



UMA ALTERNATIVA PARA OS RESÍDUOS DA PEQUENA INDÚSTRIA CERVEJEIRA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.V-003>

Lara Castelo Branco Moura (*), Ana Carolina Chaves Fortes, Bruna de Freitas Iwata, Fabrício Napoleão Andrade

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí-IFPI, castelolara@gmail.com

RESUMO

O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja no mundo, gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos oriundos dessa atividade. Além das grandes indústrias cervejeiras, existe um cenário crescente de produção de cerveja por parte das micro e pequenas cervejarias. Entender formas de reaproveitamento do bagaço de malte é fundamental para contribuir na mitigação de possíveis impactos atrelados aos resíduos e, também, fortalecer a economia circular. O proposto visa identificar as aplicabilidades do bagaço de malte através de uma revisão de literatura utilizando como base de dados a Web Of Science (WOS).

PALAVRAS-CHAVE: Bagaço de Malte, Sustentabilidade, Economia Circular.

ABSTRACT

Brazil is the third largest beer producer in the world, generating a large amount of solid waste from this activity. In addition to the large brewing industries, there is a growing scenario of beer production by micro and small breweries. Understanding ways to reuse malt waste is essential to help mitigate possible impacts linked to waste and also strengthen the circular economy. The proposed aims to identify the applicability of malt waste through a literature review using the Web Of Science (WOS) as a database.

KEY WORDS: BSG, Sustainability, Circular Economy.

INTRODUÇÃO

A indústria cervejeira é destaque no cenário mundial. Em 2022 a produção mundial de cerveja aumentou de 25 milhões de hectolitros para 1,89 bilhão de hectolitros. Os países que lideram o ranking no setor são a China, os Estados Unidos e o Brasil (Barth-haas, 2023).

Os principais resíduos sólidos gerados no processo de fabricação de cerveja são resíduos de grãos, leveduras, resíduos de lúpulo e terra de diatomáceas (Olajire, 2020).

O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja no mundo, o país registrou um crescimento em termos de volume de mais de 4,4 milhões de hectolitros nos anos de 2021 e 2022, sendo responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos sólidos e líquidos nas indústrias (Barth-haas, 2023).

Destaca-se que o resíduo gerado em maior quantidade é o bagaço de malte também conhecido como BSG (sigla do inglês brewer's spent grain), que possui na sua composição: celulose, hemicelulose, lignina, proteínas, extrativos e cinzas, sua geração ocorre na etapa de mosturação e corresponde a 85% do resíduo gerado (Massardi; Massini; Silva, 2020).

É importante ressaltar que existe um movimento das empresas em direção às mudanças no ambiente de negócios, com inserção de novas tecnologias, estratégias e práticas mais sustentáveis (Rodrigues, 2023).

Essa movimentação das empresas, atende à princípios de economia circular, e, exerce papel fundamental para a redução do impacto ambiental por buscar reduzir o descarte de resíduos, fortalecendo toda a cadeia de reciclagem e reutilização dos resíduos, além de buscar uma produção mais sustentável, viabilizando a otimização do uso de recursos, promovendo a inovação tecnológica, facilitando a criação de soluções eficientes no que se refere ao gerenciamento dos resíduos trazendo inúmeros benefícios ao meio ambiente, a economia e a sociedade (Ohde *et al*, 2018; Rodrigues, 2023).

O trabalho tem como objetivo identificar as aplicabilidades do bagaço de malte através de uma revisão de literatura, com a finalidade de fomentar o seu reaproveitamento.



MICRO E PEQUENAS CERVEJARIAS NO BRASIL

O final da década de 80 foi bastante significativo para as pequenas cervejarias no mercado brasileiro, que surgiram inspiradas no movimento internacional chamado de *Craft Brewing* ou produção alternativa de cerveja, movimento caracterizado pela busca de melhores ingredientes para produção (Mourão, 2017).

De acordo com estimativas da Abracerva (2023) as indústrias de pequeno porte, têm uma produção de até 500.000 litros de cerveja por mês, as indústrias podem gerar cerca de até 100 toneladas de bagaço de malte.

Para as microcervejarias têm uma produção de até 50 mil litros de cerveja por mês, e podem gerar cerca de 10 toneladas de bagaço de malte (Abracerva, 2023).

Segundo Marcusso (2015), tanto as grandes como as micro e pequenas empresas buscam soluções para minimizar os impactos ambientais causados pelas suas atividades, o autor afirma que as grandes cervejarias são muito mais sustentáveis que as microcervejarias por ter um controle maior de sua produção e por possuir maior capital de investimento. Apesar das limitações, existe uma procura por parte das pequenas produtoras de cerveja para alcançar uma produção mais sustentável.

BAGAÇO DE MALTE

Após o processo de mosturação, a parte insolúvel o BSG fica em solução com o mosto solúvel (líquido) o mosto que passará pelo processo de fermentação passa pelo processo de filtragem através do BSG, que é um subproduto que é descartado. O BSG cumpre papel fundamental, pois forma o leito onde o mosto é filtrado para separar o mosto, os autores relatam que o processo de moagem inicial do malte onde a cobertura dos grãos deve permanecer intacta para formar um filtro adequado. As cervejarias pequenas ou artesanais ainda usam essa técnica de filtração do mosto, enquanto muitas cervejarias maiores usam um filtro de mosto, que vai depender menos da função de filtração do BSG (Lynch; Steffen; Arendt, 2016).

O BSG é o principal subproduto da indústria cervejeira, constituindo 85% do total do que é gerado no processo de produção da cerveja, estima-se que para cada 100 litros de cerveja produzida se gera cerca de 14kg a 20kg de BSG. Pela sua complexidade o BSG é composto aproximadamente de 15-25% de proteínas, 50-70% de fibra (hemicelulose, celulose e lignina), 5-10% de gorduras e 2-5% de cinzas (Allegretti *et al*, 2022).

Para Lynch, Steffen e Arendt (2016), o BSG é um material lignocelulósico onde na sua composição os principais constituintes são hemicelulose, celulose, proteínas e lignina, o alto teor de fibras e proteínas o torna fundamental para diversas aplicações. Além dessa composição o BSG é composto por aminoácidos, minerais, lipídios e cinzas.

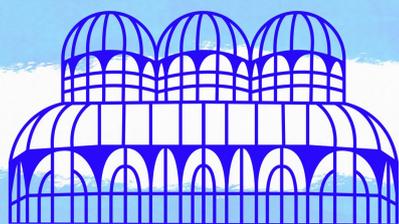
Segundo Mussato (2014), o BSG é um subproduto riquíssimo e é matéria prima para aplicação em diversas áreas pela grande geração, baixo custo e disponibilidade durante o ano todo, existem muitos estudos para diversas aplicabilidades do BSG principalmente pela questão ambiental e econômica.

METODOLOGIA

A presente pesquisa é uma revisão de literatura de abordagem quanti e qualitativa orientada pela pergunta 'Quais as aplicabilidades do BSG gerado na indústria cervejeira'? A base de dados utilizada para a pesquisa foi a Web Of Science (WOS), atualmente dirigida pela Clarivate Analytics, com aproximadamente 12.000 periódicos. Para a seleção de termos de busca e operadores booleanos foi feita uma listagem de combinações de diferentes estratégias, utilizadas em buscas teste, ao final, considerou-se a estratégia que melhor se adequa a proposta: "BSG" AND "Industry" AND "Circular Economy". resultando em uma janela temporal de 6 anos (2024 a 2019) totalizando 29 artigos. Aplicados os filtros, idioma (inglês) e o filtro de acesso aberto, foram recuperados 19 artigos. Foram lidos título e resumo em uma triagem preliminar, e todos foram selecionados para leitura na íntegra.

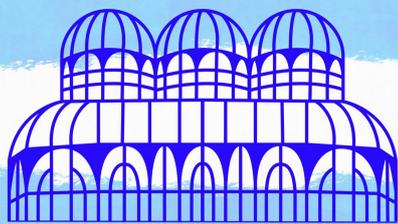
RESULTADOS

A estratégia de busca descrita na seção da metodologia resultou em 19 artigos, lidos na íntegra e deles extraídas informações bibliométricas e qualitativas que resultaram no quadro 1. As informações extraídas foram: título, autor, ano, local, objetivo, alternativa dada ao BSG, tipo de estudo, os pontos positivos e negativos para a alternativa dada ao BSG.



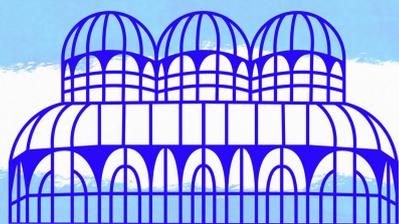
Quadro 1. Informações bibliométricas.

Autor	Ano	Local	Objetivo	Alternativa dada ao BSG	Tipo de estudo
<i>Idowu et al</i>	2022	Portugal	Realizar uma análise preliminar do potencial de recuperação energética de resíduos de BSG e SCG utilizando conversão térmica direta (combustão).	Biocombustível	Experimental
<i>Allegretti et al</i>	2022	Itália	Fracionamento do resíduo para obter uma valorização completa.	Produção de biomassa microbiana e desenvolvimento de redutores de água para cimento.	Experimental
<i>Jackowski et al</i>	2020	Polônia	Apresentar possíveis formas de utilização de subprodutos sólidos comuns do setor cervejeiro, através de uma revisão.	Carvão ativado, produção de biometano, combustível sólido, extração de compostos de alto valor, produção de materiais de construção, embalagens biodegradáveis, aditivo alimentar na nutrição animal, fertilizante sustentável e complemento à alimentação humana.	Revisão
<i>Baiano et al</i>	2023	Itália	Investigar a viabilidade do uso de BSGs provenientes da fabricação de cervejas brancas de estilo belga como ingredientes funcionais na panificação.	Ingredientes funcionais na panificação	Experimental
<i>Assandri et al</i>	2021	Itália	Realizar uma análise da literatura para determinar se as características microbianas e físico-químicas do BSG o tornam adequado para compostagem direta.	Compostagem	Revisão
<i>Assandri et al</i>	2023	Itália	Avaliar os efeitos do composto e do composto pelletizado derivado de grãos usados de cervejaria, ambos enriquecidos com um consórcio microbiano, um experimento com alfaces em vaso de curto prazo.	Fertilizante (compostagem)	Experimental
<i>Serra et al</i>	2023	Itália	A exploração do BSG para a produção microbiana de ácidos graxos de cadeia ramificada (BCFAs) e ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs).	Potencial do meio BSG na produção de biomassa microbiana de ácidos graxos de alto valor.	Experimental



Quadro 1. Informações bibliométricas.

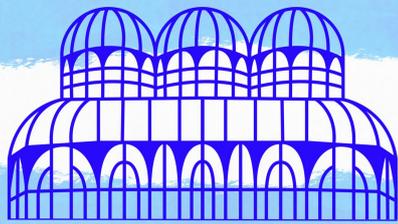
Autor	Ano	Local	Objetivo	Alternativa dada ao BSG	Tipo de estudo
Ferreira <i>et al</i>	2021	Portugal	Avaliar o perfil de Ácidos graxos (AGs) de diferentes subprodutos agroalimentares, utilizando abordagens cromatográficas e espectrométricas, bem como uma estratégia para avaliar a sua aplicação potencial no enriquecimento de matrizes alimentares.	Nutrição humana e alimentação animal.	Experimental
Agrawal <i>et al</i>	2023	Índia	Mostrar o processo de produção de cerveja e como se origina o BSG, avaliar os avanços biotecnológicos emergentes e os processos verdes que visam a valorização do BSG, através de uma revisão.	Etanol, butanol, biometano, xilitol, 2,3-butanodiol (BDO), fertilizantes, enzimas, prebióticos (XOS, ArXOS), alimentos funcionais e suplementos nutricionais, um excelente substituto do extrato de levedura.	Revisão
Assandri <i>et al</i>	2021	Itália	Identificar para cada mistura de BSG considerada, a melhor estratégia de compostagem em termos de características físico-químicas e biológicas do material compostado final.	Compostagem	Experimental
Carvalho <i>et al</i>	2022	Portugal	Avaliar a utilização de grãos in natura de sobras de cerveja para produção de polihidroxialcanoatos, agregando novo valor a esta matéria-prima.	Substrato para produção de polihidroxialcanoato (bioplástico).	Experimental
Costa da. <i>et al</i>	2023	Brasil	Realizar uma prospecção tecnológica e científica utilizando BSG como matéria-prima em bioprocessos como compostagem e biodigestão.	Compostagem e biodigestão	Prospecção tecnológica
Sganzerla <i>et al</i>	2022	Brasil	Avaliar a recuperação de açúcares e aminoácidos de BSG usando hidrólise subcrítica da água (SWH)	Açúcares e aminoácidos	Experimental



Quadro 1. Informações bibliométricas.

Autor	Ano	Local	Objetivo	Alternativa dada ao BSG	Tipo de estudo
Faria <i>et al</i>	2022	Portugal	Investigar as condições de cultivo da levedura <i>Moesziomyces aphidis</i> que proporcionam títulos, rendimentos e produtividades máximas de xilanase usando fontes de nitrogênio (N) e carbono (C) de baixo custo.	Utilização do BSG como substrato para a produção de enzimas.	Experimental
Rossi <i>et al</i>	2024	Argentina	Avaliar os efeitos das temperaturas de prensagem e do tamanho das partículas em propriedades como módulo de elasticidade, módulo de ruptura, ligação interna, inchamento em espessura e absorção de água.	Produção de painéis aglomerados	Experimental
Fernandes <i>et al</i>	2021	Portugal	Testar a eficácia de um extrato rico em carboidrases produzido a partir da fermentação em estado sólido de BSG, para aumentar a digestibilidade de uma dieta vegetal para robalo europeu (<i>Dicentrarchus labrax</i>).	Produção de suplemento enzimático.	Experimental
Lopo <i>et al</i>	2021	Espanha	Este estudo propõe uma estratégia de valorização para recuperar PHAs de valor agregado através do uso de BSG como matéria-prima sustentável.	Substrato para produção de polihidroxialcanoato.	Experimental
Errico <i>et al</i>	2023	Dinamarca	Explorar a transformação de bio-resíduos da indústria alimentar e da agricultura em produtos de alto valor através de quatro exemplos, através de uma revisão.	Utilizado para a extração de compostos antioxidantes.	Revisão
Osman <i>et al</i>	2019	Omã	Descrever a transformação de um resíduo biológico (biomassa lignocelulósica) em produtos sintéticos, duradouros e resilientes, carvão ativado (CA) e nanotubos de carbono (CNTs).	Carvão ativado (AC) e nanotubos de carbono (CNTs).	Experimental

Em Portugal, a norma ENPlus® determina uma série de parâmetros físico-químicos para a certificação da qualidade dos pellets de madeira, a norma é responsável por avaliar os combustíveis derivados de biomassa, O estudo realizado por Idowu *et al* (2022), toma como referência esta norma, responsável por avaliar os combustíveis derivados de



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

biomassa, e constatou que a maioria dos parâmetros normatizados e avaliados são favoráveis para a valorização energética do BSG através da combustão direta, devido ao alto poder calorífico. Todavia, para parâmetros como teor de N, o teor de cinzas ultrapassam os valores limites estabelecidos pela norma ENPlus® o que acaba anulando o efeito de outros parâmetros e inviabilizando a recuperação energética através da combustão direta de BSG pouco viável, ainda que ocorra a mistura com outros materiais, aponta ser necessário mais estudos, principalmente sobre a avaliação de possíveis impactos ambientais negativos que podem ocorrer devido a valorização energética do BSG. Os autores indicam que embora não haja definição quanto ao aproveitamento via queima direta, o uso do BSG para recuperação energética em processos de conversão termoquímica, como torrefação, pirólise, gaseificação, liquefação, pode ser viável, já que estes processos não estão alinhados à norma ENPlus®, e sim à norma ISO/TS 17225-8: 2016, que inclui diferentes classes específicas para pellets produzidos por processamento térmico de biomassa não lenhosa e poderão ser utilizados em processos de recuperação de tipo industrial.

Em revisão de literatura Jackowski *et al* (2020), destacam que as propriedades de combustível do BSG, especialmente em relação ao teor de cinzas que varia entre 2 e 6% o torna parecido com os diferentes tipos de biomassa agrícola. Todavia, a aplicação do BSG apresenta aspectos negativos: o material possui teor de umidade superior a 70%, o processo de secagem requer gasto de energia e instalações volumosas por causa do tempo de residência relativamente elevado, necessitando de 100 min para reduzir a umidade de 0,2 do valor original, que corresponde ao teor de umidade de aprox. 15%.

O estudo experimental feito por Allegretti *et al* (2022), realizou um fracionamento completo, obtendo parte sólida e líquida, esta última para a produção de biomassa microbiana, a primeira extração de BSG com água a alta temperatura permitiu a separação de proteínas solúveis e polissacarídeos que constitui a base de um substrato de fermentação, o estudo descreve aplicações do meio BSG₊ (tratado) para a produção de biomassa microbiana, o meio foi testado para a fermentação de alguns microrganismos selecionados, o estudo mostra que a fermentação de *P. rhodozyma* e *Y. lipolytica* podem fornecer materiais de biomassa para serem empregados na aquicultura e na alimentação humana, respectivamente. Além disso, *R. opacus* e *S. cavourensis* podem fornecer os derivados de ácido graxo (FA) úteis para a preparação de diferentes tipos de biodiesel e para as formulações dos substitutos da gordura do leite humano contendo ácidos graxos de cadeia ramificada (BCFA), respectivamente. O experimento mostrou um alto rendimento para diferentes tipos de microrganismos produzindo ácidos graxos de cadeia linear e ramificada.

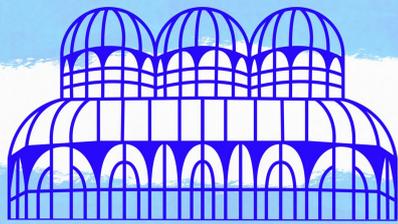
Já o experimento realizado por Serra *et al* (2023), explora o BSG para a produção microbiana de ácidos graxos de cadeia ramificada (BCFAs) e ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs). É importante destacar que os BCFAs são utilizados como ingredientes em fórmulas alimentares infantis funcionando como substitutos da gordura do leite humano, já os PUFAs são utilizados como suplementos alimentares e de grande valor comercial. O estudo mostrou que o meio BSG é adequado para a produção microbiana de BCFAs e PUFAs de alto valor: o experimento mostrou que a fermentação do meio BSG com *Streptomyces jeddahensis* e *Conidiobolus heterosporus* pode ser utilizada para a produção de BCFAs, enquanto *Pythium ultimum* pode ser utilizado para fornecer uma mistura de ácido graxos (FAs) enriquecida em ácido cis -5,8,11,14,17-eicosapentaenóico (EPA) e Ácido araquidônico (ARA). *Mortierella alpina* e *Mucor circinelloides* cultivadas em meio BSG, produzem quantidades muito elevadas de ácido araquidônico (ARA) e ácido γ -linolênico (GLA). Porém para a produção de ácido cis -4,7,10,13,16,19-docosahexaenóico (DHA) por meio de alguns microrganismos marinhos parece não ser possível quando se utiliza o meio BSG.

O experimento feito por Ferreira *et al* (2021), avaliou o perfil de ácidos graxos (AGs) de diferentes subprodutos agroalimentares, utilizando abordagens cromatográficas e espectrométricas, além de avaliar a sua aplicação para o enriquecimento de matrizes alimentares: para o BSG foram identificados 6 ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) onde apresentou o maior teor de ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs) 59,0%, o linoleato de metila foi o que mais predominou seguido pelos ácidos graxos saturados (SFAs) 29,3%, palmitato de metila e pelos ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) 11,7%, oleato de metila.

Segundo Ferreira *et al* (2021) o BSG é uma excelente fonte de ácidos graxos, que possuem utilização relevante para a indústria alimentícia e são ingredientes alimentares funcionais diretamente associados à redução de colesterol. O BSG se destaca dentre outros subprodutos por ser de alto valor nutricional, com baixo custo e é gerado em grandes quantidades o ano todo. O autor Jackowski *et al* (2020) indica que o BSG possui em sua composição uma variedade de compostos e ao passar pelo processo de extração, obtém-se substâncias com propriedades desejadas desde arabinosídeos, polifenóis, antioxidantes, glicoses e proteínas.

A revisão realizada por Agrawal *et al* (2023) mostra o processo de produção da cerveja e como o BSG é originado, avalia avanços tecnológicos e processos verdes que valorizam o BSG, o aproveitamento de carboidratos e proteínas derivados do BSG para uma diversidade de produtos como etanol, butanol, biometano, xilitol, 2,3-butanodiol BDO,

fertilizantes, enzimas, prebióticos (XOS, ArXOS), alimentos funcionais e suplementos nutricionais. Além disso, relata que a levedura gasta é uma excelente substituta do extrato de levedura comercial durante a fermentação microbiana. O



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

trabalho dá enfoque ao potencial do BSG para o desenvolvimento de biorrefinarias, todavia, indica a necessidade de mais estudos para o desenvolvimento de processos eficientes em termos de custos e sustentáveis.

O experimento realizado por Faria *et al* (2022) investigou as condições de cultivo da levedura *Moesziomyces aphidis* que proporcionam produtividade máxima de xilanase usando BSG como substrato de baixo custo. Os resultados obtidos com o experimento sobre a atividade volumétrica da xilanase produzida por *M. aphidis* PYCC 5535[†] em meio BSG suplementado com CSL/KNO₃ foram iguais ou superiores aos relatados para produtores industriais de xilanase, como os fungos filamentosos *Trichoderma reesei* e *Aspergillus awamori*, em substratos lignocelulósicos. Foi verificado que a eliminação da etapa de pré-tratamento BSG para se produzir xilanase gera economia, eliminando o alto consumo de energia que seria utilizado na etapa de pré-tratamento, o uso de produtos químicos e tempo de reação mais longo.

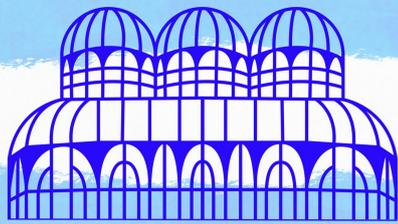
A revisão proposta por Errico *et al* (2023) onde os autores abordam tecnologias de valorização do BSG aplicada a extração sólido-líquido para a recuperação de extratos ricos em antioxidantes resultando em bons rendimentos e melhor extrato de compostos fenólicos, em relação a citotoxicidade 80% dos extratos etanólicos foram considerados seguros até 10 mg mL⁻¹. destaca-se a técnica de extração assistida por microondas (MAE) para a obtenção de polifenóis utilizando solução de NaOH a 0,75% como solvente, o rendimento de ácido ferúlico foi cinco vezes superior quando comparado à técnica convencional de extração por hidrólise alcalina. Os autores destacam que a agitação mecânica e a extração assistida por ultrassom em relação ao conteúdo total de polifenóis e cinética de extração usando água como solvente, quando comparados ao MAE a extração foi concluída após 20 a 30 minutos, e 24 horas para a agitação mecânica. o autor destaca que além da redução do tempo houve um aumento de 30% no rendimento de extração quando o BSG moído foi considerado. Porém a quantidade de ácido ferúlico obtida através do MAE resultou em rendimentos menores do que usando métodos baseados em hidrólise ácida, alcalina e enzimática. A técnica de extração com fluido supercrítico (SFE) está totalmente ligada a processos verdes pelo tempo de processamento reduzido, redução de consumo de solvente e energia foi observado melhores resultados para o BSG moído, com o maior rendimento medido na temperatura mais baixa e na pressão mais alta.

No experimento realizado por Sganzerla *et al* (2022) foi investigado a recuperação de açúcares e aminoácidos de BSG usando hidrólise subcrítica da água (SWH) em um único e dois reatores sequenciais de fluxo para recuperar açúcares e aminoácidos. Como resultado a utilização de um único reator gerou a maior liberação de monossacarídeos a 180°C obtendo (47,76 mg g⁻¹ de carboidratos), com xilose (0,477 mg mL⁻¹) e arabinose (1,039 mg mL⁻¹) sendo os açúcares majoritários e baixos teores de furfural (310,7 µg mL⁻¹), 5-hidroxiacetilfurfural (<1 mg L⁻¹) e ácidos orgânicos (0,343 mg mL⁻¹). Para a recuperação de proteínas do BSG foi utilizado reator único a 180°C obtendo rendimento de 43,62 mg aminoácidos g⁻¹ proteínas, onde triptofano (215,55 µg mL⁻¹), ácido aspártico (123,35 µg mL⁻¹), valina (64,35 µg mL⁻¹), lisina (16,55 µg mL⁻¹) e glicina (16,1 µg mL⁻¹) foram os aminoácidos majoritários recuperados no hidrolisado. A utilização de dois reatores para a hidrólise de biomassa é uma técnica nova, devem ser realizados mais estudos para se obter um aumento de rendimento, a hidrólise subcrítica da água com um único reator é uma técnica viável para a recuperação de açúcares e aminoácidos, além de ser sustentável.

O BSG é fonte de vitaminas, fibras e minerais com diversas aplicabilidades como na produção de cerveja, produção de farinha, massa, pão, biscoitos, lanches, frankfurters e produtos ricos em fibras e produtos ricos em proteínas, porém apresenta aspectos negativos quanto a sua aplicação aos lanches, o BSG possui grande quantidade de fibras e proteínas, porém a presença de fibras insolúveis em água-lignina e celulose aumenta a dureza dos lanches, afetando a qualidade do sabor, mas que pode ser mitigado adicionando amido de milho e proteína isolada de soro de leite (Jackowski *et al*, 2020).

Para Baiano *et al* (2023), o experimento para investigar a viabilidade do uso de BSGs como ingredientes funcionais na panificação identificou que ao substituir de forma parcial a farinha de trigo por BSG resultou em aumentos consideráveis no conteúdo fenólico e nas fibras dietéticas insolúveis e solúveis dos pães enriquecidos em relação ao pão controle, destacando a natureza nutracêutica e funcional dos BSGs e dos pães enriquecidos com BSG. Os autores destacam a importância de transformar as cervejarias em biorrefinarias capazes de transformar o BSG em ingredientes de alto valor e baixa perecibilidade para indústrias de alimentos e rações.

O BSG pode ser utilizado como aditivo alimentar na nutrição animal, estudos são bem-sucedidos para bovinos, suínos, peixes e aves (Jackowski *et al*, 2020). Fernandes *et al* (2021) testou a eficácia de um extrato rico em carboidratos produzido a partir da fermentação em estado sólido de BSG para aumentar a digestibilidade de uma dieta vegetal para robalo europeu. Os resultados dos ensaios de digestibilidade in vivo foram compatíveis com os ensaios in vitro, resultando que a suplementação com extrato de SSF-BSG a 0,4% trouxe um aumento na digestibilidade da matéria seca, energia, amido, celulose e glucanos, tornando viável a produção de um suplemento enzimático, além disso o BSG pode ser usado como substrato para a produção de enzimas de fungos filamentosos, porém o experimento obteve alguns aspectos negativos, pois as enzimas endógenas dos peixes reduzem a eficiência do extrato SSF-BSG cerca de 7% a 16%.



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

No experimento feito por Allegretti *et al*, (2022), a lignina BSG_r obtida a partir do processo de fracionamento eutético foi testada como redutor de água em pasta de cimento com resultados comparáveis aos da lignina soda comercial técnica, indicando que pode constituir uma boa base para o desenvolvimento de redutores de água para cimento um componente importante para a produção de concreto.

Outros estudos apontam que o BSG pode ser incorporado na produção de materiais de construção, Jackowski *et al*, 2020 citam estudos, que por exemplo, abordam o reforço de espuma de poliuretano com BSG e borracha de pneu moído, é possível também utilizar adição de 5, 10 e 15% de BSG seco à matéria-prima do tijolo cerâmico. Os resultados revisados mostraram que o BSG pode substituir a serragem utilizada na indústria de tijolos, com resistência semelhante ou até superior, maior porosidade e densidade reduzida após a queima quando comparado aos tijolos de argila convencionais (Jackowski *et al*, 2020).

No experimento realizado por Osman *et al* (2019), o BSG foi usado para a produção de carvão ativado (AC) através de duas etapas diferentes de ativação. O primeiro método de ativação utilizou o ácido fosfórico (H_3PO_4), produzindo um carvão ativado poroso (BAC-P). Este, passou por um tratamento com um novo método utilizando hidróxido de potássio (KOH) como agente ativador (BAC-K), Foi verificado que o tratamento BAC-K foi o melhor e mais adequado, capaz de remover de forma rápida metais pesados no tratamento de águas residuais ou em aplicações alternativas de adsorção. Jackowski *et al* (2020) destaca em sua revisão que a produção de carvão ativado por ativação térmica, o BSG apresenta um teor relativamente alto de nitrogênio impactando positivamente nas propriedades de adsorção do carvão ativado produzido, além disso o carvão ativado produzido pode ter propriedades de adsorção semelhantes ou até melhores de íons como por exemplo: Cr ou Fe e compostos fenólicos do que os carvões ativados comerciais (Jackowski *et al*, 2020).

De acordo com Assandri *et al* (2021), a presente revisão traz a compostagem como alternativa ao subproduto gerado na produção de cerveja, e, devido a sua caracterização química, não se recomenda a aplicação do BSG na compostagem direta. Recomenda-se a adição de agentes de volume ao BSG como palha de trigo, aparas de madeira ou serragem que auxiliam na redução do teor de umidade durante a compostagem. Os aspectos negativos referentes a aplicabilidade dada ao BSG no processo de compostagem direta é a relação C/N, pH e teor de umidade do BSG que são descritos na literatura e variam de 7,1 a 26,5, de 3,8 a 6,9 e de 70,6% a 81,3% de forma respectiva, esses são os principais parâmetros que afetam o processo de compostagem, a relação C/N identificada para o BSG na literatura pode ser muito inferior à melhor faixa alvo de compostagem (20–30). O pH ideal para a estabilização aeróbica do composto varia de 5,5 a 7,5, o pH relatado na literatura é mais ácido. O teor médio de umidade descrito na literatura para BSG é superior à umidade recomendada para compostagem, variando de 60% a 65%.

Importante lembrar que o BSG é rico em nutrientes e pode ser aplicado em culturas diversas, e é comparável ao NPK: estudos demonstram o efeito da aplicação de BSG, que pode exercer um papel de fertilizante, sua aplicação pode melhorar o teor de matéria orgânica no solo, tornando-se uma importante matéria-prima para produção de biochar (Jackowski *et al*, 2020).

Assandri *et al* (2021) visou identificar, para cada mistura de BSG considerada, os autores realizaram o experimento com duas misturas de compostagem diferentes, as misturas eram compostas por palha de trigo e fração sólida do dejetos líquido de suínos e palha de trigo com esterco ovino para a co-compostagem de BSG. Todas as misturas de compostagem investigadas atingiram um grau aceitável de maturação ao final do processo para as duas estratégias de compostagem investigadas, tanto o revolvimento manual quanto a compostagem estática não afetaram a qualidade final do composto. Porém o alto teor de umidade do BSG é um dos maiores desafios para o processo de compostagem, recomenda-se de forma obrigatória a adição de agentes de volume como a palha de trigo para diminuir o teor de umidade, além disso é fundamental a adição de esterco animal para que o melhor desenvolvimento do processo de compostagem, para o experimento os elevados valores de pH e baixos valores de Índice de Germinação (IG), o esterco de ovino mostrou-se menos eficaz do que a fração sólida do dejetos de suínos, o autor sugere que seja devido ao pisoteio excessivo e à troca lenta da cama (Assandri *et al*, 2021).

O segundo experimento realizado por Assandri *et al* (2023) com alface americana (*Lactuca sativa L.*) em vaso para avaliar os efeitos do composto e do composto peletizado derivados de BSG ambos enriquecidos com um consórcio microbiano composto por bactérias incluindo bactérias do ácido láctico (LAB) e actinomicetos, fungos e leveduras.

Mesmo com a curta duração do ciclo da cultura (47 dias) o equilíbrio entre os fertilizantes orgânicos e as PGPR (rizobactérias promotoras de crescimento de plantas) mostrou efeitos positivos no crescimento, produtividade e características de qualidade das plantas de alface. o estudo concluiu que tantos compostos BSG, quanto os compostos enriquecidos tiveram desempenho semelhante em parâmetros qualitativos, e ainda melhor quando o bioinóculo estava presente em decorrência do aumento do crescimento de microorganismos benéficos, justificando o uso de compostos BSG na agricultura.

Costa da. *et al* (2023), ao realizarem revisão referente a biodigestão e compostagem indicam que o BSG é utilizado como substrato para compostagem direta, além de sua utilização como fertilizante e na vermicompostagem, verificaram



que o BSG pode ser utilizado como substrato para a digestão anaeróbica ou biodigestão, porém existem aspectos negativos no que se refere a sua dificuldade na fase de hidrólise por ser um material lignocelulósico dificultando o processo de degradação, tendo necessidade de pré-tratamentos físicos/mecânicos, químicos e enzimáticos. Estudos levantados por Jackowski *et al* (2020) indicam que o BSG é meio de produção de biometano. É importante destacar que o processo de digestão anaeróbica pode ser melhorado pela adição de microelementos, a suplementação feita com Mg, Co, K e menores quantidades de Ni e Fe traz um aumento na estabilidade na produção de metano (Jackowski *et al*, 2020).

Outra potencialidade do BSG, é que este pode ser reaproveitado na produção de embalagens biodegradáveis: as bandejas podem ser feitas de BSG e amido através da técnica de prensagem a quente, e, comparado as bandejas de poliestireno expandido, os resultados do estudo são que as amostras preparadas com teor de BSG de 40 a 80% possuem maior resistência à flexão do que as não biodegradáveis (Jackowski *et al*, 2020).

O experimento realizado por Rossi *et al* (2023) o BSG foi utilizado para a produção de painéis aglomerados, tornando-se uma alternativa sustentável como fonte única de material lignocelulósico e adesivo para a produção de painéis aglomerados, livre de compostos voláteis e tóxicos. embora o BSG apresente baixo teor de celulose que influi na sua rigidez, as placas obtidas podem ser aplicadas como painéis de revestimento interiores ou para tetos onde não se exige tamanha rigidez. O experimento realizado por Lopo *et al* (2021) sugere a valorização para recuperar polihidroxialcanoato (bioplásticos) através do uso de BSG como matéria-prima sustentável, os resultados são positivos o BSG apresenta potencial como matéria prima para a produção de PHAs, apesar de os pré-tratamentos térmico-ácido e térmico-alcalino liberarem níveis significativos de açúcares redutores, foram acompanhados pela geração de compostos inibitórios como o furfural e fenóis que possivelmente limitaram a produção de poli-3-hidroxitirato (P3HB), foi verificado que o maior acúmulo de P3HB com *B. cepacia* foi obtido sem pré-tratamento.

O experimento realizado por Carvalheira *et al* (2022), avalia a utilização de BSG para a produção de polihidroxialcanoatos (bioplásticos), a produção de PHA ocorre através da utilização de culturas microbianas mistas (MMC) foi realizada com sucesso, porém o aumento gradual da taxa de carga orgânica (OLR) afetou apenas ligeiramente o desempenho do reator descontínuo de sequenciação de volume de trabalho (SBR) permitindo o enriquecimento de culturas microbianas mistas (MMC) em organismos armazenadores de PHA. A pressão seletiva, induzida pela taxa de carga orgânica influenciou a composição do microbioma, é importante dar destaque que no OLR mais elevado, os membros do gênero *Meganema* dominaram o microbioma de biomassa, mas outros microrganismos como *Carnobacterium*, *Leucobacter* e *Paracoccus* também estavam presentes.

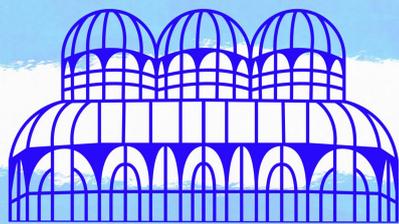
O BSG apresenta potencial para diversas aplicabilidades, destaca-se sua aplicação para alimentação animal e compostagem, ao ler os 19 artigos na íntegra foi verificado que 5 artigos destacam a relevância do BSG utilizado na compostagem, seguido por 2 artigos falando sobre o uso de BSG como aditivo na alimentação animal, essa revisão contempla a necessidade de mais estudos para que se obtenham resultados ainda melhores.

CONCLUSÃO

A presente revisão mostrou que existem muitas pesquisas voltadas à valorização do subproduto BSG obtido através do processo de produção cervejeira. Por possuir uma composição riquíssima e de alto valor, o subproduto pode ser reaproveitado de diversas formas. As possibilidades viabilizam a aplicação dos princípios de economia circular, e reaproveitamento correto e sustentável do BSG. Apontamos, que no contexto de ruralidade, o BSG é um excelente aditivo para alimentação animal, principalmente para peixes, aves, bovinos e suínos, conforme a literatura. Em relação a compostagem a literatura indica a adição de agentes de volume como palha de trigo, aparas de madeira ou serragem para diminuir o teor de umidade, além disso recomenda-se a adição do esterco animal para que o processo de compostagem ocorra da melhor forma. BSG também é comparável ao NPK, e pode exercer um papel de fertilizante e projetos socioambientais voltados a pequenos produtores rurais no Brasil, com potencial geração de impactos positivos para o ambiente, economia e o fortalecimento da agricultura familiar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLEGRETTI, C. *et al*. **Towards a Complete Exploitation of Brewers' Spent Grain from a Circular Economy Perspective**. Fermentation 2022.
2. ASSANDRI, D. *et al*. **Suitability of Composting Process for the Disposal and Valorization of Brewer's Spent Grain**. Agriculture 2021.
3. ASSANDRI, D. *et al*. **Co-Composting of Brewers' Spent Grain with Animal Manures and Wheat Straw: Influence of Two Composting Strategies on Compost Quality**. Agronomy 2021.
4. AGRAWAL, D. *et al*. **Recycling potential of brewer's spent grains for circular biorefineries**. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**. Volume 40, 2023.
5. ASSANDRI, D. *et al*. **Enhancing Fertilizer Effect of Bioprocessed Brewers' Spent Grain by Microbial Consortium Addition**. Agronomy 2023.



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

6. ABRACERVA. **Definição de Cervejaria Artesanal, 2023.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/cerveja/2023/4a-re-30-01-2023/definicao-de-cervejaria-artesanal.pdf>. 20 fev 2024.
7. BAIANO, A. *et al.* **Functional Bread Produced in a Circular Economy Perspective: The Use of Brewers' Spent Grain.** *Foods* 2023.
8. BARTH-HASS. **Barth Report 2022/2023 Thriving together in an ever-changing world.** Germain Hansmaennel, 2023. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/resources/barthhaas-report/download-report>. Acesso em: Acesso em: 02 março de 2024.
9. CARVALHEIRA, M. *et al.* **Valorization of Brewery Waste through Polyhydroxyalkanoates Production Supported by a Metabolic Specialized Microbiome.** *Life* 2022.
10. COSTA da. *et al.* **Technological and Scientific Prospecting – Brewers' Spent Grains Conversion Bioprocesses with Emphasis on Composting and Biodigestion.** *Revista Virtual de Química.* 2023.
11. ERRICO, M. *et al.* **Brewer's Spent Grain, Coffee Grounds, Burdock, and Willow—Four Examples of Biowaste and Biomass Valorization through Advanced Green Extraction Technologies.** *Foods*, 2023.
12. FERREIRA, R. *et al.* **Evaluation of Fatty Acids Profile as a Useful Tool towards Valorization of By-Products of Agri-Food Industry.** *Foods* 2021.
13. FÁRIA, N.T. *et al.* **High cellulase-free xylanases production by *Moesziomyces aphidis* using low-cost carbon and nitrogen sources.** *Journal of Chemical Technology and Biotechnology.* 2022.
14. FERNANDES, H. *et al.* **Solid-state fermented brewer's spent grain enzymatic extract increases in vitro and in vivo feed digestibility in European seabass.** *Scientific Reports (Nature Publisher Group), London*, v. 11, n. 1 2021.
15. IDOWU, I.A. *et al.* **Energy recovery from brewery spent grains and spent coffee grounds: a circular economy approach to waste valorization.** *Biofuels*, Volume 14, 2023. Taylor & Francis Online.
16. JACKOWSKI, M. *et al.* **Brewer's Spent Grains-Valuable Beer Industry By-Product.** *Biomolecules* 2020.
17. LOPO, C.C. *et al.* **Brewer's spent grain as a no-cost substrate for polyhydroxyalkanoates production: Assessment of pretreatment strategies and different bacterial strains.** *New Biotechnology.* volume 62, 2021.
18. LYNCH, K.M.; STEFFEN, E. J.; ARENDT, E. K. **Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health.** *Journal of The Institute of Brewing*, Volume 122, 2016.
19. MASSARDI, M.; MASSINI, R.M.M.; SILVA, D.J. **Chemical characterization of brewer's spent grains and evaluation of its potential for obtaining value-added products.** *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Vol. 06, 2020.
20. MARCUSSO, E. F. **As microcervejarias no Brasil atual.** 2015. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental)-Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba-SP, 2015.
21. MOURÃO, C. L de O. **Planejamento estratégico em uma pequena cervejaria artesanal.** 2017. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 2017.
22. MUSSATO, S.I. **Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Volume 94, 2014.
23. OHDE, Carlos. *et al.* **Economia circular: um modelo que dá impulso à economia, gera empregos e protege o meio ambiente.** São Paulo: Netpress Books, 2018. *E-book*.
24. OSMAN, A. I. *et al.* **Upcycling brewer's spent grain waste into activated carbon and carbon nanotubes via two-stage activation for energy and other applications.** *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2019.
25. OLAJIRE, A. A. **The brewing industry and environmental challenges** *The brewing industry and environmental challenges.* *Journal of Cleaner Production*, Vol. 256, 2020.
26. RODRIGUES, R.P. **Economia Circular- Estratégias.** Amazon, 2023. *E-book*.
27. ROSSI, L. *et al.* **Sustainable Particleboards Based on Brewer's Spent Grains.** *Polymers*, 2024.
28. SERRA, S. *et al.* **Microbial Fermentation of the Water-Soluble Fraction of Brewers' Spent Grain for the Production of High-Value Fatty Acids.** *Fermentation* 2023.
29. SGANZERLA, W.G. *et al.* **Recovery of sugars and amino acids from brewers' spent grains using subcritical water hydrolysis in a single and two sequential semi-continuous flow-through reactors.** *Food Research International.* volume 157, 2022.