



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL NOS TRÓPICOS

**IMPACTO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FARINHAS ROXAS NO
PROCESSO FERMENTATIVO DE IOGURTE DE LEITE DE CABRA**

NATHÁLIA BRIZACK MONTEIRO

Médica Veterinária

Salvador – BA

2024

NATHÁLIA BRIZACK MONTEIRO

**IMPACTO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FARINHAS ROXAS NO
PROCESSO FERMENTATIVO DE IOGURTE DE LEITE DE
CABRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal nos Trópicos da Universidade Federal da Bahia como requisito final para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal nos Trópicos.

Area de concentração: Biotecnologia de Processos e Produtos

Orientadora: Profa. Dra. Marion Pereira da Costa

Co-orientador: Dr. Iuri Lima dos Santos Rosário

Salvador – BA

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Monteiro, Nathália Brizack
IMPACTO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FARINHAS ROXAS NO
PROCESSO FERMENTATIVO DE IOGURTE DE LEITE DE CABRA /
Nathália Brizack Monteiro. -- Salvador, 2024.
61 f. : il

Orientador: Marion Pereira da Costa.
Coorientador: Iuri Lima dos Santos Rosario.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal nos Trópicos) -- Universidade Federal
da Bahia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia,
2024.

1. Fermentação láctica. 2. Curva de crescimento
bacteriano. 3. Viscosidade aparente. 4. Farinhas
roxas. 5. Resíduos agroindustriais. I. Costa, Marion
Pereira da. II. Rosario, Iuri Lima dos Santos . III.
Título.

Impacto da suplementação de farinhas roxas no processo fermentativo de iogurte de leite de cabra

NATHÁLIA BRIZACK MONTEIRO

Dissertação defendida e aprovada para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal nos Trópicos

Salvador, 20 de dezembro de 2024

Comissão examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARION PEREIRA DA COSTA**
Data: 20/12/2024 16:51:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Marion Pereira da Costa
Orientadora
UFBA



Dra. Carla Paulo Vieira
UFRJ

Documento assinado digitalmente
 **DENES KAIC ALVES DO ROSARIO**
Data: 20/12/2024 16:35:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Denes Kaic Alves do Rosário
UFES

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS ROBERTO FRANKE**
Data: 20/12/2024 16:39:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Carlos Roberto Franke
UFBA

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Nathalia Brizack Monteiro. Possui Graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal da Bahia (UFBA – 2020). Especialização em Gestão da Qualidade e Higiene e Tecnologia em POA - Ifope Educacional (2023). Tem experiência na área de Medicina Veterinária, com ênfase em Inspeção e Tecnologia de Produtos de Origem Animal e Análises Laboratoriais. Ingressou em 2022.2 no Programa de Pós-Graduação em Ciências Animal dos Trópicos, pela UFBA, sob orientação da Profa. Dra. Marion Pereira da Costa e Co-orientação do Dr. Iuri Lima dos Santos Rosário, desenvolvendo a dissertação intitulada “Impacto da suplementação de farinhas roxas no processo fermentativo de iogurte de leite de cabra”.

*Aos meus pais, irmãos, minha namorada
e a toda minha família que, com muito
carinho e apoio, não mediram esforços
para que eu chegasse até esta etapa de
minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado guiando e iluminando meus passos.

Aos meus pais, Maria Cláudia e Antônio, e aos meus irmãos; Gabriela e Felipe pelo amor incondicional, apoio e carinho.

A minha orientadora, prof^a Marion Pereira da Costa, pelas sugestões que contribuíram grandemente na realização deste projeto, sem isso, nada seria possível, além de ser minha amiga que tenho muita admiração. Ao meu co-orientador Dr. Iuri Lima dos Santos Rosário, por todo suporte, auxílio e suas excelentes contribuições, que puderam somar a este projeto.

Ao Laboratório LaITLácteos, pela estrutura cedida para o desenvolvimento durante toda pesquisa, gostaria de estender meus agradecimentos também aos servidores técnicos Jaqueline e Davino, pelo apoio prestado a mim.

A todos os professores, funcionários e aos colegas do PPGCAT, por todo suporte e o conhecimento compartilhado.

A Capes e ao CNPq pela concessão da bolsa, o que possibilitou a realização do mestrado.

Enfim, a valiosa participação de todos que, direta ou indiretamente, foram de fundamental importância para a realização deste projeto.

Muito obrigada!

RESUMO

MONTEIRO, N. B. **Impacto da suplementação de farinhas roxas no processo fermentativo de iogurte de leite de cabra.** 2024. 61 p. Dissertação (Mestre em Ciência Animal nos Trópicos) Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade Federal da Bahia, 2024.

O iogurte de leite de cabra, em particular, oferece benefícios nutricionais únicos e maior digestibilidade, tornando-o um produto atraente para consumidores que buscam alternativas ao iogurte de leite de vaca. A demanda global por produtos lácteos funcionais tem impulsionado inovações nas formulações de iogurtes, incluindo a incorporação de aditivos à base de plantas para melhorar as propriedades nutricionais e sensoriais. Nesse contexto, este estudo avalia os efeitos da adição de farinhas roxas (açai, beterraba e hibisco) sobre a dinâmica da fermentação, cinética de crescimento de bactérias ácido-láticas (BAL), acidificação, viscosidade aparente e aceitação sensorial de iogurtes de leite de cabra. Quatro formulações foram preparadas: um iogurte controle sem farinha (CGY) e iogurtes enriquecidos com farinha de açai (AGY), beterraba (BGY) e hibisco (HGY). Os resultados demonstraram que as farinhas de beterraba e hibisco aumentaram significativamente a concentração máxima de células das BAL, acelerando a eficiência da fermentação e a acidificação. Quanto ao pH, a farinha de açai (AGY), resultou em pH mais básico ou igual ao controle. Entretanto, à estabilidade propiciou um iogurte igual ao controle para a maior parte do período de fermentação, finalizando um produto menos viscoso do que o controle. Já o HGY apresentou o menor pH ($4,53 \pm 0,07$) e o BGY exibiu a maior viscosidade aparente ($187,23 \pm 2,96$ mPa·s), indicando processos de fermentação aprimorados e propriedades texturais melhoradas. Através das curvas de crescimento, observou-se um crescimento substancial das BAL em todos os tratamentos analisados. Considerando a contagem microbiana, o AGY foi menor do que a proporção do controle no produto final. Sendo assim, a farinha de açai (AGY) não foi adequada para melhorar a qualidade microbiana e física do iogurte em comparação ao controle. As diferenças entre os tratamentos indicam que, ao utilizar essas farinhas, é possível ajustar tanto a acidez quanto a textura do iogurte conforme as preferências de formulação, onde o hibisco contribui mais para a acidez, a beterraba para a textura mais firme, enquanto o açai piorou os parâmetros microbianos e reológicos no iogurte final. A avaliação sensorial destacou a aceitação do iogurte com farinha de açai devido ao seu sabor equilibrado e apelo visual, enquanto os iogurtes com farinha de beterraba e hibisco ofereceram melhorias superiores em textura. Esses achados sugerem que farinhas vegetais roxas, particularmente beterraba e hibisco, podem servir como ingredientes funcionais em iogurtes de leite de cabra, melhorando o crescimento microbiano, a acidificação e a textura, ao mesmo tempo que oferecem oportunidades inovadoras para atender à demanda dos consumidores por produtos lácteos funcionais.

Palavras-chave: Fermentação láctica; Curva de crescimento bacteriano; Viscosidade aparente; Farinha de açai; Farinha de beterraba; Farinha de hibisco.

ABSTRACT

MONTEIRO, N. B. **Impact of purple flours supplementation on the fermentation of goat milk yogurt.** 2024. 61 p. MSc Thesis (Mestre em Ciência Animal nos Trópicos) Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade Federal da Bahia, 2024.

Goat milk yogurt, in particular, offers unique nutritional benefits and greater digestibility, making it an attractive product for consumers seeking alternatives to cow milk yogurt. The global demand for functional dairy products has driven innovations in yogurt formulations, including the incorporation of plant-based additives to enhance nutritional and sensory properties. In this context, this study evaluates the effects of adding purple flours (açai, beetroot, and hibiscus) on the fermentation dynamics, growth kinetics of lactic acid bacteria (LAB), acidification, apparent viscosity, and sensory acceptance of goat milk yogurts. Four formulations were prepared: a control yogurt without flour (CGY) and yogurts enriched with açai flour (AGY), beetroot flour (BGY), and hibiscus flour (HGY). The results demonstrated that beetroot and hibiscus flours significantly increased the maximum cell concentration of LAB, accelerating fermentation efficiency and acidification. Regarding pH, açai flour (AGY) resulted in a more basic pH or one equal to the control. However, its stability provided a yogurt comparable to the control for most of the fermentation period, finishing with a less viscous product than the control. Meanwhile, HGY exhibited the lowest pH (4.53 ± 0.07), and BGY displayed the highest apparent viscosity (187.23 ± 2.96 mPa·s), indicating improved fermentation processes and enhanced textural properties. Through the growth curves, substantial LAB growth was observed in all treatments analyzed. Considering microbial counts, AGY showed lower values compared to the control in the final product. Thus, açai flour (AGY) was not suitable for improving the microbial and physical quality of the yogurt compared to the control. The differences between treatments indicate that, by using these flours, it is possible to adjust both the acidity and texture of the yogurt according to formulation preferences, where hibiscus contributes more to acidity, beetroot to firmer texture, while açai worsened microbial and rheological parameters in the final yogurt. The sensory evaluation highlighted the acceptance of açai flour yogurt due to its balanced flavor and visual appeal, while beetroot and hibiscus flour yogurts offered superior textural improvements. These findings suggest that purple plant flours, particularly beetroot and hibiscus, can serve as functional ingredients in goat milk yogurts, improving microbial growth, acidification, and texture, while offering innovative opportunities to meet consumer demand for functional dairy products.

Keywords: Lactic fermentation; Bacterial growth curve; Apparent viscosity; Açai flour; Beetroot flour; Hibiscus flour.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Revisão de literatura	
Figura 1– Fluxograma do processo benéfico do consumo de leite de cabra.	17
Figura 2– Farinhas vegetais roxas; Açaí, Beterraba e Hibisco.....	26
Impacto da suplementação de farinha roxa na fermentação do iogurte de leite de cabra	
Figura 1– Modelos primários obtidos por curvas de crescimento de bactérias lácticas em iogurte de leite de cabra com adição de farinha roxa durante a fermentação. (A) CGY; (B) AGY; (C) BGY; (D) HGY.	53
Figura 2– Resumo gráfico.	54

LISTA DE TABELAS

Página

Impacto da suplementação de farinha roxa na fermentação do iogurte de leite de cabra

Tabela 1– Parâmetros primários estimados de crescimento (médias de três repetições independentes \pm DP) de bactérias lácticas durante a fermentação do leite com adição de farinhas roxas.....49

Tabela 2– pH e viscosidade aparente de iogurtes de leite de cabra suplementados com farinhas roxas durante a fermentação.50

Tabela 3– Contagem de bactérias ácido-lácticas, pH, viscosidade aparente e aceitação sensorial de iogurtes de leite de cabra suplementados com farinhas roxas (dia 0).52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 BENEFÍCIOS DO CONSUMO DE LEITE DE CABRA	15
2.1.1 Características nutricionais do leite de cabra	15
2.1.2 Vantagens associadas ao consumo de leite de cabra	16
2.2. PROCESSO FERMENTATIVO DO IOGURTE	18
2.3. ADIÇÃO DE INGREDIENTES BIOATIVOS EM LEITES FERMENTADOS ...	21
2.3.1 Compostos bioativos de plantas e seu impacto na fermentação	21
2.3.2 Efeito de fibras alimentares e antioxidantes em produtos lácteos fermentados. .	23
2.3.3 Farinhas roxas	24
2.3.3.1 <i>Beterraba</i>	24
2.3.3.2 <i>Açaí</i>	25
2.3.3.3 <i>Hibisco</i>	25
2.3.4 Propriedades funcionais de farinhas roxas (açaí, beterraba, hibisco) e impactos no processamento de iogurtes	26
3 HIPÓTESE	28
4 OBJETIVOS	29
3.1 OBJETIVO GERAL	29
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
5 JUSTIFICATIVA	30
6 CAPÍTULO 1: IMPACTO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FARINHA ROXA NA FERMENTAÇÃO E QUALIDADE DO IOGURTE DE LEITE DE CABRA	31
ABSTRACT	32
INTRODUCTION	33
MATERIALS AND METHODS	34
RESULTS	36
DISCUSSION	40
CONCLUSION	45
REFERENCES	46
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	57

INTRODUÇÃO

O iogurte, um alimento lácteo de consumo global, é amplamente valorizado por suas propriedades nutricionais e funcionais, contribuindo para a saúde digestiva e o bem-estar geral. Nos últimos anos, o leite de cabra tem se tornado uma escolha crescente entre os consumidores que buscam alternativas ao leite de vaca, devido à sua melhor digestibilidade e perfil nutricional distinto, que inclui altos teores de ácidos graxos de cadeia curta e média, bem como níveis superiores de cálcio, magnésio e fósforo (Stergiadis *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2022). No entanto, o iogurte de leite de cabra apresenta desafios tecnológicos, como uma textura mais delicada e uma estrutura de gel frágil, fatores que podem comprometer sua aceitação sensorial e, conseqüentemente, sua aceitação pelo consumidor (Costa *et al.*, 2014, 2016).

Considerando que a textura e o sabor são atributos fundamentais para a aceitação do consumidor, estratégias como a substituição parcial da gordura do leite de cabra e a incorporação de agentes aromatizantes e texturizantes têm sido amplamente estudadas (Costa *et al.*, 2016a). A polpa de cupuaçu, por exemplo, que é rica em polissacarídeos, tem mostrado potencial para melhorar a viscosidade, conferir uma textura mais cremosa e proporcionar um sabor mais agradável ao iogurte de leite de cabra (Costa *et al.*, 2015, 2017). Além disso, a crescente demanda por alimentos funcionais impulsiona os pesquisadores a enriquecer o iogurte com ingredientes bioativos, com o intuito de melhorar tanto o perfil nutricional quanto as características sensoriais dos produtos lácteos fermentados (Frag *et al.*, 2022; Hernández *et al.*, 2022).

Nesse contexto, ingredientes de origem vegetal, como fibras alimentares, antioxidantes e polifenóis, têm ganhado destaque devido ao seu potencial em promover benefícios à saúde e otimizar os processos de fermentação (da Costa *et al.*, 2016). Esses aditivos podem atuar como moduladores das propriedades reológicas e sensoriais do iogurte, ao mesmo tempo em que promovem a saúde intestinal e oferecem propriedades prebióticas, estimulando o crescimento de bactérias benéficas, como as bactérias do ácido láctico (BAL). Entre esses aditivos, farinhas de plantas de coloração roxa, ricas em antocianinas — uma classe de polifenóis com reconhecida atividade antioxidante —, surgem como opções promissoras. As antocianinas não só conferem cor vibrante aos produtos, mas também apresentam propriedades anti-inflamatórias, anti-obesidade e

prebióticas, sendo capazes de fortalecer a saúde intestinal por meio da estimulação de bactérias benéficas (Ariyanto *et al.*, 2023; Gonzali & Perata, 2020).

Farinhas roxas como a de açaí, beterraba e hibisco, ricas em antocianinas, têm sido alvo de investigações devido à sua capacidade de melhorar as propriedades funcionais e sensoriais de produtos lácteos fermentados (Badia-Olmos *et al.*, 2024; Salgado *et al.*, 2023). Além de seu potencial antioxidante, essas farinhas podem influenciar positivamente a fermentação ao interagir com as BAL, particularmente cepas de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, que desempenham um papel essencial na acidificação do leite e formação do gel durante a produção de iogurte (Pereira Da Costa & Conte-Junior, 2015). A acidificação eficiente, resultante da conversão da lactose em ácido láctico, não só confere ao iogurte sua textura e sabor característicos, como também prolonga sua vida útil (Ferreira *et al.*, 2019; Kumral, 2015).

Ademais, a adição de farinhas roxas, ricas em fibras e polissacarídeos, pode atuar na melhoria das propriedades texturais do iogurte. A viscosidade aparente, que está diretamente associada à sensação de cremosidade do produto, pode ser aumentada pela presença de componentes que interagem com as proteínas do leite, reforçando a estrutura do gel formado durante a fermentação (Saha & Bhattacharya, 2010). Essas interações podem resultar em iogurtes com textura mais espessa e consistente, qualidades que são amplamente preferidas pelos consumidores. Portanto, o objetivo desta dissertação é investigar os efeitos da adição de farinhas de açaí, beterraba e hibisco sobre o processo fermentativo do iogurte de leite de cabra, com foco na cinética de crescimento das bactérias do ácido láctico, pH e viscosidade aparente. Ao explorar as características de fermentação e as propriedades reológicas de iogurtes enriquecidos com farinhas ricas em antocianinas, este estudo visa contribuir para o desenvolvimento de novos produtos lácteos funcionais, que não apenas atendam às expectativas sensoriais dos consumidores, mas também ofereçam benefícios à saúde aprimorados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. BENEFÍCIOS DO CONSUMO DE LEITE DE CABRA

2.1.1 Características nutricionais do leite de cabra

De acordo com a legislação brasileira, o leite de cabra é definido como o produto proveniente da ordenha completa e ininterrupta de cabras sadias, alimentadas de forma adequada e descansadas, realizado sob condições rigorosas de higiene (Brasil, 2000). Esse leite apresenta alto valor nutritivo e características dietéticas de qualidade, sendo composto por uma gama de nutrientes essenciais, como carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais. Com uma composição particularmente rica, o leite de cabra tem grande importância para a nutrição humana, destacando-se por suas propriedades únicas em comparação ao leite bovino (Thakur *et al.*, 2024).

A proteína do leite caprino é de alto valor biológico, fornecendo uma ampla gama de aminoácidos essenciais, incluindo teores superiores de treonina, isoleucina, lisina, cisteína, tirosina e valina quando comparados ao leite de vaca (Ceballos *et al.*, 2009; Haenlein, 2004; Park *et al.*, 2007). Adicionalmente, a micela de caseína do leite de cabra possui características distintas: é menor em diâmetro, menos hidratada e mais rica em cálcio e fósforo inorgânico, o que influencia sua estabilidade térmica e solubilidade (Park *et al.*, 2007). Esses aspectos são influenciados por polimorfismos genéticos nas frações $\alpha 1$ -, $\alpha 2$ -, β - e κ -caseína. A composição proteica diferenciada, especialmente a baixa concentração de α -S1-caseína, confere ao leite de cabra um potencial hipoalergênico, tornando-o uma alternativa viável para pessoas com intolerância ou alergias ao leite bovino (Albenzio & Santillo, 2011; Park, 1994).

Em termos de composição lipídica, o leite de cabra é uma fonte importante de ácidos graxos essenciais e possui concentrações superiores de ácidos graxos monoinsaturados, poliinsaturados e triglicérides de cadeia média quando comparado ao leite de vaca. Esses componentes lipídicos têm sido amplamente reconhecidos por seus benefícios à saúde humana, incluindo o controle dos níveis de colesterol e a promoção de saúde cardiovascular (Ceballos *et al.*, 2009; Haenlein, 2004; Park *et al.*, 2007). Além disso, o sabor e o aroma característicos do leite de cabra estão diretamente relacionados à presença dos ácidos graxos de cadeia curta e média, como o ácido capríco (C6:0), caprílico (C8:0) e cáprico (C10:0). Esses ácidos graxos são benéficos para a saúde,

especialmente em termos de digestibilidade e absorção de nutrientes (Chilliard *et al.*, 2003).

A cor branca do leite de cabra é atribuída à ausência de β -caroteno, pois as cabras convertem esse pigmento diretamente em vitamina A em seu metabolismo (Park *et al.*, 2007). Isso resulta em uma aparência visual distinta em relação ao leite bovino.

Além disso, o leite caprino é reconhecido por sua alta digestibilidade, sua capacidade tamponante superior e seu efeito hipoalergênico, sendo mais adequado para indivíduos com sensibilidades gastrointestinais e alérgicas (Park, 1994; Park *et al.*, 2007). A maior digestibilidade está relacionada à presença de ácidos graxos de cadeia curta e média, que facilitam a digestão e o esvaziamento gástrico. Já a capacidade tamponante está associada à composição específica das caseínas e à organização dos fosfatos nas micelas de caseína (Albenzio & Santillo, 2011; Albenzio *et al.*, 2012). Vários estudos sugerem que o consumo regular de leite de cabra pode estar associado a uma série de efeitos funcionais, incluindo a manutenção da saúde, a redução do risco de doenças crônicas e melhorias nas funções fisiológicas, consolidando-o como um alimento de alto valor na nutrição humana (ALKaisy *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2023; Thakur *et al.*, 2024).

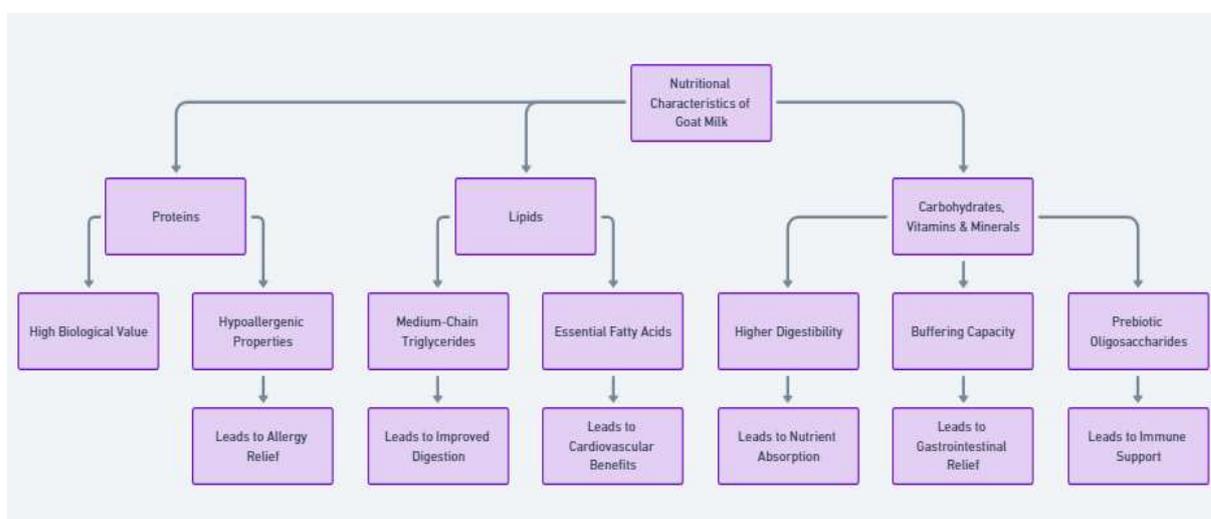
2.1.2 Vantagens associadas ao consumo de leite de cabra

O leite de cabra é amplamente reconhecido por seu elevado valor nutricional, sendo uma fonte rica em nutrientes essenciais, como proteínas de alta qualidade, lipídios e uma ampla gama de minerais (Figura 1). A composição do leite de cabra apresenta vantagens em termos de digestibilidade e biodisponibilidade de nutrientes, particularmente em comparação ao leite bovino. Uma das principais diferenças está na sua composição lipídica, destacando-se a presença significativa de ácidos graxos de cadeia curta e média, como o caproico, caprílico e cáprico, que não só favorecem uma digestão mais rápida e eficiente, mas também têm sido associados a propriedades terapêuticas importantes, especialmente no manejo de desordens gastrointestinais e em alergias alimentares (Haenlein, 2004; Park, 2007). Estes ácidos graxos conferem ao leite de cabra uma capacidade superior de promover o alívio de inflamações intestinais e melhorar a absorção de nutrientes em indivíduos com dificuldades digestivas (Gallier *et al.*, 2020).

O consumo de leite de cabra oferece uma série de vantagens nutricionais e terapêuticas, tornando-o uma escolha recomendada para grupos populacionais

específicos, como crianças, idosos e convalescentes. Uma de suas principais características é a melhor digestibilidade, atribuída ao seu menor teor de lactose e à presença significativa de ácidos graxos de cadeia média, que são rapidamente metabolizados, fornecendo energia de forma mais eficiente e sem sobrecarregar o sistema digestivo. Isso faz do leite de cabra uma excelente opção para pessoas com sensibilidades gastrointestinais ou dificuldades na digestão de outras fontes de laticínios (Moreno-Montoro *et al.*, 2018; Zingone *et al.*, 2017).

Figura 1. Fluxograma do processo de escalonamento dos benefícios do consumo de leite de cabra.



Outro benefício notável do leite de cabra é seu uso no tratamento de alergias alimentares, especialmente em crianças que sofrem de alergia às proteínas do leite de vaca. Devido à sua composição proteica diferenciada, que contém menores quantidades de α S1-caseína, o leite de cabra é menos alergênico. Esse fato torna-o uma alternativa recomendada para indivíduos que sofrem de alergias alimentares moderadas a severas, proporcionando uma fonte segura de proteínas de alto valor biológico (Ballabio *et al.*, 2011; Haenlein, 2004).

Estudos recentes também têm destacado os benefícios imunológicos associados ao consumo de leite de cabra. A presença de oligossacarídeos, compostos bioativos que atuam como prebióticos, promove a proliferação de bactérias benéficas no intestino (Van Leeuwen *et al.*, 2020). Esses prebióticos são fundamentais para a manutenção da saúde gastrointestinal e têm mostrado efeitos protetores contra doenças inflamatórias intestinais (Hsieh *et al.*, 2015). Esses benefícios imunológicos tornam o leite de cabra um alimento

funcional, com aplicações no fortalecimento do sistema imunológico e na prevenção de distúrbios intestinais.

A composição lipídica do leite de cabra, rica em ácidos graxos monoinsaturados e polinsaturados, oferece vantagens na prevenção de doenças cardiovasculares. Esses ácidos graxos auxiliam na regulação dos níveis de colesterol, promovendo o aumento do colesterol HDL (o "bom" colesterol) e reduzindo os níveis de LDL (colesterol "ruim"), o que contribui para a saúde do coração e para a prevenção de doenças cardiovasculares (Chilliard *et al.*, 2003; Sampelayo *et al.*, 2007).

2.2. PROCESSO FERMENTATIVO DO IOGURTE

As bactérias ácido lácticas (BAL) desempenham um papel essencial no processo de fermentação do iogurte, sendo responsáveis pela conversão da lactose em ácido láctico, que promove a acidificação do meio e a coagulação das proteínas do leite, resultando na textura característica do produto (Costa & Conte-Junior, 2015). No iogurte, a presença de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* é obrigatória, os quais atuam de forma sinérgica no desenvolvimento deste produto fermentado (Brasil, 2007). A acidificação, ao reduzir o pH do meio, provoca a coagulação das proteínas do leite, principalmente a caseína, o que favorece a formação do gel característico do iogurte. Esse processo é fundamental para a obtenção da textura firme e cremosa típica do iogurte (Chandan, 2017; Nagaoka, 2019).

Além da acidificação, as BAL são conhecidas por sua capacidade de produzir compostos metabólicos importantes, como compostos carbonílicos e exopolissacarídeos (EPS). Esses compostos influenciam diretamente as propriedades reológicas e sensoriais do iogurte, contribuindo para a melhora da viscosidade, corpo e estabilidade do produto. Os EPS, em particular, possuem a capacidade de atuar como agentes estabilizantes naturais, melhorando a textura e reduzindo a sinérese, o que é altamente desejável na produção de iogurtes com suplementos, como as farinhas roxas, que podem alterar a estrutura do gel lácteo (de Souza *et al.*, 2023; Mouro *et al.*, 2024; Sharma *et al.*, 2023).

A produção de compostos aromáticos é outro aspecto crucial da ação das BAL. Durante o processo fermentativo, as BAL metabolizam açúcares, proteínas e lipídios, originando compostos como acetaldeído, diacetil e outros aldeídos e cetonas, que são responsáveis pelo perfil aromático característico do iogurte (Tian *et al.*, 2019, 2020). Entre esses compostos, o acetaldeído é considerado o principal responsável pelo aroma

típico do iogurte, enquanto o diacetil contribui com notas amanteigadas sutis, valorizadas em muitos tipos de iogurte (Costa & Conte-Junior, 2015).

A composição do leite utilizado na fermentação, bem como as condições do processo (temperatura, tempo de fermentação e suplementação), podem influenciar significativamente o perfil metabólico das BAL, alterando o equilíbrio entre a produção de compostos aromáticos e a formação de ácido láctico (Gezginc *et al.*, 2015). No caso de leites de outras espécies, como o leite de cabra, que possui uma composição proteica e lipídica distinta do leite de vaca, o impacto dessas variáveis é ainda mais pronunciado. O leite de cabra, conhecido por sua menor proporção de caseína α S1 e maior concentração de ácidos graxos de cadeia curta, pode resultar em iogurtes com textura mais macia e um sabor mais intenso, influenciando também o comportamento das BAL (Costa *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018).

O *Streptococcus thermophilus* é uma bactéria esférica, Gram-positiva, com crescimento ótimo entre 37-45 °C. Embora seja sensível a pH abaixo de 5,0, essa bactéria desempenha um papel crucial na produção de ácido láctico, o que promove uma rápida acidificação do leite. Além disso, possui baixa capacidade proteolítica, mas alta produção de exopolissacarídeos, o que aumenta a viscosidade do iogurte. Já o *Lactobacillus bulgaricus* é um bastonete Gram-positivo com alta atividade proteolítica, essencial para a hidrólise de proteínas do leite. Sua temperatura ótima de multiplicação é 45°C, embora funcione bem em temperaturas entre 42 e 43°C, que são favoráveis para o crescimento simultâneo de *S. thermophilus*. Além disso, é mais resistente a pH ácido, favorecendo seu crescimento na fase posterior da fermentação (Arioli *et al.*, 2017).

A cinética de crescimento das bactérias ácido-láticas (BAL) durante a fermentação do iogurte é um parâmetro essencial para garantir a qualidade e consistência do produto. Esse processo envolve diversas fases de crescimento das BAL, começando com uma fase inicial de latência, em que as células se adaptam ao novo meio. Em seguida, observa-se um crescimento exponencial, no qual as BAL, principalmente *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (*L. bulgaricus*) e *Streptococcus thermophilus* (*S. thermophilus*), metabolizam a lactose presente no leite, resultando na produção de ácido láctico. Esse ácido, por sua vez, promove uma redução progressiva do pH, que é crucial para a coagulação das proteínas do leite e a formação da estrutura do iogurte (Nagaoka, 2019; Rodríguez *et al.*, 2015).

As cepas de *L. bulgaricus* e *S. thermophilus* desempenham papéis complementares na fermentação do iogurte, com variações significativas em termos de

capacidade de acidificação e produção de compostos voláteis. Esses compostos, como acetaldeído e diacetil, são essenciais para o desenvolvimento das características sensoriais do iogurte, contribuindo para o sabor e o aroma característicos do produto. Em estudos recentes, verificou-se que a produção de ácido láctico atinge seu pico entre 6 e 12 horas de fermentação, com variações na produção de acetaldeído, de 0 a 126,9 mg/kg, dependendo da cepa utilizada e das condições de fermentação (Bai *et al.*, 2024; Dan *et al.*, 2023). Isso destaca a importância da seleção cuidadosa das cepas no desenvolvimento de um iogurte com perfis sensoriais adequados.

A interação entre *S. thermophilus* e *L. bulgaricus* é descrita como protocooperação, uma forma de mutualismo em que ambos os organismos se beneficiam da presença um do outro. Esse processo é dividido em duas fases principais: 1) Primeira Fase Exponencial: Inicialmente, o *S. thermophilus* cresce rapidamente, consumindo oxigênio e produzindo ácido láctico e dióxido de carbono, o que cria condições favoráveis para o *L. bulgaricus*. Nessa fase, o *S. thermophilus* também libera aminoácidos e oligoelementos que estimulam o crescimento posterior do *L. bulgaricus*; 2) Segunda Fase Exponencial: Após a adaptação inicial, o *L. bulgaricus* começa a crescer utilizando os metabólitos produzidos pelo *S. thermophilus*. A proteólise e a produção de peptídeos e aminoácidos promovem o crescimento adicional de *S. thermophilus*, enquanto o *L. bulgaricus* contribui para o aroma e o sabor do iogurte por meio da formação de acetaldeído (Qiu *et al.*, 2023).

A cinética de fermentação do iogurte é afetada por múltiplos fatores, incluindo a concentração inicial de BAL, a temperatura de incubação e, notavelmente, a composição do leite. O leite de cabra, por exemplo, possui uma composição proteica diferenciada em comparação ao leite de vaca, com menores quantidades de caseína α_1 , o que resulta em uma textura mais suave e menos estável no iogurte. Isso implica a necessidade de ajustes no processo fermentativo, como a adição de agentes estabilizantes ou a inclusão de farinhas roxas ricas em compostos bioativos, como antocianinas, que podem contribuir para a estabilidade e a funcionalidade do produto.

A fermentação láctica realizada por BAL, especialmente *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, desempenha um papel central não apenas na coagulação do leite, mas também na formação das características sensoriais e de textura dos iogurtes. Esses microrganismos metabolizam a lactose presente no leite, gerando ácido láctico, o qual tem efeito direto sobre o pH do produto final. A redução do pH é crucial para inibir o crescimento de microrganismos patogênicos e

deteriorantes, promovendo assim a conservação do iogurte. Esse efeito conservante se torna particularmente relevante em iogurtes de leite de cabra, que possuem uma composição lipídica e proteica distinta do leite de vaca, o que pode influenciar a velocidade e a eficiência do processo fermentativo (Arioli *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019).

Além da conservação, a produção de exopolissacarídeos (EPS) por certas cepas de BAL contribui significativamente para as propriedades reológicas do iogurte. Esses polímeros são responsáveis por melhorar a viscosidade e a cremosidade, bem como por aumentar a capacidade de retenção de água no gel formado, o que resulta em uma diminuição da sinérese, o fenômeno de separação de soro comumente observado durante o armazenamento (Oleksy & Klewicka, 2016). Cepas como *Lactiplantibacillus plantarum* e *Lacticaseibacillus rhamnosus*, conhecidas por sua elevada capacidade de produção de EPS, têm sido cada vez mais exploradas em estudos envolvendo a suplementação de matrizes alimentares com ingredientes funcionais, como farinhas ricas em compostos bioativos, o que pode influenciar positivamente as características finais do iogurte (Bouzaiene *et al.*, 2024; Gómez-Mejia *et al.*, 2024; Tarique *et al.*, 2023).

A composição aromática do iogurte também é fortemente modulada pelo metabolismo das BAL. Compostos como acetaldeído, diacetil e acetona são produtos do catabolismo de aminoácidos e carboidratos, sendo diretamente influenciados pelas condições de fermentação, tais como temperatura, tempo e a própria composição do leite. Por exemplo, o acetaldeído é o principal responsável pelo aroma típico do iogurte, enquanto o diacetil confere notas amanteigadas ao produto (Tian *et al.*, 2024). Outro aspecto importante do processo fermentativo é a pós-acidificação, que pode ocorrer durante o armazenamento refrigerado do iogurte. Esse fenômeno, caracterizado pela produção contínua de ácido lático pelas BAL após o término da fermentação, pode resultar em uma acidez excessiva e em uma alteração indesejada na textura do iogurte, tornando-o mais firme e menos palatável. Estudos recentes indicam que esse efeito pode ser exacerbado pela escolha de cepas fermentativas com alta atividade metabólica ou pela ausência de reguladores adequados no processo de fabricação. O desenvolvimento de estratégias para controlar a pós-acidificação, como a seleção de cepas geneticamente modificadas ou o ajuste dos parâmetros de fermentação e estocagem, tem sido um foco crescente de pesquisa, visando a melhoria da estabilidade sensorial dos iogurtes ao longo de sua vida útil (Guan *et al.*, 2024).

2.3. ADIÇÃO DE INGREDIENTES BIOATIVOS EM LEITES FERMENTADOS

2.3.1 Compostos bioativos de plantas e seu impacto na fermentação

Compostos bioativos são substâncias presentes em plantas que possuem comprovada atividade biológica, contribuindo para a promoção da saúde humana. Entre os compostos mais estudados nesse contexto estão os polifenóis, flavonoides e outros metabólitos secundários, cujas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas têm sido amplamente reconhecidas (Shen *et al.*, 2022). Em produtos fermentados, a presença desses compostos não apenas enriquece o perfil nutricional e funcional dos alimentos, mas também exerce um papel fundamental na modulação do processo fermentativo, devido à sua capacidade de interagir diretamente com os microrganismos envolvidos na fermentação (Annunziata *et al.*, 2020).

No caso de iogurtes de leite de cabra suplementados com farinhas roxas — como as derivadas de frutas ricas em antocianinas, como o açaí e a jabuticaba —, esses compostos bioativos desempenham um papel crítico. Estudos demonstram que polifenóis presentes nas farinhas ou até mesmo polpa de frutas, como o cupuaçu, podem influenciar diretamente o crescimento das bactérias ácido-lácticas, microrganismos chave no processo fermentativo de iogurtes, modulando tanto a cinética do crescimento bacteriano quanto a produção de metabólitos. Esse impacto se reflete na melhoria das características sensoriais do produto, como sabor, textura e cor, além de potencializar os benefícios à saúde, como aumento da atividade antioxidante (Costa *et al.*, 2015; 2017; 2022; Muñoz-Teba *et al.*, 2024).

A fermentação de ingredientes vegetais ricos em compostos bioativos, pode, de fato, potencializar a liberação e transformação de compostos antioxidantes, como os ácidos fenólicos e antocianinas, por meio da ação enzimática dos microrganismos. Esse processo biológico promove não só a quebra de moléculas complexas, aumentando a concentração de compostos de interesse, como também melhora a biodisponibilidade desses bioativos, tornando-os mais facilmente absorvíveis pelo organismo. Estudos recentes sugerem que essa melhoria na biodisponibilidade é acompanhada de um aumento na eficácia dos compostos no combate ao estresse oxidativo e na redução da inflamação, beneficiando diretamente a saúde dos consumidores (Ye *et al.*, 2022; Yuliana *et al.*, 2023)

A adição de farinhas roxas, ricas em antocianinas e outros compostos fenólicos, no iogurte de leite de cabra também pode influenciar a produção de metabólitos durante a fermentação, como ácidos orgânicos e exopolissacarídeos, o que pode melhorar tanto a textura quanto o tempo de vida útil do produto. Além disso, o aumento na concentração de antocianinas pode agregar um valor funcional significativo ao produto final, tornando-o uma alternativa atraente para consumidores em busca de alimentos saudáveis e com propriedades preventivas em relação a doenças crônicas, como diabetes e doenças cardiovasculares (Ariyanto *et al.*, 2023; Ketaren *et al.*, 2024; Suwannaphan, 2022).

2.3.2 Efeito de fibras alimentares e antioxidantes em produtos lácteos fermentados

As fibras alimentares e os antioxidantes presentes em ingredientes de origem vegetal têm atraído crescente interesse no desenvolvimento de produtos lácteos fermentados, especialmente no que diz respeito à sua capacidade de melhorar tanto a qualidade sensorial quanto o valor funcional desses alimentos (Jeske *et al.*, 2018; Boukid *et al.*, 2023). No contexto dos iogurtes à base de leite de cabra suplementados com farinhas vegetais, a adição de fibras solúveis, como as provenientes da beterraba e do hibisco, desempenha um papel fundamental na modulação das propriedades físico-químicas do produto. Fibras solúveis possuem a capacidade de interagir com as proteínas do leite, formando uma matriz mais coesa durante o processo fermentativo. Essa interação tem implicações diretas na melhoria da textura do iogurte, resultando em um produto final mais cremoso e homogêneo, com menor incidência de sinérese (separação de soro) (Arab *et al.*, 2023; Gursel *et al.*, 2016; Ismail *et al.*, 2018).

Além de suas propriedades estruturais, as fibras solúveis também atuam como prebióticos, promovendo o crescimento de bactérias probióticas benéficas, como as pertencentes ao gênero *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, no trato intestinal. Esses microrganismos desempenham funções essenciais para a saúde intestinal, como a melhoria da barreira intestinal, a modulação da resposta imunológica e a produção de ácidos graxos de cadeia curta, que apresentam efeitos anti-inflamatórios. Assim, a incorporação de fibras solúveis em iogurtes fermentados não só potencializa as características sensoriais, mas também transforma o iogurte em um alimento funcional, promovendo benefícios à saúde que vão além da nutrição básica (Costa *et al.* 2015; 2016; 2022).

Os compostos antioxidantes naturais, como antocianinas e flavonoides, presentes em farinhas vegetais roxas derivadas de frutas como açaí, jabuticaba e uva, desempenham um papel crucial na estabilidade oxidativa dos produtos lácteos fermentados. A presença desses compostos é particularmente relevante para retardar reações oxidativas em produtos alimentícios, o que contribui para a preservação da qualidade sensorial, como sabor e cor, e da vida útil do iogurte. Além disso, antioxidantes como as antocianinas têm sido amplamente associados à redução do risco de desenvolvimento de doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares, câncer e diabetes tipo 2, principalmente devido à sua capacidade de neutralizar radicais livres e reduzir o estresse oxidativo no organismo (Echegaray *et al.*, 2022).

A fermentação potencializa a bioatividade desses compostos. Durante o processo fermentativo, as bactérias ácido-lácticas podem modificar a estrutura química das antocianinas e flavonoides, tornando-os mais biodisponíveis para absorção pelo corpo humano. Esse fenômeno é observado na fermentação de farinhas roxas, onde há um aumento na concentração de compostos fenólicos livres, intensificando os efeitos antioxidantes do produto final. Esse incremento na disponibilidade biológica amplifica os benefícios à saúde associados ao consumo de iogurtes enriquecidos com farinhas vegetais roxas, oferecendo uma alternativa funcional que pode ser inserida em dietas voltadas para a prevenção de doenças crônicas e a manutenção da saúde geral (Wang *et al.*, 2024).

2.3.3 Farinhas roxas

2.3.3.1 Beterraba

A beterraba cujo nome científico é *Beta vulgaris L.*, originária das regiões da Ásia e Europa, distingue-se pela sua coloração vermelho-violeta intensa, atribuída à alta concentração de betalaínas, pigmentos fenólicos metabólicos secundários presentes tanto no bulbo quanto nos talos da planta (Santos *et al.*, 2016, Santos *et al.*, 2020, Ozcan, Ozdemir & Avci), 2020). Estes pigmentos são reconhecidos por suas atividades antioxidantes e anti-inflamatórias, além de sua capacidade de inibir a oxidação lipídica (Ozcan, Ozdemir & Avci, 2020). Contudo, as betalaínas são compostos susceptíveis à degradação, o que implica que sua extração deva considerar fatores intrínsecos, como a

atividade enzimática e a presença de metais, e fatores extrínsecos, como o nível de oxigênio, o pH e a exposição à luz (Santos *et al.*, 2020).

A beterraba é rica em açúcares, principalmente glicose, frutose (em menor quantidade) e, em maior proporção, sacarose, sendo este último o principal carboidrato da planta. Tal composição permite seu cultivo tanto para a extração de açúcar quanto como planta hortícola ou forrageira, sendo amplamente utilizada em preparações alimentícias como saladas (Santos *et al.*, 2016), (Chhikara *et al.*, 2019). Adicionalmente, destaca-se pelo seu elevado teor de vitaminas A, B1, B2, B5 e C, além de minerais como potássio, sódio, fósforo, cálcio, zinco, ferro e manganês, e de polissacarídeos como pectina, celulose e hemicelulose, os quais são considerados fontes importantes de fibras dietéticas (Souza & Mattanna, 2019), (Ozcan, Ozdemir & Avci, 2020).

Dada esta composição rica em nutrientes e propriedades funcionais, a beterraba tem sido utilizada em diferentes produtos alimentícios: como corante na produção de iogurte (SANTOS *et al.*, 2020), como adoçante em formulações diversas (Ozcan, Ozdemir & Avci, 2020); (Ozdemir & Ozcan, 2020), em sorvetes de leite (Santos *et al.*, 2016) e como estabilizante de cor em leite fluido (Guneser *et al.*, 2016).

2.3.3.2 Açaí

O açaí, cientificamente é conhecido como *Euterpe oleracea*, sendo considerado uma “superfruta”, onde é rico em compostos bioativos, tais como flavonoides e antocianinas, além de conter substâncias funcionais, entre elas ácidos graxos insaturados. Esta composição contribui para a crescente demanda nacional e internacional, sendo consumida em formato de suco energético em países da América do Norte, Europa, e em nações asiáticas como China e Japão (Liu *et al.*, 2023); (De lima *et al.*, 2015).

Culturalmente, o consumo do açaí varia conforme a região. Nos estados do Norte do Brasil, o fruto é tradicionalmente consumido como transporte alimentar, frequentemente misturado a fontes proteicas e farinha de tapioca. Em outras regiões brasileiras, entretanto, é mais popular na forma de sorvete, suco ou como suplemento alimentar (Menezes *et al.*, 2008); (De lima *et al.*, 2015).

A cadeia produtiva do açaí, principalmente nas indústrias de processamento de sorvetes e sucos, gera uma quantidade significativa de resíduos, conhecida como “burra”, que possui alto teor de fibras (47%), lipídios (1,5%) e proteínas (6,6%). Esse subproduto apresenta potencial para aproveitamento na produção de alimentos, oferecendo uma

alternativa de reaproveitamento industrial de resíduos (Borges *et al.*, 2021); (Romani *et al.*, 2022).

2.3.3.3 Hibisco

O hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.), uma planta tropical pertencente à família Malvaceae, destaca-se pelo uso culinário de suas flores, que são amplamente consumidas em forma de chá, geleias, molhos, vinho e especiarias devido ao seu sabor característico (Cid-ortega & Guerrero-Beltrán, 2015; Arslaner, Salik & Bakirci, 2020).

As flores do hibisco são notáveis pela alta concentração de compostos bioativos, incluindo ácidos polifenólicos, flavonoides e antocianinas, conhecidos por sua elevada atividade antioxidante, que atua estimulando o sistema imunológico e favorecendo a produção de citocinas (Su *et al.*, 2019; Mahfudh, Hadi & Solechan., 2020; Arslaner, Salik & Bakirci, 2020).

Estudos indicam que esses compostos bioativos estão associados à redução do risco de doenças cardiovasculares e condições relacionadas à obesidade e ao diabetes. Além disso, o hibisco demonstra potenciais efeitos imunomoduladores e anticarcinogênicos, reforçando seu papel na promoção da saúde e na prevenção de diversas doenças crônicas (Arslaner, Salik & Bakirci, 2020).

2.3.4 Propriedades funcionais de farinhas roxas (açáí, beterraba, hibisco) e impactos no processamento de iogurtes

As farinhas vegetais roxas, derivadas de alimentos como açáí, beterraba e hibisco, são ricas em compostos bioativos, especialmente as antocianinas, pigmentos naturais responsáveis pela cor vibrante desses vegetais. Ilustrados na figura 2.

Figura 2 - Farinhas vegetais roxas; Açáí, Beterraba e Hibisco; respectivamente.



Fonte: Adaptado próprio autor (2024).

Esses compostos têm recebido crescente atenção devido à sua potente atividade antioxidante, anti-inflamatória e prebiótica, que favorece o crescimento de bactérias benéficas, como as bactérias ácido-lácticas (LAB), amplamente utilizadas em produtos lácteos fermentados. As antocianinas, um subgrupo de flavonoides, são estudadas principalmente por suas propriedades antioxidantes, desempenhando um papel crucial na neutralização de radicais livres e na prevenção do estresse oxidativo. Esse processo é fundamental para reduzir o risco de doenças crônicas associadas ao acúmulo de danos oxidativos, como doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2 e certos tipos de câncer. Além disso, as antocianinas apresentam atividade anti-inflamatória significativa, modulando vias de sinalização celular, como a do fator de transcrição nuclear kappa B (NF- κ B), que regula a expressão de genes envolvidos nas respostas inflamatórias (Palungwachira *et al.*, 2019). Estudos clínicos sugerem que o consumo regular de antocianinas pode reduzir marcadores inflamatórios sistêmicos, como a proteína C-reativa (PCR) e citocinas pró-inflamatórias, além de promover melhorias no perfil lipídico e glicêmico, especialmente em indivíduos com síndrome metabólica (Asgary *et al.*, 2016; Palungwachira *et al.*, 2019). Dessa forma, farinhas ricas em antocianinas, como as de açaí, beterraba e hibisco, não apenas melhoram as propriedades sensoriais dos produtos fermentados, mas também fornecem uma alternativa natural para a promoção da saúde metabólica e cardiovascular.

As farinhas roxas, além de fornecerem compostos antioxidantes, podem exercer efeitos prebióticos que modulam o microbioma intestinal, estimulando o crescimento de bactérias benéficas, como as bifidobactérias e as bactérias ácido-lácticas (LAB), cruciais para a manutenção da saúde intestinal. As antocianinas e as fibras presentes nessas farinhas são metabolizadas pela microbiota intestinal, resultando na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como o butirato, que desempenha um papel essencial na manutenção da integridade da barreira intestinal, além de apresentar efeitos anti-inflamatórios (Pharm *et al.*, 2021).

Assim, a adição de farinhas roxas em produtos lácteos não apenas melhora as propriedades sensoriais e funcionais dos produtos, mas também podem promover benefícios substanciais à saúde humana, incluindo a modulação da microbiota intestinal, a redução da inflamação e o fortalecimento da barreira intestinal. Com seus efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios, essas farinhas representam uma abordagem promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais, contribuindo para a prevenção de doenças crônicas e a manutenção de uma saúde metabólica e digestiva equilibrada (Salgado *et al.*, 2023).

3. HIPÓTESE

A hipótese deste estudo é que a adição de farinhas roxas (açai, beterraba e hibisco) ao iogurte de leite de cabra melhora o processo fermentativo do iogurte, reológicas e aceitação sensorial impactando positivamente a reologia e o crescimento das bactérias ácido-láticas (BAL) no produto fermentado.

4. OBJETIVO

4.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto da adição de farinhas roxas (açáí, beterraba e hibisco) no processo fermentativo de iogurte de leite de cabra.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar iogurte de leite de cabra suplementado com farinhas roxas (açáí, beterraba e hibisco);
- Determinar a curva de crescimento de bactérias ácido-láticas (BAL) durante o processo de fermentação, verificando quais farinhas estimulam mais o desenvolvimento microbiano;
- Analisar o efeito das farinhas roxas no pH do iogurte de leite de cabra durante o processo de fermentação, comparando a influência de cada tipo de farinha (açáí, beterraba e hibisco) na acidificação do produto;
- Avaliar o impacto das farinhas roxas na viscosidade aparente do iogurte, identificando qual farinha apresenta potencial de melhorar a textura e cremosidade do iogurte;
- Realizar análise sensorial para verificar a aceitabilidade do consumidor em relação aos iogurtes de leite de cabra acrescido com farinhas roxas: açáí, beterraba e hibisco.
- Comparar os efeitos das farinhas de açáí, beterraba e hibisco nos parâmetros pH, viscosidade aparente, contagem de bactérias ácido lácticas do iogurte de leite de cabra e aceitação sensorial, visando fornecer recomendações sobre o uso balanceado de cada farinha para otimização da formulação do iogurte.

5. JUSTIFICATIVA

A suplementação de iogurte de leite de cabra com farinha roxa apresenta justificativas sólidas para um projeto de dissertação de mestrado, integrando inovação, sustentabilidade e funcionalidade. A farinha roxa, rica em compostos bioativos como antocianinas e fibras, agrega valor nutricional e funcional ao produto, favorecendo o crescimento de bactérias ácido-láticas e otimizando o processo de fermentação. Além disso, melhoram atributos sensoriais, como sabor, textura e coloração, ampliando a acessibilidade de um alimento tradicionalmente associado a sabores específicos. O projeto também promove práticas sustentáveis ao valorizar subprodutos agroindustriais, alinhando-se ao conceito de economia circular e à crescente demanda por alimentos saudáveis e naturais. O desenvolvimento de produtos lácteos inovadores e funcionais fortalece a competitividade do mercado caprino, gerando benefícios econômicos para produções e agroindústrias, e contribui para o avanço científico, oferecendo novas perspectivas para formulações tecnológicas.

6. CAPÍTULO 1: Impacto da suplementação de farinha roxa na fermentação do iogurte de leite de cabra

Submetido para a revista Journal of Agriculture and Food Research da Elsevier

Impact of purple flour supplementation on the fermentation of goat milk yogurt

Nathalia Brizack Monteiro^{1,2}, Katherine Gutierrez Alzate^{2,3}, Madian Johel Galo Salgado^{1,2}, Jose Givanildo da Silva^{1,2}, Iuri Lima dos Santos Rosario¹, Marion Pereira da Costa^{1,2,3}

¹ Program in Animal Science in the Tropics (PPGCAT), School of Veterinary Medicine, Federal University of Bahia (UFBA), Ondina, Salvador, BA, 40170-110, Brazil.

² Laboratory of Technology and Inspection of Milk and Derivatives (LaITLácteos), School of Veterinary Medicine, Federal University of Bahia (UFBA), Ondina, Salvador, BA, 40170-110, Brazil

³ Program in Food Science, Faculty of Pharmacy, Federal University of Bahia (UFBA), Salvador, Brazil.

***Corresponding author:**

Marion Pereira da Costa, D.V.M., M.Sc., Ph.D.

Av. Milton Santos, 500 – Ondina, Salvador, Bahia, Brasil, CEP 40170-110

E-mail address: marioncosta@ufba.br; Tel.: +55-71-3283-6711 (M. P. Costa).

ABSTRACT

This study investigates the effects of purple plant flours (açai, beetroot, and hibiscus) on the fermentation process of goat milk yogurt. The experiment assessed how these purple flours influence key fermentation parameters, including pH, apparent viscosity, and lactic acid bacteria (LAB) growth. The results indicate that beetroot and hibiscus flour significantly enhanced LAB growth, with maximum cell concentrations of 13.25 and 13.26 log CFU/g, respectively. Hibiscus flour accelerated acidification, achieving a final pH of 4.53, while beetroot flour led to the highest apparent viscosity (187.23 mPa·s). These findings suggest that beetroot and hibiscus flours improve the fermentation process and the textural properties of goat milk yogurt, offering potential functional ingredients in dairy products.

Keywords: Açai flour; Beet flour; Hibiscus flour; Growth curves; Apparent viscosity.

INTRODUCTION

Yogurt, a staple dairy product consumed globally, is highly valued for its nutritional benefits and probiotic properties. Goat milk, as a fermentation substrate, is growing in popularity among consumers seeking alternatives to cow's milk, especially for its digestibility and unique nutritional profile [1]. However, goat milk yogurt presents a delicate texture and a fragile gel structure, affecting consumer preference and product acceptability. Since texture and flavor are key factors in consumer acceptance, substituting goat milk fat and incorporating a polysaccharide-rich flavoring agent, such as cupuassu pulp, can enhance both the taste and texture of goat milk yogurts [2, 3].

As the demand for functional foods continues to grow, researchers have increasingly focused on enriching yogurt with bioactive ingredients to enhance both its nutritional profile and sensory qualities. Among these bioactive components, plant-based additives such as dietary fibers, antioxidants, and polyphenols have gained significant attention due to their potential to promote health and improve fermentation processes [4, 5]. These additives can offer health benefits and serve as functional ingredients capable of modulating the fermentation kinetics and improving the texture and flavor of yogurt.

One promising category of plant-based additives includes flours derived from purple plants, which are rich in anthocyanins—a class of polyphenols known for their strong antioxidant activity. Anthocyanins have been widely studied for their health-promoting effects, including anti-inflammatory and anti-obesity properties, as well as their role in supporting gut health by acting as prebiotics that stimulate the growth of beneficial gut bacteria, such as lactic acid bacteria (LAB) [6]. Flours made from açai, beet, and hibiscus have garnered attention for their high anthocyanin content, which could enhance both the functional and sensory properties of fermented dairy products [7].

In addition to their potential health benefits, purple plant flour may also improve the fermentation efficiency of yogurt. The fermentation of milk by LAB, particularly strains such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*, plays a critical role in yogurt production by converting lactose into lactic acid, which leads to acidification and gel formation. This process not only contributes to the yogurt's characteristic texture and flavor but also extends its shelf life. Enhancing LAB growth and activity through the incorporation of prebiotic-rich ingredients such as purple flours could improve the acidification process, leading to a faster and more efficient fermentation [8, 9].

However, adding plant-based ingredients may also influence the textural properties of yogurt, which are crucial for consumer acceptance. Apparent viscosity, a key indicator of yogurt's mouthfeel and creaminess, is an important attribute influenced by the fermentation process and the composition of the yogurt matrix. The presence of polysaccharides and fibers in plant-based additives can interact with milk proteins during fermentation, potentially improving the final product's viscosity and overall sensory qualities [4].

Therefore, this study aimed to investigate the effects of adding açai, beet, and hibiscus flour to goat milk yogurt on the growth kinetics of lactic acid bacteria, as well as the pH and apparent viscosity during fermentation. By analyzing the fermentation characteristics and textural properties of yogurt enriched with purple flours, this study aims to explore the potential of these functional ingredients to improve yogurt quality and support the development of innovative dairy products with enhanced health benefits.

MATERIAL AND METHODS

Yogurt processing

Goat milk yogurts were manufactured according to Costa et al. [2] utilizing whole goat milk powder (Caprilat, Rio Grande do Sul, Brazil) and thermophilic yogurt cultures (YF-L903; Chr.Hansen, Valinhos, Brazil) at a final concentration of 1% (v/v). A total of four formulations were elaborated: CGY, goat milk yogurt without flour (control); AGY, goat milk yogurt with açai flour; BGY, goat milk yogurt with beet flour; HGY, goat milk yogurt with hibiscus flour. All ingredients were added individually to two liters for each formulation prior to fermentation at 43 °C. For the manufacture of treatments with purple flours (açai, beet, and hibiscus flour), 5% (w/v) of each flour was added. Aliquots of 250 mL were collected every sixty minutes during the fermentation period to evaluate the lactic acid bacteria count, pH, and apparent viscosity. A pH value of 4.5 was considered as the end point of fermentation. The goat milk yogurts were individually packed and stored at 4 °C (Day 0). The whole yogurt processing was repeated three times (n=3).

Bacterial enumeration and curve fitting for the primary model during fermentation

From the fermenting glass flasks, 10 g aliquots were taken each 60 min to reach a minimum of 12 points to generate the growth curves. The aliquots were individually homogenized and serially diluted in 90 mL of 0.1% peptone water (Merck, Darmstadt, Germany) in a stomacher (Stomacher 80; Seward, London, UK). Then, 1 mL of chosen dilutions were pour-platted in Petri dishes, followed by adding Man, Rogosa, and Sharpe (MRS) agar (Himedia, Mumbai, India) and incubation for 48–72 h at 37°C under aerobiosis. Total lactic acid bacteria (LAB) counting was performed using an electronic counter (Flash & Go, IUL Instruments, Barcelona, Spain), and results were expressed as log CFU.g⁻¹.

Further, to adjust the primary models, experimental data from each growth curve, constructed separately from each replicate, were fitted to the primary model developed by Baranyi and Roberts [10] (Eqns 1–3) using the DMFit Excel add-in package version 3.5 (Com-Base, United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service, Washington, DC, USA).

As a result, the estimated kinetic parameters were reported as maximum cell concentration (y_{max}), maximum specific growth rate (μ_{max}), and lag phase (λ).

$$y(t) = y_0 + \mu_{max}A(t) - \frac{1}{m} \ln \left(1 + \frac{e^{m\mu_{max}A(t)} - 1}{e^{m(y_{max}-y_0)}} \right)$$

(1)

$$A(t) = t + \frac{1}{\mu_{max}} \ln \left(\frac{e^{-\mu_{max}t + q_0}}{1 + q_0} \right)$$

(2)

$$\lambda = \frac{\ln \left(1 + \frac{1}{q_0} \right)}{\mu_{max}}$$

(3)

where: $y(t)$ = population of cells at time t (log CFU.g⁻¹); y_0 = initial cell concentration (log CFU.g⁻¹); μ_{max} = maximum specific growth rate (log CFU.g⁻¹.h); y_{max} = maximum cell concentration (log CFU.g⁻¹); q_0 [-] = parameter that expresses the initial physiological state of the cells; λ = lag phase time (h). In addition, for all growth curves, the adjustment parameters n_{curve} and m_{curve} were fixed in 18 and 2, respectively.

pH and apparent viscosity

Samples of goat milk yogurts were also analyzed for pH, using a digital pH meter (model PG1800, Cap Lab, SP, Brazil) [11].

The apparent viscosities of the goat milk yogurt's samples (250 mL) were measured at 43°C during fermentation time and 4°C at day 0 using a ViscoQC 300 – R viscometer (Viscosímetro Rotativo, Anton Paar, SP, Brazil) equipped with spindle RH3 mixing at 250 rpm. The apparent viscosity was measured in triplicate.

Sensory Evaluation of Goat Milk Yogurts

The sensory evaluation of the goat milk yogurts was performed 0 day after their manufacture, and a hedonic test assessed the overall acceptance. A 9-point hedonic scale was used, with 66 consumers ranging from 19 to 67 years old (37 females and 29 males) participating [12]. These panelists consisted of students, randomly recruited from the Federal University of Bahia, Brazil. The inclusion criterion was regular consumption of dairy products, while people with an allergy or intolerance to dairy products were not recruited.

The 20 mL samples were coded with three-digit codes and presented monadically according to a randomized complete block design [13]. The test was performed by panelists in individual booths. They were asked to evaluate the overall acceptability of the fermented milks, based on a 9-point hedonic scale: like extremely = 9, like very much = 8, like moderately = 7, like slightly = 6, neither like nor dislike = 5, dislike slightly = 4, dislike moderately = 3, dislike very much = 2, dislike extremely = 1.

Statistical Analysis

The LAB, pH, and apparent viscosity results were subjected to one-way ANOVA, considering treatments and days as sources of variation. All ANOVA were subjected to Tukey's test at $P < 0.05$ using XLSTAT version 2013.2.03 (Addinsoft, Paris, France). The mean bacteria counts were calculated and expressed as \log_{10} cfu·g⁻¹.

RESULTS

Growth parameters and curves of lactic acid bacteria during fermentation

The primary growth parameters of lactic acid bacteria in goat milk yogurts (CGY, AGY, BGY, and HGY) during fermentation, with and without the addition of purple flour, were estimated and summarized in Table 1. The parameters include initial cell concentration (y_0), maximum cell concentration (y_{\max}), maximum growth rate (μ_{\max}), and the coefficient of determination (R^2).

The initial cell concentrations (y_0) did not differ significantly among the treatments, ranging from 5.91 ± 0.04 log CFU/g for the control (CGY) to 6.74 ± 0.32 log CFU/g for BGY ($p > 0.05$). These values indicate that the addition of different purple flours did not significantly impact the initial microbial load in the fermented products.

However, notable differences were observed in the maximum cell concentration (y_{\max}). The control treatment (CGY) achieved a maximum cell concentration of 11.06 ± 0.30 log CFU/g, which was significantly lower ($p < 0.05$) than all flour-enriched treatments. Among the flour treatments, açai flour (AGY), beet flour (BGY), and hibiscus flour (HGY) increased the maximum cell concentration to 12.27 ± 0.59 log CFU/g, 13.25 ± 0.64 log CFU/g, and 13.26 ± 0.11 log CFU/g, respectively. These results suggest a tendency that the incorporation of purple flours, particularly beet and hibiscus flour, can enhance the growth of lactic acid bacteria during fermentation.

The maximum growth rate (μ_{\max}) remained relatively consistent across all treatments, with values ranging from 0.02 ± 0.01 log CFU/g·h to 0.03 ± 0.01 log CFU/g·h. No significant differences were observed in μ_{\max} among the treatments, indicating that the growth rate of lactic acid bacteria was not substantially influenced by the presence of purple flours.

Lastly, the coefficient of determination (R^2) values for all treatments were high, ranging from 0.957 to 0.975, indicating a good fit of the Baranyi and Roberts model to the experimental data. HGY exhibited the highest R^2 value (0.975), further supporting the robustness of the model in describing the growth kinetics in this treatment.

In summary, the addition of purple flours significantly enhanced the maximum cell concentration of lactic acid bacteria in goat milk yogurt, without affecting the initial concentration or maximum growth rate. These findings suggest that the use of purple flour could improve the fermentation efficiency of goat milk yogurts by promoting greater bacterial proliferation.

The growth curves of lactic acid bacteria in goat milk yogurt with the addition of purple flour during fermentation are illustrated in Figure 1. Panels (A) through (D) represent the control (CGY), goat milk yogurt with açai flour (AGY), beet flour (BGY), and hibiscus flour (HGY), respectively. Each point on the graph represents the average of triplicate experimental results, with solid lines indicating the fitted Baranyi model.

In all treatments, a characteristic sigmoidal growth curve is observed, with an initial lag phase followed by an exponential growth phase and a subsequent stationary phase. Notably, the treatments containing açai flour (AGY), beet flour (BGY) and hibiscus flour (HGY) displayed higher final cell concentrations than the control (CGY), aligning with the trends observed in the primary growth parameters discussed earlier.

The painted area beneath each curve represents the decrease in pH over time due to bacterial fermentation. A steeper pH decline is seen in the BGY and HGY treatments compared to CGY and AGY, indicating more rapid acidification in these samples. This accelerated pH decrease is consistent with the increased bacterial activity in the presence of beet and hibiscus flours, which appears to enhance the fermentation process.

pH and apparent viscosity during fermentation

The pH and apparent viscosity of goat milk yogurts (CGY, AGY, BGY, and HGY) during fermentation are presented in Table 2. The pH values of all treatments decreased consistently over the 600 minutes of fermentation. Initially, the pH values ranged from 5.16 ± 0.04 in HGY to 6.76 ± 0.10 in AGY. By the end of the fermentation, pH values dropped to 4.53 ± 0.07 in HGY, 4.54 ± 0.13 in BGY, 4.47 ± 0.08 in AGY, and 4.55 ± 0.03 in CGY.

Across the entire fermentation process, significant differences in pH were observed among the treatments ($p < 0.05$). HGY consistently had a significantly lower pH compared to the other treatments, indicating a more rapid acidification, especially early in fermentation. By 240 minutes, the pH of HGY was already below 5.00, while the other treatments-maintained pH values above 5.20. By the end of the fermentation, the pH differences among the treatments narrowed, although HGY and BGY maintained significantly lower pH values than CGY and AGY.

In terms of apparent viscosity, all treatments showed a significant increase over the course of fermentation ($p < 0.05$). At the beginning of fermentation, the apparent

viscosities ranged from 27.97 ± 2.55 mPa·s in CGY to 32.26 ± 3.08 mPa·s in HGY. As fermentation progressed, the viscosities of all treatments increased, with the most substantial increases observed in BGY and HGY. By 600 minutes, the apparent viscosities reached 187.23 ± 2.96 mPa·s in BGY and 90.59 ± 4.87 mPa·s in HGY, both of which were significantly higher than CGY (67.24 ± 2.65 mPa·s) and AGY (47.70 ± 2.32 mPa·s).

These findings suggest that the addition of beet flour (BGY) and hibiscus flour (HGY) significantly enhances the viscosity of goat milk yogurt during fermentation, with beet flour having the most pronounced effect in the final phase of the fermentation process. The observed increase in viscosity is likely due to the polysaccharides present in these flours, which interact with the yogurt matrix, leading to increased thickness and creaminess.

In this way, the purple flour addition, particularly beet and hibiscus, led to a more rapid decrease in pH and a greater increase in viscosity during fermentation compared to the control and açai flour treatments. These results indicate that beet and hibiscus flours may improve the textural and fermentation properties of goat milk yogurt.

Goat milk yogurt with purple flour

The results presented in Table 3 show the effects of supplementation with various purple flours (açai, beet, and hibiscus) on the lactic acid bacteria (LAB) count, pH, and apparent viscosity of goat milk yogurt on day 0.

The LAB count varied significantly ($p < 0.05$) among the different treatments. The yogurt supplemented with beet flour (BGY) exhibited the highest LAB count at 13.56 log cfu.g⁻¹, followed closely by the yogurt supplemented with hibiscus flour (HGY) at 13.16 log cfu.g⁻¹. Both of these values were significantly higher than those observed in the control yogurt (CGY) and the yogurt supplemented with açai flour (AGY), which had counts of 12.03 and 11.35 log cfu.g⁻¹, respectively. These findings suggest that beet and hibiscus flours may provide favorable substrates or conditions for the growth of LAB, potentially enhancing the probiotic properties of the yogurts. In contrast, the addition of açai flour appeared to inhibit LAB proliferation relative to the other treatments.

Regarding pH, the control yogurt (CGY), along with the yogurts supplemented with açai (AGY) and beet flour (BGY), maintained relatively similar pH values, ranging from 6.64 to 6.76. These values indicate a weakly acidic environment typical of fresh yogurt products. However, the yogurt supplemented with hibiscus flour (HGY) exhibited a significantly lower pH (5.16), indicating a more acidic environment. The reduction in pH for HGY could be attributed to the organic acids naturally present in hibiscus, which may contribute to both flavor development and the preservation of the yogurt.

In terms of apparent viscosity, the goat milk yogurts showed considerable variation between treatments. The yogurt supplemented with beet flour (BGY) exhibited the highest viscosity (196.59 mPa.s), which was significantly greater than the viscosity of all other treatments ($p < 0.05$). This suggests that beet flour may have thickening properties, possibly due to its fiber content, which could enhance the textural quality of the yogurt. Conversely, the control yogurt (CGY) and the yogurt supplemented with açai flour (AGY) demonstrated significantly lower viscosities of 70.60 and 50.08 mPa.s, respectively, with AGY showing the lowest value among all treatments. The yogurt supplemented with hibiscus flour (HGY) had an intermediate viscosity of 95.11 mPa.s, indicating that hibiscus flour can increase viscosity but not to the extent observed with beet flour.

Sensory acceptance

The sensory evaluation of goat milk yogurts (Table 4) revealed significant differences ($p < 0.05$) in appearance, color, aroma, flavor, viscosity, and overall acceptability among formulations with different purple flours (açai, beet, and hibiscus) and the control. The açai flour (AGY) formulation achieved the highest scores for appearance (6.15 ± 2.17) and maintained sensory characteristics close to the control. In contrast, beet (BGY) and hibiscus (HGY) flour formulations demonstrated higher viscosity scores (5.58 ± 2.24 and 5.61 ± 2.13 , respectively) but received lower ratings for flavor and overall acceptability. AGY displayed the highest appearance score, which was comparable to the control (CGY), indicating that açai flour's dark pigment complemented the natural aesthetics of yogurt. All treatments scored similarly in color, suggesting that the incorporation of flours did not detract from the visual appeal of the yogurts.

Aroma scores showed that CGY (6.55 ± 2.17) was most favored, followed by AGY (5.73 ± 2.06). Lower scores for BGY (4.03 ± 2.18) and HGY (4.08 ± 2.03) suggest that the

distinctive earthy and floral notes of beet and hibiscus flours were less appreciated. Flavor ratings followed a similar pattern, with CGY and AGY scoring higher than BGY and HGY.

BGY and HGY exhibited significantly higher viscosity compared to CGY and AGY, likely due to the high fiber content of beet and hibiscus flours. However, overall acceptability scores were highest for CGY and AGY, emphasizing the importance of flavor in consumer satisfaction.

DISCUSSION

The growth kinetics of lactic acid bacteria (LAB) in goat milk yogurt, both with and without the addition of purple flour, demonstrated key insights into the effects of these functional ingredients on fermentation processes. In the present study, the incorporation of açai, beet, and hibiscus flours enhanced the fermentation outcomes by significantly improving the maximum cell concentrations of LAB, while initial cell concentrations and growth rates remained unaffected. These findings contribute to the growing body of knowledge on the nutritional and functional benefits of purple flour additives in dairy fermentation.

The initial cell concentrations (y_0) across all treatments were statistically similar, indicating that the inclusion of purple flours did not influence the initial microbial load of LAB. This consistency reflects the robustness of the fermentation environment in supporting LAB growth regardless of the type of flour added. These results are consistent with previous studies that have observed minimal impact on initial cell loads when dietary fibers or plant-based additives are introduced to dairy products [7, 14].

However, the enhancement in maximum cell concentration (y_{max}) suggests that purple flour creates a more favorable environment for LAB proliferation. The significant increase in y_{max} for all flour-enriched yogurts indicates that these flours likely provide essential nutrients or growth-promoting compounds. This finding is aligned with research highlighting the prebiotic potential of anthocyanin-rich compounds found in purple flour, which may enhance LAB activity and growth [6, 15].

Despite the significant increase in y_{max} , the maximum growth rate (μ_{max}) did not show statistically significant differences among the treatments. This observation implies that while purple flour contributes to higher cell concentrations at the end of fermentation,

they do not accelerate the overall growth speed of LAB. The stability of μ_{max} across treatments suggests that other factors, such as fermentation time and temperature, may play a more critical role in governing the bacterial growth rate. Previous studies have shown that while functional additives can influence final cell densities, they do not always alter growth kinetics [14, 16].

The high coefficient of determination (R^2) values across all treatments demonstrates the reliability of the Baranyi and Roberts model in fitting the experimental data. The highest R^2 value was observed in the hibiscus flour treatment (0.975), indicating a robust correlation between the model's predictions and the actual data. This strong model fit supports the validity of using such kinetic models in assessing fermentation dynamics and highlights the precise effects of dietary additions on yogurt fermentation [8, 9].

The growth curves of lactic acid bacteria (LAB) in goat milk yogurt supplemented with purple flour provide additional insight into the fermentation dynamics. The sigmoidal growth pattern observed across all treatments—characterized by a lag phase, an exponential growth phase, and a stationary phase—corroborates established microbial growth trends in fermented dairy products [17]. The addition of purple flours, particularly beet and hibiscus flours, significantly influenced the final bacterial concentration and fermentation efficiency, reflecting the trends in the primary growth parameters.

The enhanced bacterial growth in beet flour (BGY) and hibiscus flour (HGY) treatments is particularly noteworthy. These treatments demonstrated substantially higher final cell concentrations compared to the control (CGY) and açai flour (AGY) treatments, reinforcing the hypothesis that these specific purple flours offer superior growth-promoting effects. The BGY and HGY samples reached higher cell densities at the stationary phase, which aligns with the previously discussed significant increases in maximum cell concentrations (y_{max}) observed for these treatments. These findings suggest that the addition of beet and hibiscus flours provides LAB with key nutrients or compounds that enhance their proliferation, consistent with the prebiotic effects of anthocyanin-rich ingredients [6].

Furthermore, the painted area beneath each growth curve highlights the decrease in pH over time due to bacterial fermentation. The steeper pH declines in the BGY and HGY treatments indicates accelerated acidification, which is closely tied to the increased bacterial activity in these samples. This rapid acidification is a hallmark of more efficient

fermentation processes, where LAB metabolizes lactose into lactic acid, thereby lowering the pH. The enhanced bacterial activity in these treatments may be attributed to the fermentable carbohydrates and bioactive compounds present in beet and hibiscus flours, which have been shown to stimulate bacterial metabolism and acid production [7].

In contrast, the control (CGY) and açai flour (AGY) treatments exhibited more moderate decreases in pH and lower final cell concentrations. While açai flour did increase cell concentrations compared to the control, its effect was not as pronounced as that of beet or hibiscus flour. These differences highlight the potential specificity of different purple flours in promoting bacterial growth and acidification rates, suggesting that not all purple flours confer the same benefits to fermentation. This observation is in line with previous studies that demonstrated varying prebiotic effects of plant-based additives depending on their specific phytochemical compositions [14].

The strong fit of the Baranyi model to the experimental data, as reflected in the high R^2 values, further validates the use of this model in predicting LAB growth in fermented dairy products. The R^2 values, particularly in the hibiscus flour treatment (0.975), demonstrate the model's robustness and accuracy in describing bacterial growth under the tested conditions. The consistency of the model's performance across all treatments strengthens the conclusions drawn from these experiments and underscores the reliability of kinetic modeling in the analysis of fermentation dynamics [10].

The pH and apparent viscosity profiles of goat milk yogurts supplemented with purple flours during fermentation provide key insights into how these ingredients affect the fermentation process and textural properties. The consistent pH decrease across all treatments is characteristic of lactic acid fermentation, where lactic acid bacteria (LAB) convert lactose into lactic acid, leading to acidification of the yogurt. However, significant differences in pH reduction were observed among the treatments, particularly with the addition of beet and hibiscus flours, which exhibited more rapid and pronounced acidification compared to the control and açai flour treatments.

The lower pH in the hibiscus flour yogurt (HGY) suggests that hibiscus flour enhances the acidification process, potentially by providing additional fermentable substrates or by stimulating LAB activity. The accelerated pH drops in these treatments, particularly in the early stages of fermentation, align with the higher maximum cell concentrations observed in the growth kinetics of LAB discussed earlier. This faster acidification may

be beneficial in commercial yogurt production by reducing fermentation time, thus improving production efficiency [8, 9].

The significant increase in apparent viscosity across all treatments further highlights the functional benefits of purple flour addition, with beet flour (BGY) showing the most pronounced effect. This substantial increase in viscosity is likely due to the high content of polysaccharides in beet flour, which have been shown to interact with the milk proteins during fermentation, forming a thicker, more stable gel structure [4].

The hibiscus flour yogurt (HGY) also exhibited a significant increase in viscosity though less pronounced than that of beet flour yogurt. The polysaccharides and dietary fibers present in both beet and hibiscus flour likely to contribute to the improved textural properties by binding water and interacting with the protein network, thus enhancing the yogurt's thickness and creaminess. These findings align with previous studies demonstrating the textural improvements of plant-based additives in dairy products, where polysaccharides not only enhance viscosity but also improve the overall mouthfeel and sensory qualities of the yogurt [6].

Interestingly, açai flour (AGY) did not exhibit the same level of impact on either pH reduction or viscosity increase as beet and hibiscus flours. This suggests that açai flour may contain fewer fermentable carbohydrates or polysaccharides that actively interact with the yogurt matrix. While açai flour still enhanced LAB growth to a degree, its lower contribution to viscosity highlights the potential specificity of different purple flours in influencing fermentation and textural properties. Overall, these results suggest that beet and hibiscus flours are particularly effective at enhancing both the fermentation kinetics and the textural quality of goat milk yogurt. The rapid acidification observed in BGY and HGY treatments may offer benefits in shortening fermentation times, while the significant increase in viscosity could improve the sensory properties, making the yogurt creamier and more appealing to consumers. These findings are consistent with previous research that has demonstrated the ability of anthocyanin-rich and fiber-rich ingredients to enhance the functional properties of fermented dairy products [4].

The goat milk yogurt with purple flours (açai, beetroot, and hibiscus), as observed in this study, significantly impacted the LAB, pH, and apparent viscosity, highlighting the functional potential of these plant-based ingredients. Including beet (BGY) and hibiscus (HGY) flours demonstrated effects on the characteristics of goat milk yogurt, suggesting

that these flours could enhance both the functional properties and the textural quality of yogurt.

The LAB counts differed significantly among the treatments with the highest counts observed in beet (13.56 log CFU/g) and hibiscus (13.16 log CFU/g) flour yogurts, indicating that these flours may provide an optimal environment for bacterial growth. These results are consistent with previous studies showing that plant-based additives rich in bioactive compounds, such as anthocyanins and fibers, can promote the proliferation of bacteria [6, 18]. The high LAB count in BGY and HGY suggests that beet and hibiscus flours may serve as substrates. In contrast, the açai flour yogurt (AGY) exhibited the lowest LAB count, potentially due to the inhibitory effects of certain compounds in açai that may suppress microbial growth [7].

The yogurts' pH values further illustrate hibiscus flour's distinct impact on fermentation. While the control (CGY), açai (AGY), and beet flour (BGY) yogurts-maintained pH values typical of fresh yogurt, the hibiscus flour yogurt (HGY) displayed a significantly lower pH of 5.16. This marked reduction in pH may be attributed to the natural organic acids present in hibiscus, such as citric and malic acids, which contribute to the faster acidification process. This aligns with findings from other studies indicating that hibiscus-based ingredients can enhance both flavor development and the preservation of fermented dairy products by lowering the pH [8, 9]. The accelerated acidification in HGY could potentially improve the shelf life of the yogurt, as lower pH levels inhibit the growth of spoilage microorganisms.

The significant variation of apparent viscosity between treatments highlights the functional benefits of beet and hibiscus flours in improving the texture of yogurt. The beet flour yogurt (BGY) exhibited the highest viscosity (196.59 mPa·s), which was substantially greater than the other treatments ($p < 0.05$). This pronounced thickening effect is likely due to the high polysaccharide and fiber content in beet flour, which interacts with milk proteins during fermentation to create a denser and creamier yogurt matrix [4]. The intermediate viscosity observed in the hibiscus flour yogurt (HGY) (95.11 mPa·s) further supports the role of purple flours in enhancing the texture of yogurt, although hibiscus flour did not demonstrate the same thickening power as beet flour. The control (CGY) and açai flour (AGY) yogurts had significantly lower viscosities (70.60 and 50.08 mPa·s, respectively), suggesting that açai flour may lack the thickening properties of beet and hibiscus flours. Further research should investigate the

specific components of these flours that are responsible for their effects and explore their application in other fermented dairy products.

The inclusion of purple flour in goat milk yogurt formulations significantly influenced sensory characteristics, with açai flour emerging as the most acceptable additive. The dark pigmentation of açai flour enhanced the yogurt's appearance without detracting from its traditional sensory profile. The results align with literature findings, which noted that natural pigments improve visual attractiveness in dairy products without adversely affecting consumer perceptions [5, 19].

CONCLUSION

The addition of purple flour, primarily beet and hibiscus flours, to goat milk yogurt has been found to significantly enhance the growth of lactic acid bacteria, acidification, and apparent viscosity during fermentation. These results indicate that purple flour could serve as a valuable functional additive, enhancing goat milk yogurt's fermentation process and textural qualities. These findings may have important implications for developing new, functional goat milk yogurts.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (grant number. 303074/2021-3 and 404190.2022.7, CNPq, Brazil), Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo (SESCOOP) (grant number. 404190/2022-7). And the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (grant number.

DECLARATION OF INTERESTS

The authors declare no conflicts of interest related to this work.

REFERENCE

1. Clark, S., García, M.B.M.: A 100-year review: Advances in goat milk research. *Journal of dairy science*. 100, 10026–10044 (2017)
2. Costa, M.P., Frasaio, B.S., Silva, A.C.O., Freitas, M.Q., Franco, R.M., Conte-Junior, C.A.: Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp, probiotic, and prebiotic: Influence on color, apparent viscosity, and texture of goat milk yogurts. *Journal of Dairy Science*. 98, 5995–6003 (2015). <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9738>
3. Costa, M.P., Monteiro, M.L.G., Frasaio, B.S., Silva, V.L.M., Rodrigues, B.L., Chiappini, C.C.J., Conte-Junior, C.A.: Consumer perception, health information, and instrumental parameters of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) goat milk yogurts. *Journal of Dairy Science*. 100, 157–168 (2017). <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11315>
4. Saha, D., Bhattacharya, S.: Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *J Food Sci Technol*. 47, 587–597 (2010). <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>
5. da Costa, M.P., da Silva Frasaio, B., da Costa Lima, B.R.C., Rodrigues, B.L., Junior, C.A.C.: Simultaneous analysis of carbohydrates and organic acids by HPLC-DAD-RI for monitoring goat's milk yogurts fermentation. *Talanta*. 152, 162–170 (2016)
6. Gonzali, S., Perata, P.: Anthocyanins from purple tomatoes as novel antioxidants to promote human health. *Antioxidants*. 9, 1017 (2020)
7. Badía-Olmos, C., Sánchez-García, J., Laguna, L., Zúñiga, E., Haros, C.M., Andrés, A.M., Tarrega, A.: Flours from fermented lentil and quinoa grains as ingredients with new techno-functional properties. *Food Research International*. 177, 113915 (2024)
8. Kumral, A.: Nutritional, chemical and microbiological changes during fermentation of tarhana formulated with different flours. *Chemistry Central Journal*. 9, 16 (2015). <https://doi.org/10.1186/s13065-015-0093-4>
9. Ferreira, L.M., Mendes-Ferreira, A., Benevides, C.M., Melo, D., Costa, A.S., Mendes-Faia, A., Oliveira, M.B.P.: Effect of controlled microbial fermentation on nutritional and functional characteristics of cowpea bean flours. *Foods*. 8, 530 (2019)
10. Baranyi, J., Roberts, T.A.: A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International journal of food microbiology*. 23, 277–294 (1994)
11. GW, A.: *Official methods of analysis of AOAC International*. Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5, (2016)
12. Drake, M.A.: Invited review: Sensory analysis of dairy foods. *Journal of dairy science*. 90, 4925–4937 (2007)

13. Macfie, H.J., Bratchell, Nicholas., Greenhoff, Keith., Vallis, L.V.: DESIGNS TO BALANCE THE EFFECT OF ORDER OF PRESENTATION AND FIRST-ORDER CARRY-OVER EFFECTS IN HALL TESTS. *Journal of Sensory Studies*. 4, 129–148 (1989). <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1989.tb00463.x>
14. Li, H., Gao, J., Chen, W., Qian, C., Wang, Y., Wang, J., Chen, L.: Lactic acid bacteria isolated from Kazakh traditional fermented milk products affect the fermentation characteristics and sensory qualities of yogurt. *Food Science & Nutrition*. 10, 1451–1460 (2022). <https://doi.org/10.1002/fsn3.2755>
15. Sah, B.N.P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., Donkor, O.N.: Effect of refrigerated storage on probiotic viability and the production and stability of antimutagenic and antioxidant peptides in yogurt supplemented with pineapple peel. *Journal of Dairy Science*. 98, 5905–5916 (2015)
16. Bayili, G.R., Johansen, P., Nielsen, D.S., Sawadogo-Lingani, H., Ouedraogo, G.A., Diawara, B., Jespersen, L.: Identification of the predominant microbiota during production of lait caillé, a spontaneously fermented milk product made in Burkina Faso. *World J Microbiol Biotechnol*. 35, 100 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2672-3>
17. Dos Santos Rosario, I.L., Vieira, C.P., Salgado, M.J.G., Monteiro, N.B., Alzate, K.G., De Araújo, G.C., Delgado, K.F., Conte-Junior, C.A., Da Costa, M.P.: Assessment of plain yoghurt quality parameters affected by milk adulteration: Implications for culture kinetics, physicochemical properties, and sensory perception. *Int J of Dairy Tech*. 1471–0307.13077 (2024). <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13077>
18. Arslaner, A., Salik, M.A., Bakirci, İ.: The effects of adding Hibiscus sabdariffa L. flowers marmalade on some quality properties, mineral content and antioxidant activities of yogurt. *J Food Sci Technol*. 58, 223–233 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04533-z>
19. Costa, M.P., Rosario, A.I.L., Silva, V.L., Vieira, C.P., Conte-Junior, C.A.: Rheological, physical and sensory evaluation of low-fat cupuassu goat milk yogurts supplemented with fat replacer. *Food Science of Animal Resources*. 42, 210 (2022)

Highlights

- Beetroot and hibiscus flours significantly enhance LAB growth in goat milk yogurt.
- Hibiscus flour accelerates fermentation, achieving a final pH of 4.53.
- Beetroot flour increases yogurt viscosity.
- Purple flour improves fermentation efficiency and yogurt texture.
- Purple flour offers potential as a functional additive in dairy product development.

Table 1. Estimated primary growth parameters (means of three independent replicates \pm SD) of lactic acid bacteria during fermentation of milk with purple flour addition. Parameters were fitted using the DMFit tool from the ComBase software (browser.combase.cc/DMFit.aspx) based on the equations described by Baranyi and Roberts (1994).

Treatment	y_0	y_{\max}	μ_{\max}	R^2
	5.91	11.06	0.02	0.957
CGY	$\pm 0.04^A$	$\pm 0.30^A$	$\pm 0.01^A$	
	6.30	12.27	0.02	0.968
AGY	$\pm 0.68^A$	$\pm 0.59^B$	$\pm 0.01^A$	
	6.74	13.25	0.02	0.968
BGY	$\pm 0.32^A$	$\pm 0.64^B$	$\pm 0.01^A$	
	6.51	13.26	0.03	0.975
HGY	$\pm 0.26^A$	$\pm 0.11^B$	$\pm 0.01^A$	

^{A,B} Different uppercase superscripts indicate significant differences among treatments of goat milk yogurts ($p < 0.05$); y_0 = initial cell concentration ($\log \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), y_{\max} = maximum cell concentration ($\log \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$), μ_{\max} = maximum growth rate ($\log \text{CFU} / \text{g} \cdot \text{h}^{-1}$), R^2 = coefficient of determination. CGY, goat milk yogurt without flour (control); AGY, goat milk yogurt with açai flour; BGY, goat milk yogurt with beet flour; HGY, goat milk yogurt with hibiscus flour.

Table 2. pH and apparent viscosity of goat milk yogurts supplemented with purple flour during fermentation.

Analysis	Fermentation (minutes)	Treatments			
		CGY	AGY	BGY	HGY
pH	0	6.64±0.04 ^{a,B}	6.76 ±0.10 ^{a,A}	6.71±0.02 ^{a,AB}	5.16±0.04 ^{a,C}
	60	6.57±0.03 ^{a,A}	6.57±0.02 ^{ab,A}	6.58±0.02 ^{a,A}	5.07±0.03 ^{a,B}
	120	6.41±0.02 ^{a,A}	6.38±0.02 ^{b,A}	6.31±0.01 ^{a,B}	5.04±0.03 ^{ab,C}
	180	6.22±0.10 ^{a,A}	6.20±0.17 ^{bc,A}	5.47±0.08 ^{b,B}	4.96±0.09 ^{b,C}
	240	5.86±0.39 ^{b,A}	5.72±0.35 ^{c,A}	5.20±0.15 ^{b,B}	4.92±0.07 ^{b,C}
	300	5.62±0.13 ^{b,A}	5.47±0.08 ^{c,A}	5.06±0.01 ^{c,B}	4.88±0.04 ^{b,C}
	360	5.29±0.02 ^{c,A}	5.29±0.05 ^{c,A}	4.83±0.11 ^{d,B}	4.83±0.06 ^{b,B}
	420	5.05±0.13 ^{cd,A}	4.97±0.09 ^{d,A}	4.70±0.12 ^{d,B}	4.75±0.08 ^{b,B}
	480	4.96±0.03 ^{d,A}	4.86±0.03 ^{d,A}	4.65±0.07 ^{de,B}	4.75±0.07 ^{b,B}
	540	4.80±0.16 ^{d^a,A}	4.72±0.09 ^{de,A}	4.61±0.09 ^{de,B}	4.70±0.12 ^{b,AB}
	600	4.55± 0.03 ^{a,A}	4.47±0.08 ^{e,A}	4.54±0.13 ^{e,A}	4.53±0.07 ^{b,A}
Apparent viscosity (mPa.s)	0	27.97±2.55 ^{c,A}	28.90±2.24 ^{c,A}	29.43±3.69 ^{e,A}	32.26±3.08 ^{d,A}
	60	27.91±1.12 ^{c,C}	28.45±2.50 ^{e,BC}	29.70±1.78 ^{e,B}	34.05±0.29 ^{d,A}
	120	29.49±2.29 ^{c,C}	27.75±3.16 ^{c,BC}	30.37±0.40 ^{e,B}	34.95±1.07 ^{d,A}
	180	29.62±2.53 ^{c,C}	30.95±1.38 ^{bc,BC}	34.39±1.27 ^{de,B}	41.79±6.89 ^{cd,A}
	240	29.75±4.10 ^{c,C}	34.15±2.66 ^{b,BC}	38.42±2.24 ^{d,B}	48.62±2.74 ^{c,A}
	300	33.26±2.10 ^{c,C}	38.95±2.81 ^{ab,BC}	45.46±1.66 ^{d,AB}	48.36±1.85 ^{c,A}
	360	36.77±1.65 ^{c,C}	43.75±4.88 ^{a,B}	52.50±5.40 ^{cd,AB}	57.10±2.81 ^{c,A}
	420	39.40±3.08 ^{bc,C}	45.02±3.79 ^{a,B}	71.14±6.66 ^{c,A}	57.80±1.57 ^{bc,A}
	480	42.03±5.95 ^{b,C}	46.30±2.94 ^{a,C}	89.79±8.43 ^{c,A}	67.51±3.36 ^{ab,B}
	540	54.63±0.53 ^{ab,C}	47.00±2.38 ^{a,C}	138.51±3.26 ^{b,A}	79.05±6.05 ^{a,B}
	600	67.24±2.65 ^{a,C}	47.70±2.32 ^{a,D}	187.23±2.96 ^{a,A}	90.59±4.87 ^{a,B}

Values were expressed as a mean ± SD (n=3).

^{a-c} Different lowercase superscripts indicate significant differences among fermentation time (p<0.05).

^{A-D} Different uppercase superscripts indicate significant differences among treatments of goat milk yogurts ($p < 0.05$).
CGY, goat milk yogurt without flour (control); AGY, goat milk yogurt with açai flour; BGY, goat milk yogurt with beet flour; HGY, goat milk yogurt with hibiscus flour.

Table 3. Lactic acid bacteria count, pH, apparent viscosity and sensory acceptance of goat milk yogurts supplemented with purple flours (day 0).

Analysis	Treatments			
	CGY	AGY	BGY	HGY
LAB (log cfu.g⁻¹)	12.03±0.90 ^B	11.35±0.37 ^C	13.56±0.38 ^A	13.16±0.25 ^A
pH	4.51±0.04 ^A	4.46 ±0.10 ^A	4.52±0.02 ^A	4.51±0.04 ^A
Apparent viscosity (mPa.s)	70.60±2.55 ^C	50.08±2.24 ^D	196.59±3.69 ^A	95.11±3.08 ^B
Appearance	5.67±2.35 ^{AB}	6.15±2.17 ^A	5.50±2.51 ^{AB}	4.94±2.42 ^B
Color	6.47±2.06 ^A	6.45±2.08 ^A	6.06±2.31 ^A	5.33±2.50 ^A
Aroma	6.55±2.17 ^A	5.73±2.06 ^A	4.03±2.18 ^B	4.08±2.03 ^B
Flavor	4.32±2.55 ^A	4.00±2.38 ^A	2.85±2.16 ^B	2.15±1.48 ^B
Viscosity	4.36±2.27 ^B	4.44±2.40 ^B	5.58±2.24 ^A	5.61±2.13 ^A
Overall acceptability	4.36±2.47 ^A	4.48±2.33 ^A	3.39±2.17 ^B	2.62±1.81 ^B

Values were expressed as a mean ± SD (n=3).

^{A-D} Different uppercase superscripts indicate significant differences among treatments of goat milk yogurts (p<0.05).

CGY, goat milk yogurt without flour (control); AGY, goat milk yogurt with açai flour; BGY, goat milk yogurt with beet flour; HGY, goat milk yogurt with hibiscus flour; LAB, Lactic acid bacteria.

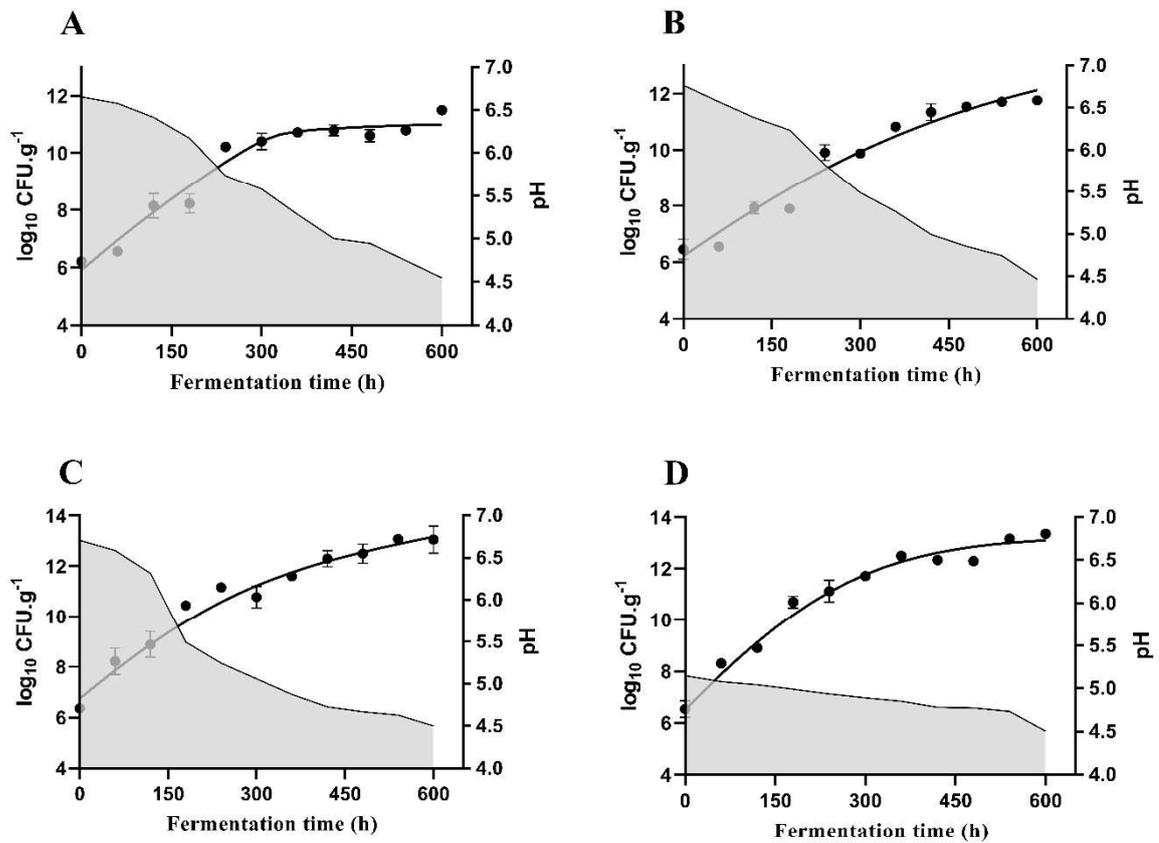


Figure 1. Primary models obtained by growth curves of lactic acid bacteria in goat milk yogurt with purple flour addition during fermentation. (A) CGY; (B) AGY; (C) BGY; (D) HGY. Each point represents an average of triplicate results, the solid lines represent the Baranyi model, and the painted area represents the pH decrease after bacterial fermentation.

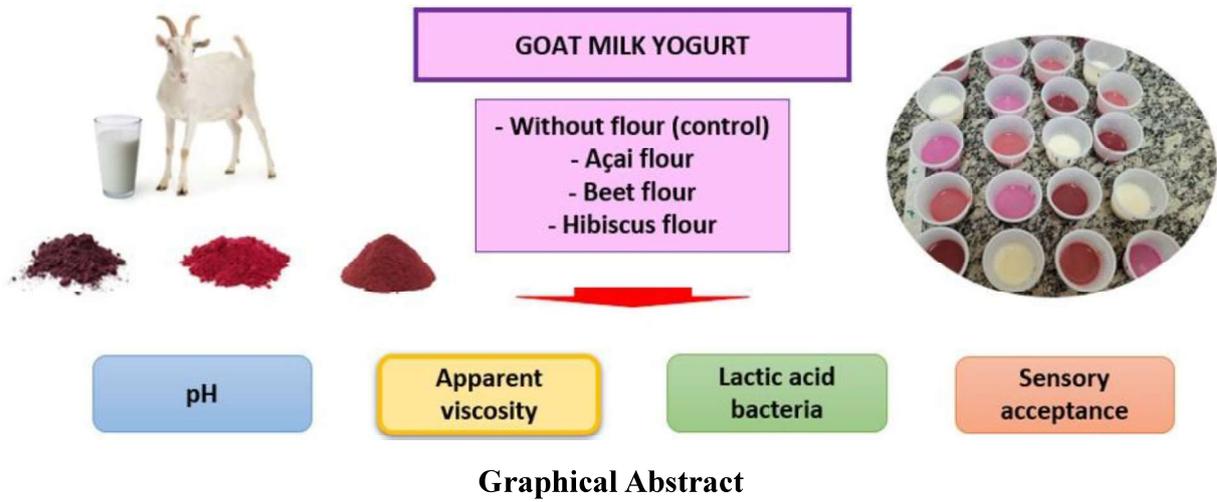


Figure 2. Graphical Abstract.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de farinhas roxas (açai, beterraba e hibisco) no processo de fermentação do iogurte de leite de cabra trouxe impactos distintos e significativos sobre os parâmetros de pH, viscosidade e crescimento das bactérias ácido-láticas (BAL). Além disso, foi possível aprimorar a qualidade reológica e microbiológica do iogurte de leite de cabra com o uso de farinhas roxas bioativas, demonstrando-se que tais aditivos vegetais podem contribuir para o desenvolvimento de produtos lácteos inovadores e funcionais.

A farinha de hibisco mostrou-se particularmente eficaz na redução do pH do iogurte, evidenciando um potencial acidificante elevado. Este aspecto é especialmente relevante para a produção de iogurtes que demandam uma acidez mais pronunciada, atributo que, além de melhorar a preservação do produto, agrada a um nicho de consumidores que prefere iogurtes de sabor mais ácido. Observou-se que o tratamento com farinha de hibisco apresentou o menor pH desde o início da fermentação, indicando um processo acidificante mais acelerado em comparação com as farinhas de açai e beterraba. Esta característica pode ser explorada em formulações onde se busca um produto com maior acidez e um perfil sensorial diferenciado.

No que diz respeito à textura, a farinha de beterraba demonstrou ser o aditivo com maior capacidade de aumentar a viscosidade do iogurte de leite de cabra. O incremento na viscosidade sugere que a farinha de beterraba melhora a cremosidade e a consistência do produto, atributos que são amplamente preferidos pelos consumidores e fundamentais para a aceitação de iogurtes no mercado. A presença de polissacarídeos na beterraba, os quais interagem com as proteínas do leite, possivelmente explica esse aumento na viscosidade, criando uma matriz mais densa e uniforme. Assim, a farinha de beterraba e hibisco induziram a um aumento mais acentuado na viscosidade durante a fermentação, em comparação com os tratamentos controle e com farinha de açai. Dessa forma, se apresenta como uma opção promissora para otimizar a textura de iogurtes caprinos, que naturalmente possuem uma estrutura de gel mais frágil e delicada.

A farinha de açai apresentou um impacto moderado nos parâmetros analisados, destacando-se por fornecer um pH mais básico ou equivalente ao controle ao longo do processo fermentativo. Em relação à viscosidade, observou-se que esta permaneceu semelhante ao controle durante quase todo o processo, mas resultou em um produto final menos viscoso. Diferentemente de outros aditivos, a farinha de açai não promoveu aumento na viscosidade

nem acidificação significativa. Além disso, análises estatísticas indicaram que a contagem de bactérias ácido-láticas (BAL) no iogurte suplementado com farinha de açaí foi inferior à observada no controle no produto final. Esses resultados sugerem que a farinha de açaí pode ser utilizada em formulações que priorizem a estabilidade de parâmetros sensoriais (aceitação), sem causar alterações drásticas no perfil do produto.

Entretanto, o estudo apresenta limitações, como a variabilidade nos resultados fermentativos, influenciada por condições experimentais específicas e pelas características próprias de cada farinha. Futuras pesquisas podem investigar condições ideais de fermentação e concentrações das farinhas para maximizar os benefícios.

Portanto, o uso de ingredientes bioativos na indústria de lácteos impulsiona a inovação de produtos que aliam qualidade sensorial, atendendo tanto às demandas dos consumidores quanto às necessidades de saúde e bem-estar.

REFERÊNCIAS

- ANNUNZIATA, G.; ARNONE, A.; CIAMPAGLIA, R.; TENORE, G. C.; NOVELLINO, E. Fermentation of foods and beverages as a tool for increasing availability of bioactive compounds. Focus on short-chain fatty acids. *Foods*, v. 9, n. 8, p. 999, 2020.
- ARAB, M.; YOUSEFI, M.; KHANNIRI, E.; AZARI, M.; GHASEMZADEH-MOHAMMADI, V.; MOLLAKHALILI-MEYBODI, N. A comprehensive review on yogurt syneresis: effect of processing conditions and added additives. *Journal of Food Science and Technology*, v. 60, n. 6, p. 1656-1665, 2023.
- ARIOLI, S.; DELLA SCALA, G.; REMAGNI, M. C.; STUKNYTE, M.; COLOMBO, S.; GUGLIELMETTI, S.; MORA, D. Streptococcus thermophilus urease activity boosts Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus homolactic fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, v. 247, p. 55-64, 2017.
- ARSLANER, A.; SALIK, M. A.; BAKIRCI, I. The effects of adding *Hibiscus sabdariffa* L. flowers marmalade on some quality properties, mineral content and antioxidant activities of yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, p. 223-233, 2021. DOI: 10.1007/s13197-020-04533-z.
- ASGARY, S.; AFSHANI, M. R.; SAHEBKAR, A.; KESHVARI, M.; TAHERI, M.; JAHANIAN, E.; SARRAFZADEGAN, N. Improvement of hypertension, endothelial function and systemic inflammation following short-term supplementation with red beet (*Beta vulgaris* L.) juice: a randomized crossover pilot study. *Journal of Human Hypertension*, v. 30, n. 10, p. 627-632, 2016.
- BORGES, M. V.; DE SOUSA, E. B.; SILVEIRA, M. F. A.; DE SOUZA, A. R. M.; ALVES, V. M.; NUNES, L. B. M.; BARROS, S. K. A. Propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha do resíduo de açaí e sua utilização. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, p. e17810514517-e17810514517, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.14517.
- BOUKID, F.; HASSOUN, A.; ZOUARI, A.; TÛLBEK, M. Ç.; MEFLEH, M.; AÏT-KADDOUR, A.; CASTELLARI, M. Fermentation for designing innovative plant-based meat and dairy alternatives. *Foods*, v. 12, n. 5, p. 1005, 2023.
- BOUZAIENE, T.; MOHAMEDHEN VALL, M.; ZIADI, M.; BEN REJEB, I.; YANGUI, I.; AYDI, A.; MOKTAR, H. Exopolysaccharides from *Lactiplantibacillus plantarum* C7 exhibited antibacterial, antioxidant, anti-enzymatic, and prebiotic activities. *Fermentation*, v. 10, n. 7, p. 339, 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leites fermentados. *Diário Oficial da União*, Brasília, 24 out. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 37, de 31 de outubro de 2000. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade de produtos lácteos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1 nov. 2000.

CHHIKARA, N.; KUSHWAHA, K.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. **Food chemistry**, v. 272, p. 192-200, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.08.022.

CID-ORTEGA, S.; GUERRERO-BELTRÁN, J. A. Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa*), an alternative to the food and beverages industries: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 11, p. 6859-6869, 2015. DOI: 10.1007/s13197-015-1800-9.

COSTA, M. P.; ROSARIO, A. I. L.; SILVA, V. L.; VIEIRA, C. P.; CONTE-JUNIOR, C. A. Rheological, physical and sensory evaluation of low-fat cupuassu goat milk yogurts supplemented with fat replacer. **Food Science of Animal Resources**, v. 42, n. 2, p. 210, 2022.

DE LIMA YAMAGUCHI, K. K.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; DA VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food chemistry**, v. 179, p. 137-151, 2015. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.01.055.

ECHEGARAY, N.; MUNEKATA, P. E.; GULLÓN, P.; DZUVOR, C. K.; GULLÓN, B.; KUBI, F.; LORENZO, J. M. Recent advances in food products fortification with anthocyanins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 6, p. 1553-1567, 2022.

GÓMEZ-MEJIA, A.; ORLIETTI, M.; TARNUTZER, A.; MAIRPADY SHAMBAT, S.; ZINKERNAGEL, A. S. Inhibition of *Streptococcus pyogenes* biofilm by *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lactocaseibacillus rhamnosus*. **mSphere**, v. 9, e00430-24, 2024.

GUAN, Y.; CUI, Y.; QU, X.; LI, B.; ZHANG, L. Post-acidification of fermented milk and its molecular regulatory mechanism. **International Journal of Food Microbiology**, v. 2024, p. 110920, 2024.

GÜNEŞER, O. Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. **Food Chemistry**, v. 196, p. 220-227, 2016. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.033.

GURSEL, A.; GURSOY, A.; ANLI, E. A. K.; BUDAK, S. O.; AYDEMIR, S.; DURLU-OZKAYA, F. Role of milk protein-based products in some quality attributes of goat milk yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 4, p. 2694-2703, 2016.

ISMAIL, M. M.; HAMAD, M. F.; ELRAGHY, E. M. Using goat's milk, barley flour, honey, and probiotic to manufacture of functional dairy product. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 10, p. 677-691, 2018.

JESKE, S.; ZANNINI, E.; ARENDT, E. K. Past, present and future: the strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International*, v. 110, p. 42-51, 2018.

LIU, W. Y.; WANG, X.; REN, J.; ZHENG, C. D.; WU, H. S.; MENG, F. T.; LING, K.; QI, X. Y.; ZHOU, M.; WANG, Y.; GU, R. Z.; HAN, L. J.; ZHANG, Y. J. Preparation, characterization, identification, and antioxidant properties of fermented açaí (*Euterpe oleracea*). *Food Science & Nutrition*, v. 11, n. 6, p. 2925-2941, 2023. DOI: 10.1002/fsn3.3274.

MAHFUDH, N.; HADI, A.; SOLECHAN, R. A. Z. Immunomodulatory activity of yogurt fortified with roselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) extract. *International Food Research Journal*, v. 28, n. 2, p. 255-261, 2021. DOI: 10.47836/ifrj.28.2.04.

MENEZES, E. M. D. S.; ROSENTHAL, A.; SABAA-SRUR, A.; CAMARGO, L.; CALADO, V.; SANTOS, A. High hydrostatic pressure effect on enzyme activity of açai pulp. *Food Science and Technology*, v. 28, p. 14-19, 2008. DOI: 10.1590/S010120612008000500003.

MUÑOZ-TEBAR, N.; MUÑOZ-BAS, C.; VIUDA-MARTOS, M.; SAYAS-BARBERÁ, E.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Fortification of goat milk yogurts with date palm (*Phoenix dactylifera L.*) coproducts: impact on their quality during cold storage. *Food Chemistry*, v. 454, p. 139800, 2024.

OZCAN, T.; OZDEMIR, T.; AVCI, H.R. Survival of *Lactobacillus casei* and functional characteristics of reduced sugar red beetroot yoghurt with natural sugar substitutes. *International Journal of Dairy Technology*, v. 74, n. 1, p. 148-160, 2021. DOI: 10.1111/1471-0307.12741.

OZDEMIR, T. & OZCAN, T. Effect of steviol glycosides as sugar substitute on the probiotic fermentation in milk gels enriched with red beetroot (*Beta vulgaris L.*) bioactive compounds. *LWT-Food Science and Technology*, v. 134, p. 109851, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109851.

PALUNGWACHIRA, P.; TANCHAROEN, S.; PHRUKSANIYOM, C.; KLUNGSANG, S.; SRICHAN, R.; KIKUCHI, K.; NARARATWANCHAI, T. Antioxidant and anti-inflammatory properties of anthocyanins extracted from *Oryza sativa L.* in primary dermal fibroblasts. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, v. 2019, n. 1, p. 2089817, 2019.

PHAM, V. T.; CALATAYUD, M.; ROTSART, C.; SEIFERT, N.; RICHARD, N.; VAN DEN ABEELE, P.; STEINERT, R. E. Antioxidant vitamins and prebiotic FOS and XOS differentially shift microbiota composition and function and improve intestinal epithelial barrier *in vitro*. *Nutrients*, v. 13, n. 4, p. 1125, 2021.

QIU, S.; ZENG, H.; YANG, Z.; HUNG, W. L.; WANG, B.; YANG, A. **Dynamic metagenome-scale metabolic modeling of a yogurt bacterial community.** *Biotechnology and Bioengineering*, v. 120, n. 8, p. 2186-2198, 2023.

- ROMANI, V. P.; MARTINS, V. G.; DA SILVA, A. S.; MARTINS, P. C.; NOGUEIRA, D.; CARBONERA, N. Amazon-sustainable-flour from açai seeds added to starch films to develop biopolymers for active food packaging. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 139, n. 5, p. 51579, 2022. DOI: 10.1002/app.51579.
- SANTOS, J.; VASCONCELOS, M. D. F. M.; DE OLIVEIRA, G. L. S.; DA COSTA SILVA, V.; JÚNIOR, I. D. B.; PAGANI, A. A. C. Avaliação dos compostos bioativos e ação antioxidante do iogurte de beterraba com limão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 29301-29311, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-398.
- SANTOS, M. S.; CARVALHO, C. B.; KEMPINSKI, E. C.; DUENHA ANTIGO, J. L.; MADRONA, G. S. Avaliação da qualidade de sorvete de leite com diferentes concentrações de beterraba, **Brazilian journal of surgery and clinical research**, v.13, n. 3, p.17-21, 2016.
- SHEN, N.; WANG, T.; GAN, Q.; LIU, S.; WANG, L.; JIN, B. Plant flavonoids: classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 383, p. 132531, 2022.
- SILVA, V. L.; COSTA, M. P.; VIEIRA, C. P.; CONTE-JUNIOR, C. A. Biogenic amine formation during fermentation in functional sheep milk yogurts. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 10, p. 8704-8709, 2019.
- SOUZA, M. M. P.; MATTANNA, P. Desenvolvimento de produtos enriquecidos com farinha de talos de Beterraba. **Revista Eletrônica Biociências, Biotecnologia e Saúde**, v. 12, n. 23, p. 16-26, 2019.
- SU, N.; YE, Z.; LI, J.; YANG, L.; HOU, G.; YE, M. Effect of the addition of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts on the rheological, textural, and antioxidant activity of fermented milks. **Flavour and fragrance journal**, v. 35, n. 1, p. 42-50, 2019. DOI: 10.1002/ffj.3526.
- TARIQUE, M.; ALI, A. H.; KIZHAKKAYIL, J.; GAN, R. Y.; LIU, S. Q.; KAMAL-ELDIN, A.; AYYASH, M. Investigating the biological activities and prebiotic potential of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus delbrueckii* and *Lactocaseibacillus rhamnosus*: implications for gut microbiota modulation and rheological properties in fermented milk. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 4, p. 100162, 2023.
- TIAN, H.; SHI, Y.; ZHANG, Y.; YU, H.; MU, H.; CHEN, C. Screening of aroma-producing lactic acid bacteria and their application in improving the aromatic profile of yogurt. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 10, e12837, 2019.
- WANG, J.; WEI, B.; XU, J.; JIANG, H.; XU, Y.; WANG, C. Influence of lactic acid fermentation on the phenolic profile, antioxidant activities, and volatile compounds of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) juice. **Journal of Food Science**, v. 89, n. 2, p. 834-850, 2024.