ano. Como o resultado dos cenários é mais sensível à taxa de crescimento da ração do que ao nível da base, essa diferença afeta o sinal do cenário de tendência. Em teste de sensibilidade sobre a base do MARA, as importações em 2030 ficam entre 85 e 103 Mt, abaixo do intervalo de 92 a 118 Mt obtido nos cenários da Tabela 10.

Terceiro, quanto à aplicação das metas. A meta de 10% de participação do farelo é definida sobre o consumo total de ração. Sua aplicação à base industrial supõe que a redução ocorra na mesma proporção nos dois segmentos, o que não é observado diretamente. A ausência de estatística medida sobre a ração não industrial impede verificar se a redução da participação ocorre também fora das fábricas. Essa é uma lacuna relevante para o monitoramento da Rota 2.

REFERÊNCIAS

1. Organização das Nações Unidas (ONU). Population, surface area and density. In: Statistical Yearbook. 68th ed. New York: ONU; 2026 [citado 9 set 2026]. Disponível em: https://data.un.org/_Docs/SYB/PDFs/SYB68_1_202511_Population,%20Surface%20Area%20and%20Density.pdf
2. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). China at a glance [Internet]. Roma: FAO; 2026 [citado 9 set 2026]. Disponível em: <https://www.fao.org/china/our-office/china-at-a-glance/en>

3. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). AQUASTAT: sistema de informação sobre uso da água na agricultura [Internet]. Roma: FAO; 2026 [citado 9 set 2026]. Disponível em: <https://data.apps.fao.org/aquamaps/?lang=en>
4. Buainain AM, Vieira-Junior PA. Segurança alimentar da China e a reorganização do sistema agroalimentar global: o lugar do Brasil. Campinas: Unicamp/IE; 2026. (Texto para Discussão, 493).
5. Dikötter F. Mao's great famine: the history of China's most devastating catastrophe, 1958-1962. New York: Walker & Company; 2010.
6. Huang J, Rozelle S. Invisible China: how the urban-rural divide threatens China's rise. Chicago: University of Chicago Press; 2020.
7. Reis Neto ACBSA. Políticas de segurança alimentar como estratégia de segurança do Estado [monografia]. Brasília: Escola Superior de Defesa; 2022.
8. Jank MS, Capuzzi B, Pimenta Junior JL, Falcão RL. O dilema da segurança alimentar na China: fases históricas e perspectivas. São Paulo: Insper Agro Global; 2026. (Working Paper, 5).
9. OECD, FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2025-2034. Paris: OECD Publishing; Roma: FAO; 2025.
10. China. Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais. Comitê de Especialistas em Alerta de Mercado. 中国农业展望报告 (2025—2034) [Relatório de Perspectivas Agrícolas da China 2025—2034]. Pequim: China Agricultural Science and Technology Press; 2025.
11. Trade Data Monitor. [Base de dados de comércio internacional: exportações brasileiras de soja] [Internet]. 2025 [citado em: data]. Disponível em: <https://tradedatamonitor.com>
12. Fang H, Li M, Lu G. Decoding China's industrial policies. NBER Working Paper No. 33814. Cambridge (MA): National Bureau of Economic Research; 2025. doi:10.3386/w33814.
13. National Bureau of Statistics of China. National Data [Internet]. Beijing: National Bureau of Statistics of China; [citado em 2 out 2026]. Disponível em: <https://data.stats.gov.cn/>
14. Gale F, Hansen J, Jewison M. China's growing demand for agricultural imports. Washington, DC: USDA Economic Research Service; 2015. (Economic Information Bulletin, EIB-136).
15. Jamet JP, Chaumet JM. Soybean in China: adapting to the liberalization. OCL. 2016;23(6):D604.
16. Qin X, et al. Maize yield improvements in China: past trends and future directions. Plant Breed. 2016;135(2):166-76.
17. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. China: new genetically modified corn and soybean variety registration list published. Beijing: USDA FAS; 2024. (GAIN Report CH2024-0048).
18. Lun F, Sun J, Zhou Y, Hu Q, Gan L, Zhang T, et al. Integrated policies could raise China's soybean self-sufficiency and ease global land-use pressure. Nat Food. 2026;7:669-77.
19. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. Production, Supply and Distribution (PSD) Online [Internet]. Washington, DC: USDA FAS; 2026 [citado em: data]. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline>
20. Lander B, Schneider M, Brunson K. A history of pigs in China: from curious omnivores to industrial pork. J Asian Stud. 2020;79(4):865-89. doi:10.1017/S0021911820000054.

21. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. China: poultry and products annual. Beijing: USDA FAS; 2025. (GAIN Report CH2025-0170).
22. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. China: grain and feed annual. Beijing: USDA FAS; 2025. (GAIN Report CH2025-0064).
23. Wu X, Yang H. China's recent policies for sustainable soybean trade. *Nat Food*. 2026;7:115.
24. China. Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais (MARA). 14th Five-Year National Animal Husbandry and Veterinary Industry Development Plan. Pequim: MARA; 2021.
25. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. China: livestock and products annual. Beijing: USDA FAS; 2025. (GAIN Report CH2025-0165).
26. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. China: China announces TRQ following beef safeguard investigation. Beijing: USDA FAS; 2026. (GAIN Report CH2026-0001).
27. China. Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais (MARA). 养殖业节粮行动实施方案 [Plano de Implementação da Ação de Economia de Grãos na Pecuária]. 农办牧〔2025〕15号. Pequim: MARA; 2025 abr 25.
28. China. Assembleia Popular Nacional.
中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要 [Delineamento do 15º Plano Quinquenal para o Desenvolvimento Econômico e Social Nacional]. Pequim: XIV Assembleia Popular Nacional; 2026.
29. China. Conselho de Estado. 关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见 [Opiniões sobre a prática da grande visão de alimentos e a construção de um sistema diversificado de oferta de alimentos]. 国办发〔2024〕46号. Pequim: Conselho de Estado; 2024 set 12.
30. China. Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais (MARA). 全国种植业发展“十五五”规划 [Plano Nacional do 15º Quinquênio para o Desenvolvimento da Produção Vegetal]. Pequim: MARA; 2026.
31. China. Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais (MARA).
全国畜牧兽医行业发展“十五五”规划 [Plano Nacional do 15º Quinquênio para o Desenvolvimento do Setor Pecuário e Veterinário]. 农牧发〔2026〕9号. Pequim: MARA; 2026 set 4.
32. Maciejczak M, Faltmann J. Assessing readiness levels of production technologies for sustainable intensification of agriculture. *Appl Stud Agribus Commer*. 2018;12(1-2):47-52. doi:10.19041/APSTRACT/2018/1-2/7.
33. Mesa Manzano R, Esparcia Pérez J. Theoretical framework and methods for the analysis of the adoption-diffusion of innovations in agriculture: a bibliometric review. *Bol Asoc Geogr Esp*. 2023;(96). doi:10.21138/bage.3336.
34. Bedin HAT, Canedo ED, Jaques PA. Responsible use of generative AI in systematic reviews: a practical methodological guideline. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2026)*. SCITEPRESS; 2026. doi:10.5220/0014699300004021.
35. Li X, et al. Knockout of GmCKX3 enhances soybean seed yield via cytokinin-mediated cell expansion and lipid accumulation. *Plants*. 2025;14(14).
36. Tang J, et al. Editing a gibberellin receptor gene improves yield and nitrogen fixation in soybean. *J Integr Plant Biol*. 2025.

37. Liang J, et al. Agricultural biotechnology in China: product development, commercialization, and perspectives. *aBIOTECH*. 2025.
38. Quan Y, et al. Commercial planting of genetically modified maize lowers pest damage, yield loss and pesticide usage in Northeast China. *Pest Manag Sci*. 2026.
39. Zhong Y, Zhong S. Development of precision agriculture techniques for soybean yield improvement. *Biosci Evid*. 2024.
40. Zhang W, et al. Closing yield gaps in China by empowering smallholder farmers. *Nature*. 2016;537.
41. Qin X, et al. Changes in yield and agronomic traits of soybean cultivars released in China in the last 60 years. *Crop Pasture Sci*. 2017.
42. Li N, et al. CRISPR/Cas-mediated optimization of soybean shoot architecture for enhanced yield. *Int J Mol Sci*. 2025;26(16).
43. Zhong X, et al. Genetically optimizing soybean nodulation improves yield and protein content. *Nat Plants*. 2024.
44. Chen L, et al. Creating artificial miR2118a/b to boost yield and broad-spectrum resistance in soybean via CRISPR/Cas9-targeted mutation. *Trends Biotechnol*. 2025.
45. Xu C. Intensive planting is an important way to improve soybean yield in China. *Open Access J Agric Res*. 2022.
46. Liu J, et al. Microbial production of feed amino acids promotes soybean meal reduction and substitution. 2025.
47. Rocha GC, Duarte ME, Kim SW. Advances, implications, and limitations of low-crude-protein diets in pig production. *Animals*. 2022;12(24).
48. Cappelaere L, et al. Effect of reducing dietary crude protein on growth performance of fattening pigs: a meta-analysis. *J Anim Sci*. 2022;100(Suppl 2).
49. de Rauglaudre T, et al. Meta-analysis of the effect of low-protein diets on the growth performance, nitrogen excretion, and fat deposition in broilers. *Front Anim Sci*. 2023.
50. Cappelaere L, et al. Amino acid supplementation to reduce environmental impacts of broiler and pig production: a review. *Front Vet Sci*. 2021;8.
51. China. Conselho de Estado. 加快农业农村现代化“十五五”规划 [Plano do 15º Quinquênio para a Aceleração da Modernização Agrícola e Rural]. Pequim: Conselho de Estado; 2026.
52. Yin X, et al. Effects of replacing soybean meal with cottonseed meal, peanut meal, rapeseed meal, or distillers' dried grains with solubles on growing lambs. *Vet Sci*. 2024;11(7).
53. Rehemujiang H, et al. Fermented cottonseed and rapeseed meals outperform soybean meal in improving performance, rumen fermentation, and bacterial composition. *Front Microbiol*. 2023;14.
54. Ajao AM, et al. Partial replacement of soybean meal with canola meal or corn DDGS in low-protein diets supplemented with crystalline amino acids. *Animals*. 2022;12(19).
55. Hu Q, et al. Substituting maize and soybean meal with non-conventional feed ingredients: environmental trade-offs and resource-saving potential in China's pig production. *J Anim Sci Biotechnol*. 2026.
56. Fry JP, et al. Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environ Res Lett*. 2018;13.
57. Malcorps W, et al. Feed-food competition in global aquaculture: current trends and prospects. *Rev Aquac*. 2023.

58. Wei H, et al.

乙醇梭菌蛋白替代豆粕对草鱼生长性能、血浆生化指标及肝胰脏和肠道组织病理的影响 [Effects of soybean meal replacement by *Clostridium autoethanogenum* protein on growth performance, plasma biochemical indexes and hepatopancreas and intestinal histopathology of grass carp]. 2018.

59. Wu Y, et al. *Clostridium autoethanogenum* protein inclusion in the diet for broiler: enhancement of growth performance, lipid metabolism, and gut microbiota. *Front Vet Sci*. 2022.

60. Zhang J, et al. Substituting fish meal with a bacteria protein (*Clostridium autoethanogenum* protein) derived from industrial-scale gas fermentation in juvenile large yellow croaker. 2022.

61. International Feed Development Network (国际饲料发展网).

首钢朗泽微生物蛋白实现工业尾气变原料 · 破解饲料蛋白自给难题 [divulgação corporativa]. 国际饲料发展网; 2025.

62. Kazemi M, Valizadeh R. Overcoming feed scarcity: how insects can transform sustainable animal nutrition. *Cogent Food Agric*. 2025.

63. Janssen M, Wijffels RH, Barbosa MJ. Microalgae based production of single-cell protein. *Curr Opin Biotechnol*. 2022.

64. Hao Y, et al. Microbial production of branched chain amino acids: advances and perspectives. *Bioresour Technol*. 2024.

65. Maulu S, et al. Utilizing *Clostridium autoethanogenum* for dietary protein in aquafeeds: current progress in research and future perspectives. *J Appl Aquac*. 2024.

66. China Metallurgical News (中国钢铁新闻网).

首钢朗泽国际上首次实现从一氧化碳到蛋白质合成并形成万吨级工业产能 [imprensa setorial]. 中国钢铁新闻网; 2021.

67. Wang L, et al. Single-cell protein in the animal feed industry: advances and future prospects. *Chin Sci Bull*. 2025.

68. Bai Z, et al. China's livestock transition: driving forces, impacts, and consequences. *Sci Adv*. 2018;4(7).

69. Yang S, Cui X. Large-scale production: a possible way to the balance between feed grain security and meat security in China. *Resour Conserv Recycl*. 2023.

70. Han M, Yu W, Clora F. Boom and bust in China's pig sector during 2018–2021: recent recovery from the ASF shocks and longer-term sustainability considerations. *Sustainability*. 2022;14(11).

71. Wang D, Huang J, Lohmar B. Feed conversion ratio, profitability and farm size in China's pig industry. 2015.

72. Piao S, et al. The impact of African swine fever on the efficiency of China's pig farming industry. *Sustainability*. 2024;16(17).

73. Xu Z, et al. The impact of swine diseases on total factor productivity of pig farms of different scales in China. *Porcine Health Manag*. 2026.

74. Hasan M, et al. Transformation toward precision large-scale operations for sustainable farming: a review based on China's pig industry. *J Adv Vet Anim Res*. 2024.

75. Zhang D. Key technologies and systems for smart livestock farming: a case study based on Muyuan Group. 2025.
76. Pomar C, Remus A. Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability. *Anim Front.* 2019;9(2):52-59. doi:10.1093/af/vfz006.
77. Davoudi P, et al. Application of genetic, genomic and biological pathways in improvement of swine feed efficiency. *Front Genet.* 2022;13.
78. Collins L, Smith L. Review: smart agri-systems for the pig industry. *Animal.* 2022.
79. Espinal C, Matulić D. Recirculating aquaculture technologies. In: Goddek S, et al., editors. *Aquaponics food production systems*. Cham: Springer; 2019.
80. Zhao S, et al. Adjustment of meat consumption structure under the dual goals of food security and carbon reduction in China. *Agriculture.* 2023;13(12).
81. Zhao H, et al. Holistic food system innovation strategies can close up to 80% of China's domestic protein gaps while reducing global environmental impacts. *Nat Food.* 2024.
82. Pu Z, et al. Dietary shift could mitigate approximately 30% food-related land use and species loss in China. *Land Degrad Dev.* 2025.
83. Li Y, et al. Structural transition of protein intake in urban China: stage characteristics and driving forces. *Agribusiness.* 2023.
84. Blaustein-Rejto D, Merener N, Smith AB. The potential footprint of alternative meat adoption on corn and soybean producers. *Front Sustain Food Syst.* 2024;8:1400515. doi:10.3389/fsufs.2024.1400515.
85. Baldi F, Merener N. Displacement risk in agricultural commodity markets: the impact of plant-based meat. *SSRN Electron J.* 2021.
86. Quan AT, Nguyen H, Nguyen T. Nutritional intake changes during GLP-1 receptor agonist therapy: a systematic review and meta-analysis. *Diabetes Metab Syndr.* 2026.
87. Pinon M, Falholt P, Schmidt T, Arnau J. Precision-fermented milk proteins as a model for industrial food biotechnology. *Trends Biotechnol.* 2026.
88. Hwang Y, et al. Survey on the global technological status for forecasting the industrialization timeline of cultured meat. *Foods.* 2025;14(24).
89. Olechowski AL, Eppinger SD, Joglekar N, Tomaschek K. Technology readiness levels: shortcomings and improvement opportunities. *Syst Eng.* 2020;23(4):395-408. doi:10.1002/sys.21533.
90. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Technology readiness levels [Internet]. Washington (DC): NASA; 2023 [citado em 2 out 2026]. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>
91. Salvador-Carulla L, Woods C, de Miquel C, Lukersmith S. Adaptation of the technology readiness levels for impact assessment in implementation sciences: the TRL-IS checklist. *Heliyon.* 2024;10(9):e29930. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e29930.
92. White R, Marzano M, Fesenko E, Inman A, Jones G, Agstner B, et al. Technology development for the early detection of plant pests: a framework for assessing Technology Readiness Levels (TRLs) in environmental science. *J Plant Dis Prot.* 2022;129(5):1249-1261. doi:10.1007/s41348-022-00599-3.
93. Farias CS, Romero DJ, Santana SM. Proposal for TRL adjustment in the maturation of agroindustrial technologies. *J Bioeng Technol Health.* 2026;9(2):149-154. doi:10.34178/jbth.v9i2.582.

94. Ayisi DN, Kozári J, Krisztina T. Do smallholder farmers belong to the same adopter category? An assessment of smallholder farmers innovation adopter categories in Ghana. Heliyon. 2022.
95. Khan MA, et al. Adopter categories in respect to a transplanted monsoon rice variety in two selected villages of Bangladesh. J Agric Sci. 2013.
96. Bardin L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70; 2011.
97. Denzin NK. The research act: a theoretical introduction to sociological methods. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1978.
98. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China, Bureau of Animal Husbandry and Veterinary Services; National Animal Husbandry Service; China Feed Industry Association. 2020年全国饲料工业发展概况 [Panorama do desenvolvimento da indústria nacional de rações em 2020]. [Internet]. Pequim: CFIA; 2021 [citado em 2 out 2026]. Disponível em: http://www.nahs.org.cn/jchsjcm/slsc/202102/t20210220_371146.htm
99. China Feed Industry Association (CFIA). 2025年全国饲料工业发展概况 [Panorama do desenvolvimento da indústria nacional de rações em 2025] [Internet]. 2026.
100. China Feed Industry Association (CFIA). 再降0.8%, 我国饲用豆粕减量替代再进一程 [Nova queda de 0,8%: avança a redução e substituição do farelo de soja na ração]. Pequim: CFIA; 2023 abr 14. [citado em 2 out 2026]. Disponível em: https://www.chinafeed.org.cn/xwdt_10092/hywx/202304/t20230414_421987.html
101. Huang Q. 黄庆生处长解读我国饲料行业发展现状与趋势——推动饲料行业创新发展·促进节粮提效 [Huang Qingsheng interpreta a situação atual e as tendências da indústria de rações]. Pequim: CFIA; 2025 jul 29. Disponível em: https://www.chinafeed.org.cn/xwdt_10092/hywx/202507/t20250729_463047hyfx/hyfx_erji/202602/t20260206_469692.htm
102. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. China: oilseeds and products annual. Beijing: USDA FAS; 2026. (GAIN Report CH2026-0032).

Publicação: 7 de outubro de 2026.

Expediente

INSPER – Centro de Agronegócio Global

Coordenação Geral

Marcos Sawaya Jank

Pesquisadores

Leandro Gilio*
Gabriela Mota da Cruz
Bruno Capuzzi
Renato Laffranchi Falcao

Renato Laffranchi Falcao
José Luiz Pimenta Jr.
Gabriela dos Santos Veiga
João Pedro Retz de Abreu Schmidt

Contato

*leandroq3@insper.edu.br / <https://agro.insper.edu.br/>

Apoiadores institucionais



BBA



*Este estudo utilizou ferramentas de inteligência artificial como apoio à busca e extração de evidências na literatura e à revisão do texto, sendo todas as análises, interpretações e conclusões verificadas e de responsabilidade exclusiva dos autores.