

VALORIZAÇÃO DO SORO DE QUEIJO PARA PRODUÇÃO DE β -GALACTOSIDASE MICROBIANA

T. O. Aragão¹, W. S. Souza², R. R. de Souza¹

¹Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Brasil
(oliveirathays504@gmail.com)

²Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Brasil

O soro de queijo é um dos principais subprodutos da indústria de laticínios e, quando descartado sem tratamento adequado, torna-se um poluente significativo. Entretanto, devido à sua composição rica em lactose, proteínas solúveis e minerais, constitui um substrato valioso para usos biotecnológicos. Este trabalho tem como objetivo discutir a valorização do soro de queijo para a produção de β -galactosidase microbiana, destacando seu potencial ambiental, econômico e biotecnológico.

Palavras-chave: Soro de queijo; β -galactosidase; *Aspergillus niger*; Valorização biotecnológica; Bioprocessos.

INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios é uma das mais importantes do setor agroalimentar. O principal produto lácteo é o leite para consumo direto, mas ele também é utilizado na fabricação de outros produtos, como iogurte, manteiga e queijo. Na produção de queijo, são necessários cerca de 10 litros de leite para produzir 1 kg de queijo, gerando, ao mesmo tempo, cerca de 9 litros de soro (EUROSTAT, 2022). O soro de queijo, subproduto da produção de queijo, está disponível em abundância. Entretanto, esse resíduo pode causar problemas ambientais devido às suas altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (JUNIAWATI; USMIATI; BUDIYANTO, 2022). Quando descartado em corpos d'água ou diretamente no solo, contribui para a eutrofização e pode aumentar a acidez do solo, dependendo do tipo de soro gerado (FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ et al., 2017). Além disso, o permeado de soro de queijo (CWP), obtido após a recuperação das proteínas, é frequentemente considerado um subproduto de baixo valor. No entanto, seu elevado teor de lactose o torna um substrato promissor, embora ainda subexplorado, para o desenvolvimento de bioprocessos (MARTINUCCI et al., 2026). Nesse contexto, a biotecnologia surge como uma alternativa sustentável para a valorização desse resíduo. A utilização de resíduos lácteos como substrato permite a obtenção de compostos bioativos por microrganismos, demonstrando grande relevância

para aplicações industriais e bioprocessos (ALIMPOUMPA et al., 2025). Entre os bioprodutos de interesse, destaca-se a enzima β -galactosidase, que possui ampla aplicabilidade na indústria alimentícia (FOGLIANO et al., 2020; PRESTES et al., 2022). Sua importância é reforçada pela crescente demanda por alimentos com baixo teor ou isentos de lactose, impulsionada pela intolerância à lactose em uma parcela significativa da população (MUHAMMED ALSHANBERI et al., 2021; NÉMETH et al., 2020). Apesar dos avanços, observa-se na literatura que ainda existem lacunas relacionadas ao uso eficiente do soro de queijo como substrato para produção microbiana de β -galactosidase. Essas limitações envolvem a variabilidade da composição do soro, a necessidade de otimização das condições de cultivo e a escolha adequada dos microrganismos. Diante disso, o objetivo deste artigo de revisão é avaliar e discutir os progressos científicos relacionados à utilização do soro de queijo como substrato para a produção microbiana de β -galactosidase. Busca-se enfatizar os microrganismos mais relevantes, as condições de cultivo e os aspectos biotecnológicos envolvidos no processo. Além disso, pretende-se destacar o potencial desse resíduo agroindustrial como matéria-prima para bioprocessos sustentáveis, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para o fortalecimento da economia circular na cadeia láctea.

Obtenção e preparo do soro de queijo como substrato fermentativo

Uma estratégia promissora para a valorização do soro de leite é sua utilização como substrato de fermentação e ingrediente encapsulante. Devido à sua abundância, composição nutricional e baixo custo, esse subproduto funciona como um meio favorável ao crescimento microbiano e à biotransformação (ROCHA-MENDOZA et al., 2021; HUANG et al., 2018). O soro é a fração líquida que permanece após a coagulação do leite durante a produção de queijo. Em geral, apresenta coloração amarelo-esverdeada e representa 85–90% do volume total do leite, sendo aproximadamente 93% constituído por água (ZANDONA; BLAŽIĆ; REŽEK JAMBRÁK, 2021). Sua fração sólida é formada principalmente por lactose, proteínas, minerais e gorduras. No entanto, essas proporções variam conforme o tipo de queijo produzido e a origem do leite (PIRES et al., 2021). Existem duas categorias principais de soro de leite: soro doce e soro ácido. O soro doce é obtido a partir da coagulação enzimática do leite e apresenta pH em torno de 6,5. Já o soro ácido resulta da acidificação por fermentação láctica ou adição de ácidos orgânicos, com pH inferior a 5 (ROCHA-MENDOZA et al., 2021). Apesar dessas diferenças, ambos possuem elevado valor nutricional e podem ser aproveitados em processos biotecnológicos (ZANDONA; BLAŽIĆ; REŽEK JAMBRÁK, 2021). Além disso, o soro fornece eletrólitos como sódio, potássio e cálcio, que podem favorecer o metabolismo microbiano (CARVALHO et al., 2021). A lactose, seu principal carboidrato, é formada por glicose e galactose. Por isso, atua como fonte primária de carbono e energia para bactérias ácido-lácticas, leveduras e certos fungos filamentosos (KALATHINATHAN et al., 2023). Entretanto, o alto teor de lactose e proteínas também explica a elevada carga orgânica desse subproduto. Os valores de DBO variam tipicamente entre 30.000 e 50.000 ppm, enquanto a DQO pode atingir 60.000 a 80.000 ppm (ZANDONA et al., 2021). Assim, o descarte inadequado do soro representa um desafio ambiental relevante para a indústria de laticínios (HOLSINGER et al., 1974; MANDAL et al., 2012). Do ponto de vista biotecnológico, esse mesmo conjunto de características torna o soro um substrato atrativo. Embora as proteínas do soro estejam em menor concentração, elas também podem originar peptídeos bioativos após fermentação ou tratamento enzimático (SOMMELLA et al., 2016). O soro também contém glicomacropéptido, um peptídeo biologicamente ativo liberado da κ -caseína durante a fabricação do queijo (MONTI et al., 2018). Nesse contexto, a busca por estratégias sustentáveis de valorização tornou-se prioridade. Quando lançado em corpos d'água ou no solo, o soro pode contribuir para eutrofização e outros desequilíbrios ambientais. Esse

efeito é intensificado pela presença de nitrogênio e fósforo em correntes residuais associadas ao processamento de laticínios (OCCHIPINTI et al., 2024). Além do soro de leite convencional, o segundo soro de queijo, também chamado de scotta (SCW), apresenta impacto expressivo em termos de volume e carga poluente (SMITHERS, 2008). Esse resíduo é gerado durante a produção de queijo de soro e, por possuir baixa aplicação alimentar direta, exige maior atenção quanto ao tratamento e às rotas de aproveitamento (PIRES et al., 2021). Observa-se na literatura que a valorização do soro pode seguir diferentes rotas. Entre elas, destacam-se a recuperação de lactose para uso em alimentos, produtos farmacêuticos e nutrição infantil (SCIUTO et al., 2025) e a conversão biotecnológica em etanol e outros compostos de interesse (DRAGONE et al., 2023). Apesar disso, poucos estudos discutem de forma integrada a composição do soro, o tipo de fermentação e o produto final obtido. Assim, o soro de leite tem grande relevância para aplicações biotecnológicas. Sua ampla disponibilidade, seu valor nutricional e seu potencial poluidor justificam seu aproveitamento como matéria-prima para produção de enzimas e outros bioprodutos. Dessa forma, a valorização do soro constitui uma estratégia consistente para reduzir impactos ambientais e fortalecer a economia circular no setor de laticínios.

β -galactosidase: características e aplicações

A enzima β -galactosidase também tem sido utilizada para sintetizar galactooligosacarídeos (GOS) por transgalactosilação (MARTÍNEZ-VILLALUENGA et al., 2008). *Aspergillus oryzae* (*A. oryzae*) e *Kluyveromyces lactis* (*K. lactis*) são microrganismos comercialmente utilizados para a obtenção de β -galactosidase. Como os componentes dos fluidos lácteos podem afetar a cinética enzimática (ROY et al., 2020), a compreensão da cinética das reações catalisadas pela β -galactosidase nesses fluidos pode auxiliar na identificação de enzimas mais eficazes para o processamento de laticínios. Além disso, o desenvolvimento de métodos para a medição direta da atividade enzimática em fluidos lácteos permitirá a determinação da cinética de outras reações importantes catalisadas por enzimas, como a quimosina na fabricação de queijo e as lipases e proteases no desenvolvimento de sabor (JARRARD et al., 2023). A atividade da β -galactosidase foi determinada por espectrofotometria utilizando orto-nitro- β -D-galactopiranosídeo (ONPG) como indicador de cor (KIM et al., 2003; ACERSON et al., 2013; DE ALBUQUERQUE et al., 2021). A calorimetria de titulação isotérmica (ITC) pode ser

utilizada para medir diretamente a atividade enzimática em leite, soro ácido, permeado de soro ácido, soro doce e permeado de soro doce (JARRARD et al., 2023). A β -galactosidase (β -Gal, EC 3.2.1.23) pertence a uma classe de enzimas hidrolíticas que têm sido utilizadas há muito tempo na indústria de laticínios para hidrolisar a lactose e sintetizar GOS (oligossacarídeos de galactopolifosfatos). Essa atividade hidrolítica aumenta o dulçor de um produto lácteo e também reduz a concentração de lactose, o que pode ser benéfico para consumidores intolerantes à lactose. A β -galactosidase de diferentes fontes apresenta capacidades variáveis para utilizar diferentes substratos (por exemplo, lactose, frutose) para catalisar a produção de GOS com diversos tipos e graus de polimerização. Entre esses, leveduras (por exemplo, *Kluyveromyces* spp.) e fungos (por exemplo, *Aspergillus* spp.) com certificação GRAS estão entre os mais utilizados em aplicações alimentícias e farmacêuticas (RUBIO et al, 2006; GUERRERO et al, 2015). A β -galactosidase derivada de *Kluyveromyces lactis* (Kl- β -Gal) é uma das lactases mais utilizadas em aplicações comerciais (CHOI et al, 2020).

A conversão da lactose em galacto-oligossacarídeos (GOS) ocorre por meio da competição entre as reações de hidrólise e transgalactosilação catalisadas pela β -galactosidase, a predominância de cada reação depende das características da enzima e das condições do processo, como concentração de lactose, pH e temperatura (TORRES et al., 2010; LIU et al., 2025). Apesar disso, ainda há limitações importantes. A instabilidade térmica de muitas enzimas do tipo selvagem restringe sua eficiência em aplicações de alta temperatura, especialmente na síntese de GOS. Em contrapartida, algumas β -galactosidasas, como a de *Kluyveromyces lactis*, apresentam bom desempenho na hidrólise da lactose em leite e soro de leite (ANISHA et al., 2017; JURADO et al., 2004). Observa-se na literatura que a escolha da fonte enzimática precisa considerar o objetivo do processo. Para hidrólise da lactose em matrizes lácteas, a eficiência catalítica e a estabilidade operacional são determinantes. Já para produção de GOS, o balanço entre hidrólise e transgalactosilação torna-se o ponto central. Portanto, não basta selecionar a enzima apenas pela atividade máxima. É necessário avaliar também o tipo de soro, a concentração de lactose e as condições reacionais adotadas.

Microrganismos produtores de β -galactosidase

Na natureza, os microrganismos são adaptados a diversos parâmetros físicos e químicos. Esses

microrganismos são fontes ricas em enzimas com propriedades industriais. No entanto, menos de 1% dos microrganismos podem ser cultivados utilizando métodos tradicionais. Graças aos avanços na tecnologia de sequenciamento, esses micróbios não cultiváveis podem ser triados e novos biocatalisadores com características desejáveis podem ser obtidos (ERICH et al, 2015). A β -galactosidase catalisa reações de hidrólise e transgalactosilação, transferindo resíduos de galactose para diferentes moléculas aceptadoras contendo grupos hidroxila, o que possibilita a formação de galacto-oligossacarídeos (CHANALIA et al., 2018). Com base na homologia de sua estrutura primária, a enzima é classificada em diferentes famílias de glicosil hidrolases (GH) no banco de dados CAZy, sendo as famílias GH2, GH35 e GH42 as mais representativas para microrganismos de interesse industrial (LU et al., 2020). Seu mecanismo catalítico ocorre por meio de um processo de dupla substituição, envolvendo a formação de um complexo intermediário enzima-galactose, que pode resultar tanto na hidrólise da lactose quanto em reações de transgalactosilação, dependendo das condições do processo (VERA et al., 2020). As β -galactosidasas obtidas de microrganismos são especialmente relevantes para a indústria. Elas apresentam alto rendimento de produção, rápida multiplicação celular, custo-benefício favorável e maior versatilidade de substrato quando comparadas às enzimas de origem vegetal e animal (PANESAR et al., 2010). De modo geral, leveduras do gênero *Kluyveromyces* e fungos do gênero *Aspergillus* são as principais fontes de preparações comerciais (MLICHOVÁ et al., 2006).

Dentre os fungos filamentosos, o *Aspergillus niger* se sobressai como um dos maiores produtores de β -galactosidase, graças à sua alta capacidade de secreção extracelular de proteínas, essa propriedade torna mais fácil a recuperação e purificação da enzima em relação a microrganismos que produzem enzimas principalmente intracelulares. Ademais, possui o status GRAS (Generally Recognized As Safe), adapta-se facilmente a diversos substratos e utiliza resíduos agroindustriais, como o soro de queijo, com alta eficiência, essas propriedades facilitam sua utilização em larga escala e explicam a quantidade significativa de pesquisas focadas na otimização de sua produção enzimática (PANESAR et al., 2010; FLEISSNER et al, 2010; NEVALAINEN et al, 2014).

Além disso, diferentes fontes microbianas têm diferentes aplicações, para seu rápido crescimento e alta eficiência na hidrólise da lactose, leveduras do gênero *Kluyveromyces* são especialmente indicadas para a fermentação submersa. Por outro lado, fungos filamentosos como *Aspergillus niger* fornecem secretar β -galactosidase em quantidades elevadas para

o meio externo e crescer em resíduos agroindustriais complexos, mas seu cultivo exige um controle mais rigoroso das condições de fermentação, por outro lado, as bactérias crescem rapidamente, mas geralmente precisam de etapas extras para recuperar a enzima quando ela é majoritariamente intracelular. No entanto, há poucos estudos que comparam esses grupos microbianos diferentes usando os mesmos tipos de soro de queijo e condições experimentais, o que torna mais difícil identificar a estratégia mais eficaz para uso industrial.

Uso do soro de queijo como substrato

O soro de queijo é amplamente reconhecido como um substrato adequado para processos fermentativos devido ao seu elevado teor de lactose. Essa lactose pode servir como fonte de carbono e energia para diversos microrganismos. Além disso, a presença de proteínas, minerais e vitaminas favorece o crescimento celular e torna o soro um meio de cultivo economicamente atrativo (BOSSO et al., 2019; ZANDONA; BLAŽIĆ; REŽEK JAMBRÁK, 2021). Nesse contexto, diferentes estudos avaliaram o uso do soro e do permeado de soro para obtenção de produtos de interesse industrial. O permeado de soro em pó contém alta proporção de lactose e pode ser explorado em aplicações biotecnológicas, como cultivo microbiano e produção de compostos de valor agregado. Contudo, o desempenho do processo depende das condições de crescimento e da composição do meio. Observa-se na literatura que o aproveitamento do soro nem sempre ocorre sem limitações. Em alguns casos, o baixo teor de nitrogênio pode restringir o crescimento celular e a formação de produtos, exigindo suplementação nutricional (CRUZ et al., 2025). Apesar disso, estudos com soro de queijo demonstram resultados promissores para produção de β -galactosidase. BOSSO et al. (2019) utilizaram permeado de soro microfiltrado como meio de cultivo para *Saccharomyces fragilis* e verificaram rápido consumo de lactose e produção enzimática. De forma semelhante, COELHO et al. (2023) observaram aumento significativo da atividade de β -galactosidase quando o soro foi suplementado com extrato de levedura. Esses resultados reforçam que pH, temperatura e suplementação do meio influenciam diretamente o rendimento do processo. Assim, o uso do soro como substrato fermentativo contribui para a valorização de um resíduo agroindustrial e para o desenvolvimento de processos sustentáveis. Entretanto, poucos estudos discutem conjuntamente a escolha do microrganismo, o tipo de fermentação e o tipo de soro utilizado. Essa integração é essencial para avançar na aplicação industrial.

Estratégias de cultivo

Embora a β -galactosidase possa ser produzida a partir de diversas fontes, como bactérias, leveduras e fungos (SEYIS e N. AKSOZ, 2004). Ela é produzida comercialmente por microrganismos GRAS (Geralmente Reconhecidos como Seguros pelo FDA) (por exemplo, leveduras do gênero *Kluyveromyces* e fungos do gênero *Aspergillus*). A produção requer o desenvolvimento de um meio fermentativo eficiente que assegure alta produção de enzimas. Os processos microbianos são inerentemente complexos, sendo crucial compreendê-los, controlá-los e otimizá-los (SONG et al., 2010). Do ponto de vista biotecnológico, nenhuma estratégia é superior em todas as situações. A tabela 1 evidencia que diferentes microrganismos e regimes fermentativos podem ser empregados na valorização do soro de queijo. Em conjunto, os estudos mostram que o tipo de soro, o modo de cultivo e o microrganismo escolhido influenciam diretamente o produto obtido.

A fermentação em estado sólido é um processo biotecnológico no qual microrganismos crescem em substratos sólidos ou semi-sólidos com baixa umidade e ausência de água livre. Esse tipo de fermentação tem sido amplamente utilizado para a produção de enzimas, metabólitos microbianos e compostos bioativos, além de possibilitar o aproveitamento de resíduos agroindustriais como substratos fermentativos (MATTEDI et al., 2023). As estratégias de fermentação submersa e fermentação em estado sólido apresentam características distintas em processos biotecnológicos. Em contrapartida a fermentação submersa é amplamente utilizada na indústria devido à facilidade de controle das condições de cultivo e ao uso de biorreatores padronizados, enquanto a fermentação em estado sólido pode apresentar maior produtividade enzimática e menor custo quando utiliza resíduos agroindustriais como substrato (DORIYA et al., 2016).

Tabela 1. Estudos recentes sobre produção microbiana de β -galactosidase e derivados utilizando soro de queijo

Microrganismo	Tipo de fermentação	Tipo de soro	Produto obtido	Referência
<i>Trichoderma sp.</i>	Estado sólido	Whey cheese / soro de queijo	β -galactosidase e GOS	JESUS E GUIMARÃES, 2021
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Submersa	Porungo cheese whey	β -galactosidase	MARIM et al., 2021; COELHO et al., 2023
<i>Escherichia coli</i> (M- β Gal recombinante)	Fed-batch	Cheese whey permeate	β -galactosidase recombinante e galactose	BIANCHI et al., 2024
<i>Aspergillus niger</i>	Submersa	Cheese whey suplementado	β -galactosidase	SOUZA et al., 2026
<i>Kluyveromyces marxianus</i> CCT 4086	Enzima imobilizada / bioreator	Porungo cheese whey	GOS	GAMA et al., 2026

Vantagens da valorização do soro de queijo

A valorização do soro de queijo apresenta vantagens ambientais e econômicas. Ao transformar um subproduto da indústria de laticínios em matéria-prima para bioprocessos, reduz-se a carga poluidora e ampliam-se as possibilidades de obtenção de compostos de valor agregado (ZANDONA et al., 2021; PIRES et al., 2021). Além disso, o uso de resíduos agroindustriais como substrato fermentativo tem sido apontado como estratégia para reduzir custos de produção. No caso do soro de queijo, a elevada disponibilidade e a composição nutricional adequada favorecem sua aplicação na produção de enzimas e outros bioprodutos (PANESAR et al., 2010; PIRES et al., 2021; LAPPA et al., 2021). Dessa forma, o aproveitamento desses resíduos pode reduzir gastos relacionados à aquisição de matérias-primas e ao tratamento de efluentes, contribuindo para o desenvolvimento de processos mais sustentáveis e economicamente viáveis (PANESAR et al., 2010). O aproveitamento desse resíduo em bioprocessos, como a produção de enzimas, biocombustíveis e ingredientes alimentícios, contribui para a redução da geração de efluentes e para o uso mais eficiente dos recursos disponíveis. Dessa forma, a utilização do soro de queijo em aplicações biotecnológicas promove a integração entre sustentabilidade ambiental e desenvolvimento industrial, sendo considerada uma estratégia relevante para fortalecer a economia circular na cadeia produtiva do leite (SMITHERS, 2008). Observa-se, porém, que as vantagens da valorização dependem da viabilidade técnica e econômica do processo adotado. Portanto, a escolha do microrganismo, do tipo de fermentação e do grau de suplementação do meio deve ser feita com base no produto-alvo e na composição do soro disponível.

CONCLUSÃO

Com base na literatura analisada, a β -galactosidase apresenta papel central na indústria alimentícia devido à sua capacidade de hidrolisar lactose e sintetizar galacto-oligossacarídeos. Ao mesmo tempo, o soro de queijo se destaca como substrato promissor para processos fermentativos, pois reúne ampla disponibilidade, elevado teor de lactose e potencial de valorização biotecnológica. A maioria dos estudos também mostra que leveduras, bactérias e fungos filamentosos podem ser empregados na produção da enzima, com destaque para gêneros como *Kluyveromyces*, *Saccharomyces*, *Aspergillus* e *Trichoderma*. *Aspergillus niger* se destaca entre eles devido à sua alta secreção de enzimas e ao seu potencial para aplicação em processos industriais, apesar desses avanços, a literatura ainda aponta desafios relacionados à variabilidade da composição do soro de queijo, à necessidade de pré-tratamentos, à suplementação nutricional do meio e ao escalonamento dos processos fermentativos, além disso, poucos estudos comparam diretamente diferentes microrganismos e estratégias de fermentação utilizando condições experimentais padronizadas, o que dificulta a identificação das alternativas mais eficientes para aplicação industrial. Nesse contexto, pesquisas futuras devem priorizar a otimização das condições fermentativas, a avaliação comparativa de diferentes produtores microbianos, o desenvolvimento de processos integrados em biorrefinarias e a ampliação de estudos em escala piloto e industrial. Esses avanços poderão aumentar a produtividade da β -galactosidase, reduzir custos de produção e fortalecer o aproveitamento sustentável do soro de queijo na economia circular, assim, os avanços em otimização fermentativa, integração em biorrefinarias e tecnologias de separação serão decisivos para ampliar a aplicação industrial dessas rotas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Sergipe (UFS), em especial ao Laboratório de Biotecnologia Ambiental (LABAM), pelo suporte técnico e infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho. Agradecem também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do estado da Bahia (FAPESB).

REFERÊNCIAS

- ABSHARINA, D.; PUTRA, F. J. N.; OGINO, C.; KOCSUBÉ, S.; VERES, C.; VÁGVÖLGYI, C. Produção bacteriana de celulose em sistemas de co-cultura: oportunidades, desafios e perspectivas futuras. **Applied Microbiology**, v. 5, n. 3, p. 92, 2025.
- ALIMPOUMPA, D.; PAPAPOSTOLOU, H.; ALEXANDRI, M.; KACHRIMANIDOU, V.; KOPSAHELIS, N. Fractionation and chemical characterization of cell-bound biosurfactants produced by a novel *Limosilactobacillus fermentum* strain via cheese whey valorization. **Foods**, v. 14, n. 24, p. 4342, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods14244342>.
- AMORIM, L. F.; LI, L.; GOMES, A. P.; FANGUEIRO, R.; GOUVEIA, I. C. Produção sustentável de celulose bacteriana a partir de matéria-prima de baixo custo: avaliação de subprodutos da maçã e do chá como fontes alternativas de nutrientes. **Cellulose**, v. 30, n. 9, p. 5589–5606, 2023.
- ANISHA, G. S. β -Galactosidases. In: PANDEY, A.; NEGI, S.; SOCCOL, C. R. (ed.). **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**. [S. l.]: Elsevier, 2017. p. 395–421.
- ARCHER, D. B.; PEBERDY, J. F. The molecular biology of secreted enzyme production by fungi. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 17, p. 273–306, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/07388559709146616>.
- ARO, N.; ERCILI CURA, D.; ANDBERG, M.; SILVENTOINEN, P.; LILLE, M.; HOSIA, W.; NORDLUND, E.; LANDOWSKI, C. P. Produção de beta-lactoglobulina bovina e ovalbumina de ovo de galinha por *Trichoderma reesei* usando tecnologia de fermentação de precisão e teste de suas propriedades tecno-funcionais. **Food Research International**, v. 163, artigo 112131, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112131>.
- ASEMOLOYE, M. D. Limpeza ecológica: a lacase como catalisador verde para combater os problemas emergentes. **Global Challenges**, v. 9, p. 12, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/gch2.202500395>.
- AZA, P.; CAMARERO, S. Lacases fúngicas: fundamentos, engenharia e atualização de classificação. **Biomolecules**, v. 13, n. 12, p. 1716, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biom13121716>.
- BOSSO, A.; SETTI, A. C. I.; TOMAL, A. B.; GUEMRA, S.; MORIOKA, L. R. I.; SUGUIMOTO, H. H. Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, artigo 101335, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101335>.
- BROOKS, S. A. Appropriate glycosylation of recombinant proteins for human use: implications of choice of expression system. **Molecular Biotechnology**, v. 28, p. 241–255, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1385/MB:28:3:241>.
- BUCHANAN, D.; MARTINDALE, W.; ROMEIH, E.; HEBISHY, E. Recent advances in whey processing and valorisation: technological and environmental perspectives. **International Journal of Dairy Technology**, 2023.
- CASTELLANE, T. C. L.; CAMPANHARO, J. C.; COLNAGO, L. A.; COUTINHO, I. D.; LOPES, É. M.; LEMOS, M. V. F.; DE MACEDO LEMOS, E. G. Characterization of new exopolysaccharide production by *Rhizobium tropici* during growth on hydrocarbon substrate. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 361–369, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.123>.
- CHANALIA, P.; GANDHI, D.; ATTRI, P.; DHANDA, S. Purificação e caracterização da β -galactosidase do probiótico *Pediococcus acidilactici* e sua utilização na hidrólise da lactose do leite e na síntese de galactooligosacarídeos. **Bioorganic Chemistry**, v. 77, p. 176–189, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2018.01.006>.
- CHOI, J. Y.; HONG, H.; SEO, H.; PAN, J. G.; KIM, E. J.; MAENG, P. J.; YANG, T. H.; KIM, K. J. Alta produção de transgalactosilação da β -galactosidase II de *Bacillus circulans*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 47, p. 13806–13814, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05871>.
- CHOONIA, H. S.; LELE, S. S. Cinética de liberação de β -galactosidase durante a ruptura ultrassônica de *Lactobacillus acidophilus* isolado de Eleusine coracana fermentada. **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, p. 288–293, 2010.
- CHOONIA, H. S.; LELE, S. S. Kinetic modeling and implementation of superior process strategies for β -galactosidase production during submerged fermentation in a stirred tank bioreactor. **Biochemical Engineering Journal**, v. 77, p. 49–57, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.04.021>.
- CHOURASIA, R.; PHUKON, L.; ABEDIN, M.; PADHI, S.; SINGH, S.; RAI, A. Whey valorization by microbial and enzymatic bioprocesses: a review. **Biotechnology Reports**, 2022.

- COELHO, R. J. S.; GABARDO, S.; MARIM, A. V. C.; BOLOGNESI, L. S.; PIMENTEL FILHO, N. J.; AYUB, M. A. Z. Porungo cheese whey: a new substrate to produce β -galactosidase. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, n. 4, e20200483, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320200483>.
- CRUZ, S. K. da; FERREIRA FILHO, R. dos S.; BURKERT, J. F. de M.; BURKERT, C. A. da V. Effects of process conditions on exopolysaccharide produced by *Mesorhizobium* sp. in whey permeate. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 48, n. 1, e74391, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v48i1.74391>.
- CZARNIECKA-SKUBINA, E. et al. Whey—A valuable technological resource for the production of innovative and sustainable foods. **Foods**, 2025.
- DEEBA, F.; KUMAR, K. K.; WANI, S. A.; SINGH, A. K.; SHARMA, J.; GAUR, N. A. Aumento da produção de biodiesel e β -caroteno em *Rhodotorula pacifica* INDKK utilizando bagaço de cana-de-açúcar e melão por meio de uma estrutura integrada de biorrefinaria. **Bioresource Technology**, v. 351, artigo 127067, 2022.
- DELGADO-MACUIL, R. J. et al. Recent biotechnological applications of whey: review and perspectives. **Fermentation**, 2025.
- DESHPANDE, N.; WILKINS, M. R.; PACKER, N.; NEVALAINEN, H. Protein glycosylation pathways in filamentous fungi. **Glycobiology**, v. 18, p. 626–637, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/glycob/cwn044>.
- DORIYA, K.; KUMAR, D. S.; NAGARAJAN, T.; MUTHUVEL, A.; KUMAR, D. S. Solid-state fermentation vs submerged fermentation for enzyme production. 2016. [Dados bibliográficos incompletos].
- DRAGONE, G.; MUSSATTO, S. I.; ALMEIDA E SILVA, J. B.; TEIXEIRA, J. A. Condições de fermentação ideais para maximizar a produção de etanol por *Kluyveromyces fragilis* a partir de soro de leite em pó de queijo. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 1977–1982, 2011.
- DURPEKOVA, S.; BERGEROVA, E. D.; HANUSOVA, D.; DUSANKOVA, M.; SEDLARIK, V. Eco-friendly whey/polysaccharide-based hydrogel with poly (lactic acid) for improvement of agricultural soil quality and plant growth. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 212, p. 85–96, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.053>.
- ERICH, S.; KUSCHEL, B.; SCHWARZ, T. et al. Novas β -galactosidases metagenômicas de alto desempenho para hidrólise de lactose na indústria de laticínios. **Journal of Biotechnology**, v. 210, p. 27–37, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2015.06.411>.
- EUROSTAT. **Numeros-chave na cadeia alimentar europeia**. Luxemburgo: Serviço de Publicações da União Europeia, 2022. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-key-figures/w/KS-FK-22-001>.
- FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, D.; VEILLETTE, M.; GIROIR-FENDLER, A.; RAMÍREZ, A. A.; FAUCHEUX, N.; HEITZ, M. Biovalorização de sacarídeos derivados de resíduos industriais como o soro de leite: uma revisão. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 16, p. 147–174, 2017.
- FLEISSNER, A.; DERSCH, P. Expression and export: recombinant protein production systems for *Aspergillus*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 87, p. 1255–1270, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2672-6>.
- FOGLIANO, R. R. F.; BOHOMOL, E.; SCHVEITZER, M. C.; COCA, K. P.; ABRÃO, A. C. F. de V. Gestão da qualidade em Bancos de Leite Humano: uma revisão de escopo. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 73, supl. 6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2019-0640>.
- FREITAS, F.; ALVES, V. D.; PAIS, J.; CARVALHEIRA, M.; COSTA, N.; OLIVEIRA, R.; REIS, M. A. M. Production of a new exopolysaccharide (EPS) by *Pseudomonas oleovorans* NRRL B-14682 grown on glycerol. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 3, p. 297–305, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.09.020>.
- GONZÁLEZ-CRUZ, L.; MOSQUEDA-ÁVALOS, M. A.; NEGRETE-RODRÍGUEZ, M. L. L. X.; CONDE-BARAJAS, E.; FLORES-MARTÍNEZ, N. L.; BERNARDINO-NICANOR, A. Extratos de *Hechtia* spp. como novos coagulantes reduzem a carga poluente do soro de leite. **Sustainability**, v. 17, p. 6579, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su17146579>.
- GOUKA, R. J.; PUNT, P. J.; VAN DEN HONDEL, C. A. Efficient production of secreted proteins by *Aspergillus*: progress, limitations and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 47, p. 1–11, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s002530050880>.
- GRAHAM, A. E.; LEDESMA-AMARO, R. A revolução alimentar microbiana. **Nature Communications**, v. 14, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37891-1>.
- GUERRERO, C.; VERA, C.; CONEJEROS, R.; ILLANES, A. Transgalactosylation and hydrolytic activities of commercial preparations of β -galactosidase for the synthesis of prebiotic carbohydrates. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 70, p. 9–17, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2014.12.006>.
- HOLSINGER, V. H.; POSATI, L. P.; DEVILBISS, E. D. Whey beverages: a review. **Journal of Dairy Science**, v. 57, p. 849–859, 1974.

- HUANG, S.; GAUCHER, F.; CAUTY, C.; JARDIN, J.; LE LOIR, Y.; JEANTET, R.; CHEN, X. D.; JAN, G. O crescimento em soro de leite doce hiperconcentrado desencadeia tolerância a múltiplos estresses e sobrevivência à secagem por aspersão em *Lactobacillus casei* BL23: da base molecular a novas perspectivas para a produção sustentável de probióticos. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 2548, 2018.
- JARRARD, T. R.; BROCK, E.; HANSEN, L. D.; KENEALEY, J. D. Measuring β -galactosidase activity in opaque dairy solutions under optimum conditions for galactooligosaccharide synthesis by isothermal titration calorimetry. **Journal of Dairy Science**, 2023.
- JĘDRYCHOWSKA, A.; JAJKO, M.; MICHALSKA, M. Microrremediação de águas residuais industriais contaminadas com corantes têxteis: uma revisão. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 2, p. 295–311, 2023.
- JITONNOM, W.; WANJAI, T.; JITONNOM, J. Simulações de dinâmica molecular QM/MM sobre a origem da seletividade doador/aceitador das reações de hidrólise e transglicosilação catalisadas pela α -L-arabinofuranosidase da família GH51. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 65, n. 21, p. 11937–11949, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.5c01573>.
- JUNIAWATI; USMIATI, S.; BUDIYANTO, A. Effect of stabilizer on the physicochemical and microbiology properties of wheygurt. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1024, n. 1, p. 012074, 2022.
- JURADO, E.; CAMACHO, F.; LUZÓN, G.; VICARIA, J. M. Modelos cinéticos de atividade para β -galactosidases: influência do pH, concentração iônica e temperatura. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 34, n. 1, p. 33–40, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2003.07.004>.
- KATROLIA, P.; LIU, X.; LI, G.; KOPPARAPU, N. K. Propriedades aprimoradas e eficiências de hidrólise da lactose de β -galactosidases de grau alimentício imobilizadas em diversos suportes: uma abordagem comparativa. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 188, p. 410–423, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2927-8>.
- LIAO, L.; HAN, L.; SUN, Y.; DU, X.; WU, Y.; LUO, J.; LI, J.; DU, G.; ZHANG, G. Engenharia da β -galactosidase com atividade catalítica e de transglicosilação aprimorada para a produção de GOS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 74, n. 1, p. 1203–1212, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c12262>.
- LIU, P.; CHEN, Y.; MA, C.; OUYANG, J.; ZHENG, Z. β -Galactosidase: uma enzima tradicional com múltiplas funções através da engenharia de proteínas. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 65, n. 7, p. 1306–1325, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2292282>.
- LIU, P.; WANG, W.; ZHAO, J.; WEI, D. Triagem de novas β -galactosidases a partir de um metagenoma baseado em sequência e caracterização de uma β -galactosidase alcalina para a síntese enzimática de galactooligossacarídeos. **Protein Expression and Purification**, v. 155, p. 104–111, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pep.2018.12.001>.
- LU, L.; GUO, L.; WANG, K. et al. β -Galactosidases: uma ótima ferramenta para sintetizar carboidratos contendo galactose. **Biotechnology Advances**, v. 39, artigo 107465, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107465>.
- LUBERTOZZI, D.; KEASLING, J. D. Developing *Aspergillus* as a host for heterologous expression. **Biotechnology Advances**, v. 27, p. 53–75, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.001>.
- MACEDO, A.; DUARTE, E.; FRAGOSO, R. Avaliação do desempenho de três membranas de ultrafiltração para fracionamento de soro de queijo ovino. **International Dairy Journal**, v. 48, p. 31–37, 2015.
- MACEDO, A.; DUARTE, E.; PINHO, M. O papel da polarização da concentração na ultrafiltração do soro de queijo ovino. **Journal of Membrane Science**, v. 381, p. 34–40, 2011.
- MANDAL, S.; PUNIYA, M.; SANGU, K. P. S.; DAGAR, S. S.; SINGH, R.; PUNIYA, A. K. Dairy by-products: wastes or resources? In: **Valorization of food processing by-products**. Boca Raton: CRC Press, 2012. p. 617–648.
- MARTINUCCI, G.; RADICE, M.; COLACICCO, M.; DI FIDIO, N.; PISANO, I. Cheese whey permeate valorization and its potential for biotechnological applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 2026. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2589-014X\(26\)000927](https://doi.org/10.1016/S2589-014X(26)000927).
- MENCHIK, P.; ZUBER, T.; ZUBER, A.; MORARU, C. I. Comunicação breve: composição de fluxos de coprodutos do processamento de laticínios: soro ácido e permeado de leite. **Journal of Dairy Science**, v. 102, p. 3978–3984, 2019.
- MEYER, V. Genetic engineering of filamentous fungi – progress, obstacles and future trends. **Biotechnology Advances**, v. 26, p. 177–185, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.001>.
- MLICHOVÁ, Z.; ROSENBERG, M. Tendências atuais da aplicação da β -galactosidase na tecnologia de alimentos. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 45, p. 47–54, 2006.
- MONTI, L.; DONATI, E.; ZAMBRINI, A. V.; CONTARINI, G. Aplicação de tecnologias de membrana ao soro de leite esgotado de queijo ricota bovino (scotta). **International Dairy Journal**, v. 85, p. 121–128, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.05.007>.
- MUHAMMED ALSHANBERI, A.; AHMED AL-SHAERI, M.; AHMED ANSARI, S.; VITOR FARAGO, P. Visão geral da

- p aplicação da
- β
- galactosidase imobilizada em nanopartículas na indústria de laticínios.
- Brazilian Archives of Biology and Technology**
- , v. 64, 2021. Disponível em:
- <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021180747>
- .
- NÉMETH, A.; SZABÓ, E.; KASZA, G.; ÓZSVÁRI, L. Desenvolvimento de alimentos lácteos funcionais e sem lactose com base em pesquisas com consumidores. **Gradus**, v. 7, n. 1, p. 26–29, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.47833/2020.1.AGR.006>.
- NEVALAINEN, H.; PETERSON, R. Produzir proteínas recombinantes em fungos filamentosos: será que estamos esperando demais? **Frontiers in Microbiology**, v. 5, artigo 75, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00075>.
- OCCHIPINTI, P. S.; RUSSO, N.; FOTI, P.; ZINGALE, I. M.; PINO, A.; ROMEO, F. V.; RANDAZZO, C. L.; CAGGIA, C. Desafios atuais de aplicações de microalgas: explorando o potencial de espécies não convencionais de microalgas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, p. 823–833, 2024.
- PANESAR, P. S.; KENNEDY, J. F.; KUMAR, H.; GODFREY, T. Production, purification and applications of β -galactosidase. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 85, n. 1, p. 42–53, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jctb.2207>.
- PANESAR, P. S.; KUMARI, S.; PANESAR, R. Production of β -galactosidase from *Aspergillus niger* by solid-state fermentation using dairy waste. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 640–645, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.039>.
- PANESAR, P. S.; PANESAR, R.; SINGH, R. S. et al. Produção microbiana, imobilização e aplicações da β -D-galactosidase. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 81, p. 530–543, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jctb.1453>.
- PIAZENSKI, I.; SOCCOL, V.; VANDENBERGHE, L.; PEREIRA, G.; SOCCOL, C. Do laboratório à mesa: o caminho das proteínas recombinantes do leite na transformação da produção de laticínios. **Trends in Food Science & Technology**, v. 149, artigo 104562, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104562>.
- PIRES, A. F.; MARNOTES, N. G.; RUBIO, O. D.; GARCIA, A. C.; PEREIRA, C. D. Dairy by-products: a review on the valorization of whey and second cheese whey. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 1067, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10051067>.
- PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J. Cheese whey management: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 110, p. 48–68, 2012.
- PRESTES, A. A.; HELM, C. V.; ESMERINO, E. A.; SILVA, R.; PRUDENCIO, E. S. Processos de concentração convencionais e alternativos na fabricação de leite: um estudo comparativo sobre propriedades lácteas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/FST.08822>.
- PUNT, P. J.; VAN ZEIJL, C.; VAN DEN HONDEL, C. High throughput screening of expressed DNA libraries in filamentous fungi. **World patent WO 01/79558**, 2001.
- RAOL, G. G.; SINGH, S. P.; PATEL, A. K.; PANDEY, A. Utilization of agro-industrial waste for β -galactosidase production under solid-state fermentation. **3 Biotech**, v. 5, p. 411–421, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0231-3>.
- RAVINDRAN, R.; JOMIN, E.; RAVEENDRAN, S.; PARTHIBAN, A.; MATHEW, A. K.; MADHUAKARAN, N.; ASOKATHY, S.; PRAVEENKUMAR, R.; ASOKAN, A.; CHANDRASEKHARAN, M.; BINU, M.; PANDIT, A.; PANDIT, A. Valorization of food waste as animal feed and fertilizer. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 10, p. 4106–4115, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3356-2>.
- ROCHA-MENDOZA, D.; KOSMERL, E.; KRENTZ, A.; ZHANG, L.; BADIGER, S.; MIYAGUSUKU-CRUZADO, G.; MAYTA-APAIZA, A.; GIUSTI, M.; JIMÉNEZ-FLORES, R.; GARCÍA-CANO, I. Invited review: acid whey trends and health benefits. **Journal of Dairy Science**, v. 104, p. 1262–1275, 2021.
- ROJAS, O. E.; CUERVO, L. V.; SERRATO, J. C. Sustainable production of lactic acid from cheese whey using co-cultures and enzymatic hydrolysis. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 100, n. 9, p. 1940–1947, 2025.
- ROY, D.; YE, A.; MOUGHAN, P. J.; SINGH, H. Composição, estrutura e dinâmica digestiva do leite de diferentes espécies — uma revisão. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, artigo 577759, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fnut.2020.577759>.
- RUBIO-TEXEIRA, M. Endless versatility in the biotechnological applications of Kluyveromyces LAC genes. **Biotechnology Advances**, v. 24, n. 2, p. 212–225, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.10.001>.
- SELVARAJAN, E.; MOHANASRINIVASAN, V.; SUBATHRA DEVI, C.; GEORGE PRIYA DOSS, C. Imobilização de β -galactosidase de *Lactobacillus plantarum* HF571129 em nanopartículas de ZnO: caracterização e hidrólise da lactose. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 38, p. 1655–1669, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00449-015-1407-6>.
- SEREY, M.; VERA, C.; GUERRERO, C.; ILLANES, A. Imobilização da β -galactosidase de *Aspergillus oryzae* em matriz de agarose funcionalizada com cátions e sua aplicação na síntese de lactulose. **International Journal of Biological**

Macromolecules, v. 167, p. 1564–1574, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.110>.

SEYIS, I.; AKSOZ, N. Produção de lactase por *Trichoderma* sp. **Food Technology and Biotechnology**, v. 42, p. 121–124, 2004.

SHARMA, R.; KATOCH, M.; SRIVASTAVA, P.; QAZI, G. Approaches for refining heterologous protein production in filamentous fungi. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 25, p. 2083–2094, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0128-x>.

SOMMELLA, E.; PEPE, G.; VENTRE, G.; PAGANO, F.; CONTE, G. M.; OSTACOLO, C.; MANFRA, M.; TENORE, G. C.; RUSSO, M.; NOVELLINO, E.; CAMPIGLIA, P. Detailed peptide profiling of “Scotta”: from a dairy waste to a source of potential health-promoting compounds. **Dairy Science & Technology**, v. 96, p. 763–771, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13594-016-0297-y>.

SONG, X.; ZHANG, X.; KUANG, C.; ZHU, L.; ZHAO, X. Cinética em lote e modelagem da produção de DHA por *S. limacinum* OUC88. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, p. 26–30, 2010.

ŠELO, G.; PLANINIĆ, M.; TIŠMA, M.; TOMAS, S.; KOČAR, D.; BUCIĆ-KOJIĆ, A. Agro-industrial waste as a source of bioactive compounds in fermentation processes. **Foods**, v. 10, n. 3, p. 1–23, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10030552>.

SUKMANA, H. et al. A review of various protein separation techniques and whey processing technologies. **European Food Research and Technology**, 2025.

TORRES, D. P. M.; GONÇALVES, M. P.; TEIXEIRA, J. A.; RODRIGUES, L. R. Galacto-oligosaccharides: production, properties, applications and significance as prebiotics. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 5, p. 438–454, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00119.x>.

XAVIER, J. R.; RAMANA, K. V.; SHARMA, R. K. β -galactosidase: aplicações biotecnológicas no processamento de alimentos. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, e12564, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfbc.12564>.

ZANDONA, E.; BLAŽIĆ, M.; REŽEK JAMBRÁK, A. Utilization of whey: sustainable uses and environmental approach. **Food Technology and Biotechnology**, v. 59, n. 2, p. 147–161, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6950>.