



---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**Tatiana Lopes do Pinho**

**APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE EM DIETAS HIPERLIPÍDICAS:  
AVALIAÇÃO DA BIOACESSIBILIDADE E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE  
SEUS COMPOSTOS BIOATIVOS**

UTILIZATION OF BREWERS' SPENT GRAIN IN HYPERLIPIDIC DIETS:  
EVALUATION OF THE BIOACCESSIBILITY AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ITS  
BIOACTIVE COMPOUNDS

Rio de Janeiro

2025

Tatiana Lopes do Pinho

**APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE EM DIETAS HIPERLIPÍDICAS:  
AVALIAÇÃO DA BIOACESSIBILIDADE E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE  
SEUS COMPOSTOS BIOATIVOS**

UTILIZATION OF BREWERS' SPENT GRAIN IN HYPERLIPIDIC DIETS:  
EVALUATION OF THE BIOACCESSIBILITY AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ITS  
BIOACTIVE COMPOUNDS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Furtado Dias

Coorientadora: Profa. Dra. Carolina Beres

Rio de Janeiro

2025

Catálogo informatizado pelo(a) autor

L           Lopes do Pinho, Tatiana  
              Aproveitamento do bagaço de malte em dietas  
              hiperlipídicas: avaliação da bioacessibilidade e atividade  
              antioxidante de seus compostos bioativos / Tatiana Lopes  
              do Pinho. -- Rio de Janeiro : UNIRIO, 2025.  
              64

              Orientadora: Juliana Furtado Dias.  
              Coorientadora: Carolina Beres.  
              Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado  
              do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Alimentos e  
              Nutrição, 2025.

              1. Bagaço de malte. 2. Aproveitamento de resíduos. 3.  
              Compostos fenólicos. I. Furtado Dias, Juliana, orient. II.  
              Beres, Carolina, coorient. III. Título.

Tatiana Lopes do Pinho

**APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE EM DIETAS HIPERLIPÍDICAS:  
AVALIAÇÃO DA BIOACESSIBILIDADE E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE  
SEUS COMPOSTOS BIOATIVOS**

UTILIZATION OF BREWERS' SPENT GRAIN IN HYPERLIPIDIC DIETS:  
EVALUATION OF THE BIOACCESSIBILITY AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ITS  
BIOACTIVE COMPOUNDS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro como requisito para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

**Aprovado em:** 09/07/2025

**Banca examinadora**

---

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Juliana Furtado Dias (Presidente e orientadora)**  
**Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro– UNIRIO**

---

**Prof. Dr. Anderson Junger Teodoro (Membro interno do PPGAN)**  
**Universidade Federal Fluminense– UFF**

---

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Roberta Melquiades (Membro externo do PPGAN)**  
**Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ**

Dedico este trabalho a Deus, a minha família e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha jornada até os dias de hoje.

## AGRADECIMENTOS

Quero, primeiramente, agradecer a Deus, por ser responsável por tudo, e à Maria, por estar sempre à frente, intercedendo pelos meus caminhos. Agradeço à agência de fomento CAPES, pelo financiamento deste projeto e pela bolsa de mestrado. À querida UNIRIO, que me acolheu por tantos anos, e ao PPGAN, pela oportunidade de fazer parte deste programa.

Sou imensamente grata às minhas orientadoras: À Juliana Dias, por ter aberto as portas do PPGAN para mim e por sua história de vida, que me inspirou a chegar até aqui. Obrigada pelo toque de amizade e carinho. E à Carolina Beres, por ser essa pessoa incrível, paciente, amorosa e inspiradora, que me orientou com seu carisma, bom humor e generosidade. Serei eternamente grata.

Ao time que se formou ao longo do caminho, agradeço à equipe de alunos da UNIRIO e da UERJ, que me ajudaram em tantos momentos — sem vocês, nada disso seria possível. Um agradecimento especial à Estella, Matheus, Mariel, Juliana, Flávia, Pâmela e Heloísa.

À minha dupla de mestrado, Poliana Martins D'Ávilla, agradeço a parceria e amizade. Sem sua força e desabafos, eu não teria conseguido seguir em frente.

Aos queridos professores da UERJ, que abriram as portas dos laboratórios com tanta gentileza e disponibilidade — em especial às professoras Roberta, Elizabeth, Marta e Kim —, meu sincero agradecimento. E aos técnicos que foram fundamentais para a realização das análises, especialmente Raquel, Yan e Yuki.

Agradeço à minha família. aos meus pais, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem incondicionalmente. Ao meu irmão Thiago, por ser minha inspiração nos estudos e pelo auxílio que me dá até hoje — jamais esquecerei suas palavras firmes e verdadeiras: *"Não importa quantas vagas existam, você só precisa de uma."*

À minha avó, que me ensina, todos os dias, o que é ser uma mulher forte, gentil e sempre disposta a ajudar.

À minha tia Dinea, minha segunda mãe, que me acolheu em tantos momentos — seu amor foi essencial para o meu crescimento.

Obrigada à Aline, pela parceria de todas as horas. Você foi essencial para manter minha sanidade mental.

E aos amigos infinitos que a vida me deu ao longo dessa jornada, meu carinho eterno. Uma folha jamais será suficiente para expressar tanta gratidão. Até a próxima. Que venha o doutorado!

“Quanto mais eu leio, quanto mais aprendo,  
mais certo estou de que não sei de nada.”

(Voltaire)

## RESUMO

A geração de resíduos agroindustriais representa um desafio ambiental e uma oportunidade para a inovação no desenvolvimento de ingredientes funcionais. O bagaço de malte (BSG), subproduto da indústria cervejeira, destaca-se por sua composição rica em fibras, proteínas e compostos fenólicos, sendo considerado uma matriz promissora para aplicação em alimentos. Neste contexto, a presente dissertação teve como objetivo investigar a valorização do BSG por meio da fermentação em estado sólido (FES) com *Aspergillus oryzae*, avaliando seus efeitos sobre a bioacessibilidade e atividade antioxidante dos compostos bioativos, com foco em formulações alimentares em dietas hiperlipídicas. No Capítulo 1, realizou-se uma mini revisão sistematizada da literatura sobre o impacto da FES na bioacessibilidade de compostos bioativos em diferentes matrizes alimentares. A análise dos estudos demonstrou que a FES é uma estratégia eficaz na liberação de compostos fenólicos e outros fitoquímicos, com ganhos expressivos na atividade antioxidante. Fatores como o tipo de microrganismo, a matriz utilizada, os parâmetros fermentativos e os pré-tratamentos aplicados foram identificados como determinantes no sucesso do processo. A maioria dos estudos analisou os subprodutos de forma isolada, sem considerar aspectos de segurança ou aplicação prática. Destaca-se a necessidade de incorporar esses ingredientes em formulações reais, avaliando sua digestão e interações alimentares, além de reforçar a importância do uso de protocolos padronizados para garantir resultados confiáveis e comparáveis. O Capítulo 2 apresenta o estudo experimental, no qual rações hiperlipídicas contendo BSG fermentado e não fermentado foram elaboradas e submetidas à digestão gastrointestinal simulada *in vitro*. As análises revelaram que o BSG fermentado apresentou maiores teores de compostos fenólicos livres e ligados, especialmente os ácidos ferúlico e p-cumárico, além de superior atividade antioxidante nos testes DPPH, FRAP e ABTS. Embora a digestão tenha reduzido os índices de recuperação dos compostos, os valores absolutos permaneceram mais elevados nas amostras com BSG fermentado. Adicionalmente, todas as rações apresentaram segurança microbiológica, apontando sua viabilidade para uso alimentar. Os resultados obtidos reforçam o potencial da FES como ferramenta para a valorização de subprodutos agroindustriais e sua aplicação no desenvolvimento de alimentos funcionais. A integração entre conhecimento teórico e aplicação prática destaca o BSG fermentado como ingrediente viável do ponto de vista nutricional, funcional e tecnológico, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e da economia circular.

**Palavras-chave:** atividade antioxidante, bagaço de malte, compostos fenólicos, digestão *in vitro*, fermentação em estado sólido.



## ABSTRACT

The generation of agro-industrial by-products presents both environmental challenges and opportunities for innovation in developing functional ingredients. Brewer's spent grain (BSG), a major by-product of the brewing industry, is notable for its rich content of fibers, proteins, and phenolic compounds, making it a promising base for food applications. In this context, this dissertation aimed to explore the valorization of BSG through solid-state fermentation (SSF) with *Aspergillus oryzae*, assessing its effects on the bioaccessibility and antioxidant activity of bioactive compounds, especially in high-fat diet formulations. Chapter 1 offers a structured literature review on how SSF impacts the bioaccessibility of bioactive compounds across various food matrices. The analysis shows that SSF is an effective approach for improving the release of phenolic compounds and other phytochemicals, with notable gains in antioxidant activity. Factors such as the microorganism used, substrate properties, fermentation conditions, and pre-treatment methods are crucial to process success. Most studies have examined the by-products in isolation, without considering safety issues or practical uses. There is a clear need to incorporate these ingredients into real food recipes, considering their digestion and how they interact with other dietary components, while also emphasizing the importance of standardized protocols to ensure consistent and comparable results. Chapter 2 details the experimental study, where high-fat diet formulations with fermented and non-fermented BSG were prepared and subjected to simulated gastrointestinal *in vitro* digestion. Results indicated that fermented BSG had higher levels of free and bound phenolic compounds, including ferulic and p-coumaric acids, and showed improved antioxidant activity in DPPH, FRAP, and ABTS assays. Although phenolic recovery decreased after digestion, the absolute levels remained higher in formulations with fermented BSG. Additionally, all diets were microbiologically safe, supporting their potential for food use. These results highlight the potential of SSF as a biotechnological method for valorizing agro-industrial by-products and developing functional foods. Combining theoretical insights with practical application, fermented BSG proves to be a viable ingredient from nutritional, functional, and technological standpoints, aligning with principles of sustainability and the circular economy.

**Keywords:** antioxidant activity, brewer's spent grain, digestion *in vitro*, phenolic compounds, solid state fermentation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO I

Figura 1: Resumo gráfico .....	17
--------------------------------	----

### CAPÍTULO II

Figura 1: Aparência das rações elaboradas.....	41
Figura 2: Compostos fenólicos totais e atividades antioxidantes das rações submetidas à digestão oral, gástrica e intestinal simulada <i>in vitro</i> .....	43
Figura 3: Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre o teor de fenólicos totais (Folin–Ciocalteu) e os métodos de atividade antioxidante. ....	44

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1: Efeitos da fermentação em estado sólido na bioacessibilidade de compostos bioativos de diferentes substratos.....	21
---	----

### CAPÍTULO II

Tabela I: Formulação das rações controle, hiperlipídica e as rações contendo BSG (g/100g ração) .....	33
Tabela II- Composição química das rações.....	40
Tabela III- Conteúdo fenólico total (TPC) e atividade antioxidante em extratos das frações de compostos bioativas livres e da fração ligada à matriz alimentar, e nas frações digeridas de rações.....	42
Tabela IV- Quantificação (mg/100g) dos compostos fenólicos identificados na ração controle (RC), ração hiperlipídica (RH), ração hiperlipídica fermentada (RHF) e ração hiperlipídica não fermentada (RHNF).....	45
Tabela V: Contagem de <i>Escheria coli</i> , <i>Baccilus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , fungos e leveduras e presença ou ausência de <i>Salmonella</i> nas rações elaboradas.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	2,2-azino-bis-(3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico)
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists, Associação Oficial de Químicos Analíticos
BP	Baird Parker
BSG	Bagaço de malte
CACL <sub>2</sub>	Cloreto de cálcio
DP	Desvio-padrão
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
EAG	Equivalentes de Ácido Gálico
FDA	<i>Food and Drug Administration</i> , Administração de Alimentos e Medicamentos
FES	Fermentação em Estado Sólido
FeSO <sub>4</sub>	Sulfato de ferro
FRAP	Poder redutor antioxidante férrico
HCL	Ácido clorídrico
HPLC-DAD	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a arranjo de fosfodiodos
IB	Índice de Bioacessibilidade
IR	Índice de recuperação
NaOH	Hidróxido de Sódio
ODS	Objetivos de desenvolvimento sustentável
PEMBA	<i>Bacillus cereus</i> Selective Agar
PPGAN	Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição
RC	Ração controle
RH	Ração hiperlipídica
RHF	Ração hiperlipídica fermentada
RHNF	Ração hiperlipídica não fermentada
RMF	Resíduo mineral fixo
SCFAs	Ácidos graxos de cadeia curta
TAL	Tirosina amônia-liase
TBX	Tryptone Bile X-Glucuronide Agar
TEAC	capacidade antioxidante equivalente ao Trolox

TGI	Trato Gastrointestinal
TPC	conteúdo de fenólicos totais
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFC	Unidade formadora de colônia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNIRIO	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
UR	Umidade relativa
VET	Valor energético total
XLD	Ágar Xilose Lisina Desoxicolato

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO I – Efeito da fermentação em estado sólido na bioacessibilidade de compostos bioativos: uma mini-revisão .....	16
1. Introdução.....	17
2. Material e método.....	17
3. Resultados.....	17
4. Discussão.....	25
5. Conclusão .....	26
6. Referências .....	27
CAPÍTULO II – Aproveitamento do bagaço de malte em dietas hiperlipídicas: avaliação da bioacessibilidade e atividade antioxidante de seus compostos bioativos.....	29
1. Introdução.....	31
2. Material e métodos .....	32
2.1 Material .....	32
2.2 Método para obtenção do BSG fermentado .....	32
2.3 Elaboração das rações .....	33
2.4 Análises físico-químicos das rações contendo BSG fermentado e não-fermentado.....	34
2.5 Geração de extratos fenólicos de BSG.....	34
2.6 Digestão simulada <i>in vitro</i> .....	35
2.7 Análise de atividade antioxidante e fenólicos totais .....	36
2.7.1 Determinação de fenólicos totais .....	36
2.7.2 Ensaio TEAC.....	36
2.7.3 DPPH.....	37
2.7.4 FRAP.....	37
2.8 Análise por HPLC-DAD .....	38
2.9 Índice de recuperação.....	38
2.10 Controle microbiológico .....	39
2.10.1 <i>Salmonella spp.</i> .....	39
2.10.2 <i>Staphylococcus aureus e Bacillus cereus spp</i> .....	39
2.10.3 Fungos e leveduras .....	39

2.10.4 <i>Escherichia coli</i> .....	39
2.11 Estatística .....	40
3. Resultados.....	40
3.1 Caracterização físico-química .....	40
3.2 Conteúdo de fenólicos totais e atividade antioxidante .....	42
3.3 Índice de recuperação.....	44
3.4 Correlação entre os quatro ensaios.....	44
3.5 Caracterização e quantificação por HPLC-DAD .....	44
3.6 Análise microbiológica .....	46
4. Discussão .....	46
5. Conclusão .....	50
6. Referências .....	51
CONCLUSÃO GERAL .....	57
REFERÊNCIAS .....	58
ANEXOS.....	60

## INTRODUÇÃO

A economia circular, que integra desenvolvimento econômico ao aproveitamento eficiente de recursos naturais e subprodutos agrícolas, tem ganhado destaque por reduzir desperdícios e impactos ambientais, promovendo crescimento econômico e bem-estar. Assim, subprodutos agrícolas como o BSG têm sido estudados como ingredientes alimentícios (Baiano et al., 2023).

Dentro do contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), o BSG se enquadra como um subproduto com potencial de reaproveitamento, e não como rejeito. Iniciativas como a regulamentação do uso do bagaço de malte em Niterói/RJ (NITERÓI, 2022) reforçam a importância de estratégias de valorização desses materiais, incluindo sua aplicação na produção de alimentos para consumo humano em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU (2015).

A produção de cerveja é uma atividade de grande relevância econômica e social, especialmente em países como o Brasil, atualmente o terceiro maior produtor mundial. Esse setor movimenta um volume anual superior a 16 bilhões de litros de cerveja, número que vem crescendo nos últimos anos com a expansão de novas cervejarias e produtos (MAPA, 2023).

No entanto, além da bebida, esse processo produtivo gera um grande volume de subprodutos, sendo o bagaço de malte (BSG) o principal resíduo sólido resultante (Danciu et al., 2023). A cevada (*Hordeum sp.*), matéria-prima base para a produção de malte, passa por um processo de germinação controlada (maltagem), seguida de moagem e brasagem, etapas que visam a liberação de carboidratos fermentáveis. Após a filtragem do mosto, o BSG é separado, caracterizando-se como um material fibroso, composto majoritariamente por cascas e outras estruturas externas do grão (Marcus & Fox., 2021; Moirangthem etl al., 2024).

Estima-se que, para cada hectolitro de cerveja produzido, sejam gerados 15 kg de BSG (Evaristo et al., 2023). No cenário mundial, o processamento de grãos representa cerca de 12,9% de todo o desperdício gerado (Danciu et al., 2023). No Brasil, com o aumento da produção cervejeira, a geração desse subproduto cresce proporcionalmente, o que traz preocupações ambientais relevantes. Atualmente, aproximadamente 70% do BSG é destinado à alimentação animal, 10% à produção de biogás e cerca de 20% é descartado em aterros sanitários, o que contribui para a emissão de gases de efeito estufa, estima-se uma liberação de 513 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de BSG descartada (Bianco et al., 2020; Nyhan et al., 2023).



Do ponto de vista nutricional, o BSG é uma matriz complexa e heterogênea, cuja composição varia em função de fatores como a variedade da cevada, condições de cultivo e parâmetros de processamento. Em geral, destaca-se por seu elevado teor de fibras insolúveis, como celulose, hemicelulose, principalmente arabinosilana, e lignina, podendo chegar a representar 60% da matéria seca. Em relação ao teor proteico pode representar de 10-26% de proteína em base seca, com destaque para aminoácidos essenciais como lisina, além de glutamina e prolina. Minerais como silício, fósforo, cálcio e magnésio também estão presentes, além de lipídios compostos por ácidos graxos e compostos voláteis (Marcus & Fox., 2021; Naibaho & Korzeniowska, 2021).

A busca por alternativas de processamento que aprimorem a funcionalidade nutricional do BSG tem incentivado o uso de técnicas como a fermentação em estado sólido (FES). Essa biotecnologia, baseada no crescimento de micro-organismos como bactérias, leveduras e principalmente fungos filamentosos sobre substratos com baixa umidade, favorece a produção de enzimas capazes de degradar fibras complexas. Esse processo promove a liberação de compostos bioativos, como aminoácidos livres, vitaminas e antioxidantes. A FES destaca-se por seu baixo custo, reduzida geração de efluentes e elevada eficiência na conversão de biomassa, configurando-se como uma estratégia sustentável para a valorização de subprodutos agroindustriais (Da Costa et al., 2020; Marcus & Fox, 2021).

Para avaliar os impactos nutricionais e funcionais dessas modificações, a digestão *in vitro* surge como uma ferramenta essencial. O método INFOGEST 2.0, amplamente aceito na comunidade científica, simula de forma padronizada as etapas oral, gástrica e intestinal da digestão humana (Brodkorb et al., 2019). Essa abordagem permite estimar a bioacessibilidade de nutrientes e compostos bioativos, fornecendo dados importantes para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Embora apresente limitações por não reproduzir completamente a complexidade fisiológica *in vivo*, o protocolo INFOGEST tem demonstrado boa correlação com estudos clínicos (Sousa et al., 2023).

Estudos recentes sobre o BSG têm explorado sua aplicação em formulações como pães, biscoitos, massas e iogurtes (Ramu Ganesan et al., 2023). No entanto, conhecer a bioacessibilidade de seus componentes é fundamental para orientar sua utilização em alimentos destinados ao consumo humano (Gutierrez-Barrutia et al., 2022). Pesquisas utilizando digestão *in vitro* indicam que, mesmo após processamento térmico ou físico, o BSG mantém compostos com potencial antioxidante, reforçando sua viabilidade como ingrediente funcional (Bonifácio-Lopes et al., 2023; Gutierrez-Barrutia et al., 2023).

Diante desse cenário, a valorização do BSG através de estratégias biotecnológicas como a FES, associada à avaliação da bioacessibilidade de seus nutrientes por métodos *in vitro*, representa uma oportunidade promissora para a promoção da sustentabilidade na cadeia produtiva de alimentos, além de contribuir para o desenvolvimento de produtos com potencial benefício à saúde humana.

Este trabalho tem como objetivo investigar o aproveitamento do bagaço de malte como subproduto com potencial aplicação na alimentação, explorando seu uso em formulações de rações. Para isso, serão avaliadas as alterações na composição química e na bioacessibilidade de compostos bioativos, como fenólicos e antioxidantes, após fermentação fúngica com *Aspergillus Oryzae* e processamento. A pesquisa inclui a elaboração de rações com bagaço fermentado e não fermentado, análise centesimal, quantificação de compostos fenólicos de interesse, estudo da bioacessibilidade e avaliação microbiológica das rações, visando seu possível uso futuro em alimentos para consumo humano.

No primeiro capítulo deste trabalho, será apresentada uma mini revisão bibliográfica submetida para publicação à Brazilian Archives of Biology and Technology. O artigo é intitulado “Efeito da Fermentação em estado sólido sobre a bioacessibilidade de compostos bioativos”.

No segundo capítulo, será apresentado um artigo original submetido para publicação à revista Annals of the Brazilian Academy of Sciences. O artigo é intitulado “Aproveitamento do bagaço de malte em dietas hiperlipídicas: avaliação da bioacessibilidade e atividade antioxidante de seus compostos bioativos”. Nele são apresentados os resultados experimentais obtidos neste trabalho onde foram realizadas as digestões *in vitro* de 4 tipos de rações onde avaliou-se o teor de compostos fenólicos total, atividade antioxidante, e o perfil de compostos fenólicos caracterizado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a arranjo de fosfodiodos (HPLC-DAD).

## CONCLUSÃO GERAL

Muito tem se estudado sobre valorização de subprodutos agroindustriais e o BSG se apresenta como uma importante fonte de compostos bioativos e seu alto volume gerado tem despertado crescente interesse. Neste estudo, o potencial do BSG como ingrediente funcional foi estudada através da elaboração de rações.

A FES foi eficaz em melhorar o perfil bioativo do BSG, promovendo maior liberação de compostos fenólicos e aumentando a atividade antioxidante das formulações. Embora os processos de digestão simulada tenham ocasionado certa redução na recuperação de compostos bioativos, os valores absolutos permaneceram mais elevados nas rações contendo BSG fermentado, sugerindo maior bioacessibilidade desses compostos. Observou-se ainda uma forte correlação entre o teor fenólico total e a capacidade antioxidante, reforçando a relevância nutricional e funcional desses subprodutos quando devidamente processados.

Através da aplicação HPLC-DAD e ensaios de digestão gastrointestinal simulada *in vitro*, foi possível caracterizar e quantificar compostos fenólicos livres e ligados, destacando-se os ácidos ferúlico e p-cumárico como majoritários.

Além disso, as rações formuladas apresentaram segurança microbiológica, evidenciando a viabilidade de uso do BSG em alimentos destinados ao consumo humano, em conformidade com práticas sustentáveis e os princípios da economia circular.

Dessa forma, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a valorização de subprodutos da indústria cervejeira, propondo estratégias tecnológicas viáveis para sua reintrodução na cadeia alimentar, e aponta caminhos promissores para o desenvolvimento de novos alimentos funcionais. Recomenda-se que estudos futuros explorem a biodisponibilidade *in vivo* dos compostos bioativos do BSG fermentado, bem como sua aplicação sensorial e tecnológica em diferentes matrizes alimentares.

## REFERÊNCIAS

- BAIANO, A. et al. Bread produced in a circular economy perspective: the use of brewers' spent grain. *Foods*, v. 12, p. 40834, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12040834>.
- BIANCO, A. et al. The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 104, n. 20, p. 8661-8678, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10843-1>.
- BONIFÁCIO-LOPES, T. et al. Impact of gastrointestinal digestion simulation on brewer's spent grain green extracts and their prebiotic activity. *Food Research International*, v. 165, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112515>.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos ("PNRS"). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo*, Brasília, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm).
- BRODKORB, A. et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, v. 14, n. 4, p. 991–1014, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>.
- DA COSTA MAIA, I. et al. Effect of solid-state fermentation over the release of phenolic compounds from brewer's spent grain revealed by UPLC-MSE. *LWT*, v. 133, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110136>.
- DANCIU, C. A. et al. Overview of the Sustainable Valorization of Using Waste and By-Products in Grain Processing. *Foods*, v. 12, n. 20, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12203770>.
- EVARISTO, R. B. W.; COSTA, A. A.; NASCIMENTO, P. G. B. D.; GHESTI, G. F. Biorefinery Development Based on Brewers' Spent Grain (BSG) Conversion: A Forecasting Technology Study in the Brazilian Scenario. *Biomass*, v. 3, n. 3, p. 217-237, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biomass3030013>.
- GANESAN, A. R. et al. The Rheology and Textural Properties of Bakery Products Upcycling Brewers' Spent Grain. *Foods*, v. 12, n. 19, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12193524>.
- GUTIERREZ-BARRUTIA, M. B. et al. Assessment of in vitro digestion of reduced sugar biscuits with extruded brewers' spent grain. *Food Research International*, v. 172, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113160>.

- GUTIERREZ-BARRUTIA, M. B. et al. In Vitro Digestibility and Bioaccessibility of Nutrients and Non-Nutrients Composing Extruded Brewers' Spent Grain. *Nutrients*, v. 14, n. 17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu14173480>.
- MARCUS, A.; FOX, G. Fungal Biovalorization of a Brewing Industry Byproduct, Brewer's Spent Grain: A Review. *Foods*, v. 10, n. 9, p. 2159, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10092159>.
- MOIRANGTHEM, Kamaljit; KOIRALA, Prabin; MAINA, Henry N.; RAI, Dilip K.; CODA, Rossana. Impact of pre-treatments and bioprocessing on the carbohydrate and polyphenol profile of brewers' spent grain. *Food and Bioproducts Processing*, v. 148, p. 62-71, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.08.017>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- NAIBAH, J.; KORZENIOWSKA, M. Brewers' spent grain in food systems: Processing and final products quality as a function of fiber modification treatment. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15714>.
- NITERÓI (RJ). Lei nº 3.755, de 23 de dezembro de 2022. *Diário Oficial da Prefeitura Municipal de Niterói: Poder Executivo*, Niterói, RJ, 23 dez. 2022. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/rj/n/niteroi/lei-ordinaria/2022/376/3755/lei-ordinaria-n-3755-2022-classifica-o-bagaco-resultante-da-filtracao-do-mosto-na-fabricacao-de-cervejas-como-coproducto-e-autoriza-o-seu-uso-no-municipio-de-niteroi-para-fins-alimentares-e-outros-produtos-com-valores-agregados>.
- NYHAN, L. et al. Brewers' Spent Grain: An Unprecedented Opportunity to Develop Sustainable Plant-Based Nutrition Ingredients Addressing Global Malnutrition Challenges. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 71, n. 28, p. 10543–10564, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02489>.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- SOUSA, R. et al. In vitro digestibility of dietary proteins and in vitro DIAAS analytical workflow based on the INFOGEST static protocol and its validation with in vivo data. *Food Chemistry*, v. 404, p. 134720, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134720>. Acesso em: 18 jun. 2025.

## ANEXOS

## Anexo 1- Comprovante de submissão

## Capítulo de revisão

# Submission Confirmation

---



Thank you for your submission

---

**Submitted to**

Brazilian Archives of Biology and Technology

**Manuscript ID**

BABT-2025-0508

**Title**

Effect of Solid-State Fermentation on the Bioaccessibility of Bioactive Compounds: A Mini-Review

**Authors**

Dias, Juliana F

Do Pinho, Tatiana Lopes

Beres, Carolina

**Date Submitted**

30-Jun-2025

Anexo 2- Comprovante de submissão  
Artigo original

## Submission Confirmation

---

 Print

Thank you for your submission

---

**Submitted to**

Anais da Academia Brasileira de Ciências

**Manuscript ID**

AABC-2025-0711

**Title**

Utilization of Brewer's Spent Grain in High-Fat Diets: Evaluation of the Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Its Bioactive Compounds

**Authors**

Pinho, Tatiana  
Abraão, Matheus  
Pereira, Estela  
Inada, Kim  
Cavalcanti, Elisa  
Beres, Carolina  
Dias, Juliana

**Date Submitted**

30-Jun-2025