



CATÓLICA
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE XAROPES
À BASE DE CEREAIS

Por

Carolina Saleiro Torres Soares

Julho, 2025



CATÓLICA
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE XAROPES À BASE DE CEREAIS

Relatório de Estágio apresentado à Escola Superior de Biotecnologia da
Universidade Católica Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em
Biotecnologia e Inovação

Por

Carolina Saleiro Torres Soares

Orientadora (Universidade): Prof.^a Doutora Ana Maria Gomes

Supervisor (Empresa): Ricardo Taveira

Julho, 2025

RESUMO

A transição global para sistemas alimentares mais sustentáveis tem impulsionado a procura de alimentos *plant-based* capazes de conciliar um bom valor nutricional com eficiência logística. O trabalho realizado teve como objetivo o desenvolvimento de xaropes à base de cereais no sentido destes substituírem as bases concentradas de cereais, o produto mais produzido pela Benefit, submarca da Frulact. Foi desenvolvido um processo de obtenção de xaropes de dois tipos de cereais, de aveia e de arroz, a partir de bases concentradas destes mesmos cereais, com monitorização contínua de pH, teor de sólidos (°Brix), atividade de água, viscosidade e perfil de açúcares. Os primeiros ensaios, processados para atingir 75 °Brix, exibiam viscosidades próximas de 55 000 cP's, inviabilizando o bombeamento industrial. A redução progressiva da temperatura e da pressão no evaporador, a fixação de 71–72 °Brix e a inclusão de β -glucanase permitiram diminuir a viscosidade, sem comprometer o pH neutro nem a estabilidade microbiológica. A segunda etapa avaliou a aplicação do xarope de aveia em 3 tipos de alimentos: barritas de cereais, *cookies* e numa bebida “barista”. Nas barritas, o xarope substituiu mel e xarope de ácer após correções de fase seca, originando produtos estruturalmente coesos, muito menos doces e com sabor a cereal mais pronunciado. Nas *cookies*, a substituição do mel pelo xarope de aveia gerou bolachas mais claras e crocantes, com doçura equilibrada e notas de cereal evidentes. Na bebida barista, juntando o xarope com água, óleo de coco e sais foi possível manter o corpo cremoso e formar espuma estável durante um período igual ou superior a 10 minutos. Procedeu-se à otimização da fórmula de xarope de aveia, explorando 13 ensaios que combinaram diferentes tipos de farinha (integral, sem glúten, endosperma), cargas enzimáticas diferentes (α -amilases bacterianas e fúngicas, β -glucanase, β -xilanase, glucoamilase) e condições de cisalhamento a 40 °C e 25 mbar. O objetivo de pH 6–7,5, 71–72 °Brix, viscosidade < 9 000 cP, glucose $\approx$ 250 g/L e maltose $\approx$ 150 g/L foi atingido nos Ensaios 9 e 12. Para além dos avanços técnicos obtidos, o presente estágio assegurou o estabelecimento de uma ligação efetiva com o setor da indústria alimentar, mediante integração na Benefit/Frulact, proporcionando uma experiência imersiva na dinâmica organizacional e nos fluxos operacionais de um departamento de Inovação, Investigação e Desenvolvimento de Produto. Simultaneamente, possibilitou a aplicação do conhecimento técnico-científico consolidado ao longo do Mestrado em Biotecnologia e Inovação, potenciando o desenvolvimento de competências profissionais e pessoais de elevado nível. Num olhar focado no futuro, este estudo evidencia que a escolha de enzimas com melhor relação custo-benefício e a repetição de lotes-piloto são passos essenciais para consolidar a robustez estatística dos resultados antes da transição para processo industrial.

Palavras-chave: *Plant-Based*, Bases Concentradas, Xaropes de Cereais, Aplicações, Otimização

ABSTRACT

The global transition to more sustainable food systems has driven demand for *plant-based* foods that combine good nutritional value with logistical efficiency. The aim of the work carried out was to develop cereal-based syrups to replace concentrated cereal bases, the most widely produced product by Benefit, a sub-brand of Frulact. A process was developed to obtain syrups from two types of cereals, oats and rice, from concentrated bases of these same cereals, with continuous monitoring of pH, solids content (°Brix), water activity, viscosity and sugar profile. The first tests, processed to reach 75 °Brix, exhibited viscosities close to 55,000 cP, making industrial pumping unfeasible. The progressive reduction of temperature and pressure in the evaporator, the setting of 71–72 °Brix and the inclusion of β -glucanase made it possible to reduce viscosity without compromising neutral pH or microbiological stability. The second stage evaluated the application of oat syrup in three types of food: cereal bars, cookies and a ‘barista’ drink. In the bars, the syrup replaced honey and maple syrup after dry phase corrections, resulting in structurally cohesive products that were much less sweet and had a more pronounced cereal flavour. In the cookies, replacing honey with oat syrup resulted in lighter and crispier cookies with balanced sweetness and evident cereal notes. In the barista drink, adding the syrup to water, coconut oil and salts made it possible to maintain a creamy body and form stable foam for a period of 10 minutes or more. The oat syrup formula was optimised by exploring 13 versions that combined different types of flour (wholemeal, gluten-free, endosperm), different enzyme loads (bacterial and fungal α -amylases, β -glucanase, β -xylanase, glucoamylase) and shear conditions at 40 °C and 25 mbar. The target pH 6–7.5, 71–72 °Brix, viscosity < 9,000 cP, glucose $\approx$ 250 g/L and maltose $\approx$ 150 g/L was achieved in Versions 9 and 12. In addition to the technical advances achieved, this internship ensured the establishment of an effective link with the food industry sector through integration into Benefit/Frulact, providing an immersive experience in the organisational dynamics and operational flows of an Innovation, Research and Product Development department. At the same time, it enabled the application of technical and scientific knowledge consolidated throughout the Master's Degree in Biotechnology and Innovation, enhancing the development of high-level professional and personal skills. Looking to the future, this study shows that choosing the most cost-effective enzymes and repeating pilot batches are essential steps in consolidating the statistical robustness of the results before transitioning to industrial production.

Keywords: Plant-Based, Concentrated Bases, Cereal Syrups, Applications, Optimization

Agradecimentos

É com sincera gratidão que dedico este espaço àqueles que, de diversas maneiras, tornaram este percurso possível e pleno de significado.

Deixo um tributo muito especial a quem me conduziu nesta etapa de aprendizagem. À Professora Doutora Ana Gomes, que, com sensatez e espírito crítico, guiou cada decisão e fez deste projeto uma experiência de crescimento sólido. Ao Dr. Ricardo Taveira que foi o pilar durante os seis meses de estágio, ensinou-me todos os procedimentos e alicerçou todo o processo com as suas ideias e conselhos. Recordo ainda, com gratidão e saudade, os restantes membros da equipa BENEFIT João Taveira e Sofia Xavier, agradeço a paciência, a disponibilidade, a confiança depositada, e os felizes momentos vividos.

Um sincero obrigado à Frulact por me acolher e permitir que a etapa final do Mestrado ganhasse vida nas suas instalações. No seio da unidade BENEFIT, agradeço pela camaradagem, pela troca generosa de saberes e por me fazerem sentir parte integrante do grupo desde o primeiro dia.

Por fim, à minha família, o meu porto seguro: obrigada por acreditarem em mim, por vibrarem a cada conquista e por me iluminarem os momentos de dúvida. Aos amigos e namorado, que trouxeram leveza, ânimo e gargalhadas ao percurso, deixo o reconhecimento profundo pela força e motivação que me transmitiram. Sem o apoio incondicional de cada um de vocês, esta caminhada não teria sido tão rica nem tão significativa.

ÍNDICE

RESUMO	III
ABSTRACT	IV
Agradecimentos	V
Lista de Figuras	3
Lista de Tabelas	3
CAPÍTULO 1: O ESTÁGIO	6
1.1 Introdução	6
1.2 A Empresa	6
1.2.1 Integração na Empresa	8
1.3 Objetivos.....	9
1.4 Plano de trabalho realizado:.....	9
CAPÍTULO 2: TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO	11
2. Enquadramento	11
2.1. Estado de Arte.....	12
2.1.1. O Mercado <i>Plant-Based</i>	12
2.1.2. Vantagens Nutricionais e Funcionais dos Cereais	13
2.1.3. Amido e a sua Biodisponibilidade	15
2.1.4. Ação Integrada dos Componentes da Aveia na Regulação do Índice Glicémico	16
2.1.5. Xaropes de Aveia e Arroz	18
2.1.6. Propriedades Físico-Químicas e Reológicas.....	19
2.1.7. Processamento e Métodos de Produção do Xarope	21
2.1.8. Aplicações dos Xaropes na Indústria Alimentar	22
2.1.9. Enzimas.....	23
2.1.10. Desafios e Perspetivas Futuras	29
2.2. Materiais e Métodos	30
2.2.1 Preparação das bases vegetais	30
2.2.2 Preparação dos xaropes	32

2.2.3 Análise das bases concentradas e dos xaropes	34
2.2.4 Desenvolvimento de aplicações alimentares com os xaropes desenvolvidos.....	36
2.2.5. Otimização do Xarope de Aveia	43
2.3.Resultados e Discussão	47
2.3.1 Confeção dos Xaropes e Avaliação dos Parâmetros:	47
2.3.2 Aplicações	55
2.3.3. Otimização do Xarope de Aveia	63
3. Conclusões e Perspetivas Futuras	67
4. Bibliografia.....	70
5.Anexos.....	75

Lista de Figuras

Figura 1.1: Logótipo da Empresa FRULACT

Figura 1.2: Logótipo da Marca BENEFIT

Figura 2.1: Diagrama esquemático dos componentes representativos da aveia que podem influenciar o índice glicémico. (adaptado de *Zhang et al., 2021*)

Figura 2.2: Processo enzimático de hidrólise do amido: condições típicas industriais. (adaptado de *Chaplin, M. F., & Bucke, C. (1990). The use of enzymes in starch hydrolysis (Cap. 4). In Enzyme Technology. Cambridge University Press*).

Figura 2.3: Produção das Bases Concentradas em Laboratório da BENEFIT

Figura 2.4: Centrífugas utilizadas no laboratório da BENEFIT

Figura 2.5: Autoclave utilizada no laboratório da BENEFIT

Figura 2.6: IKA, Reator de processamento modular com controlo de temperatura, pressão e agitação utilizado no laboratório da BENEFIT

Figura 2.7: Potenciómetro(a) e Refratómetro Digital(b), respetivamente, utilizados no laboratório da BENEFIT

Figura 2.8: Viscosímetro(a) e Analisador Fotométrico Termostatizado (b) utilizados no laboratório da BENEFIT

Figura 2.9: Exemplar de um Xarope de Aveia armazenado num pote esterilizado

Figura 2.10: Totalidade das Barritas de Cereais e Chocolate

Figura 2.11: Totalidade das Barritas de Maçã, Sultanas e Canela

Figura 2.12: Totalidade das Cookies Integrais

Figura 2.13: Totalidade das Cookies com Pepitas de Chocolate, confeccionadas usando mel e xarope de aveia, respetivamente

Figura 2.14: Bebida Barista usando Xarope de Aveia sem espuma (esquerda) vs com espuma (direita) após aplicação do equipamento barista

Figura 2.15: Xaropes de Aveia obtidos no ensaio 12 (à Esquerda) e no ensaio 9 (à direita) de otimização

Lista de Tabelas

Tabela 2.1- Enzimas utilizadas na hidrólise do amido. Adaptado de *Chaplin, M. F., & Bucke, C. (1990). The use of enzymes in starch hydrolysis (Cap. 4). In Enzyme Technology. Cambridge University Press.*

Tabela 2.2: Ingredientes Barrita de Cereais e Chocolate usando Mel

Tabela 2.3: Ingredientes Barrita de Cereais e Chocolate usando Xarope de Ácer

Tabela 2.4: Ingredientes Barrita de Cereais e Chocolate usando Xarope de Aveia

Tabela 2.5: Ingredientes Barrita de Maçã usando Mel

Tabela 2.6: Ingredientes Barrita de Maçã usando Xarope de Ácer

Tabela 2.7: Ingredientes Barrita de Maçã usando Xarope de Aveia

Tabela 2.8: Ingredientes *Cookies* Integrais usando Mel

Tabela 2.9: Ingredientes *Cookies* Integrais usando Xarope de Aveia

Tabela 2.10: Ingredientes *Cookies* de Chocolate usando Mel

Tabela 2.10: Ingredientes *Cookies* de Chocolate usando Xarope de Aveia

Tabela 2.12: Parâmetros físico-químicos da Bases Concentradas e Xaropes de Aveia realizados utilizando o 1º método

Tabela 2.13: Parâmetros físico-químicos das Bases Concentradas e dos Xaropes de Aveia e Arroz realizados utilizando o 2º método

Tabela 2.14: Análise Nutricional das Bases Concentradas de Aveia e Arroz realizados utilizando o 2º método

Tabela 2.15: Parâmetros físico-químicos da Bases Concentradas e Xaropes de Aveia e Arroz realizados utilizando o 3º método

Tabela 2.16: Análise Nutricional dos Xaropes de Aveia e Arroz realizados utilizando o 3º método

Tabela 2.17: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das Barritas de Cereais e Chocolate

Tabela 2.18: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das Barritas de Maçã

Tabela 2.19: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das *Cookies* Integrais

Tabela 2.20: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das *Cookies* de Chocolate

Tabela 2.21: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das Bebidas Barista

Tabela 2.22: Parâmetros físico-químicos dos Xaropes de Aveia realizados na fase de otimização

Tabela 2.23: Análise Nutricional e Química do Ensaio 9 e do Ensaio 12

CAPÍTULO 1: O ESTÁGIO

1.1 Introdução

A crescente procura por alimentos mais sustentáveis, saudáveis e funcionais tem impulsionado o desenvolvimento de soluções inovadoras na indústria alimentar, especialmente no segmento *plant-based*. Este movimento global reflete não apenas uma mudança nas preferências dos consumidores, mas também uma resposta às preocupações ambientais, éticas e nutricionais que moldam o mercado atual.

Neste contexto, os cereais como a aveia e o arroz assumem um papel estratégico, não só pelas suas propriedades nutricionais, mas também pela sua versatilidade tecnológica. A aveia, rica em β -glucanas, proteínas de elevado valor biológico e compostos antioxidantes, e o arroz, naturalmente isento de glúten e com perfil hipoalergénico, oferecem oportunidades únicas para a criação de ingredientes funcionais adaptados às exigências contemporâneas.

O presente relatório de estágio insere-se no âmbito do Mestrado em Biotecnologia e Inovação da Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa, tendo sido desenvolvida em colaboração com a empresa Frulact, mais concretamente no departamento de Investigação e Desenvolvimento da marca *plant-based* BENEFIT.

1.2 A Empresa

A Frulact nasceu em 1987 como um projeto de base familiar, inspirado pela visão e experiência do Senhor Comendador Arménio Miranda no setor alimentar. O seu empenho e espírito empreendedor deram origem a um legado que ainda hoje se destaca no mercado.

Este grupo empresarial dedica-se à investigação, desenvolvimento e produção de preparados alimentares, à base de frutas e de outros ingredientes vegetais, destinados à indústria alimentar, sendo uma empresa business to business. Impulsionada pela vontade de crescer, a Frulact expandiu-se para o mercado internacional e, atualmente, possui unidades de produção na Europa (Portugal e França), na América do Norte (Canadá e

Estados Unidos) e em África (Marrocos e África do Sul). Os seus serviços centrais estão localizados em Portugal, na Zona Industrial da Maia.

Juntamente com outros especialistas do setor, a Frulact pretende impulsionar a indústria alimentar criando experiências alimentares inspiradoras, deliciosas, saudáveis e indulgentes que se enquadrem no mercado. Tem como visão afirmar-se como um líder global em Soluções de Ingredientes Naturais, o compromisso com esta visão alimenta uma busca incessante pela excelência e inovação. A missão desta empresa é fornecer novas soluções para a indústria de alimentos e bebidas que melhorem a saúde e promovam uma vida sustentável na Terra. Esta organização rege-se pelos seguintes valores: Inovação, Paixão, Agilidade e Foco no Cliente.

Num mercado competitivo, posiciona-se com base nos seguintes três pontos estratégicos fundamentais:

- Crescimento: Empenho total no crescimento do seu negócio e dos seus clientes.
- Criação de valor: Geração de valor acrescentado através da eficiência, dos processos, das tecnologias e dos sistemas.
- Partilha: A Frulact partilha os valores criados com os clientes, partes interessadas e colaboradores.



Figura 1.1: Logótipo da Empresa FRULACT

Dentro da Frulact existem três marcas distintas que respondem a diferentes exigências do mercado, mantendo-se suficientemente flexíveis para operar em projetos integrados, estas são a Frulact, a Frusenses e a Benefit.

A Frulact é especializada em preparados estabilizados que criam experiências de sabor únicas. Estes são baseados maioritariamente em combinações de frutas, cereais e ingredientes funcionais. Sendo todo o processo da cadeia de produção acompanhado desde a plantação, garantindo o fornecimento constante de matérias-primas que excedem até mesmo os mais rigorosos padrões de qualidade e segurança alimentar. A marca fornece soluções e ingredientes para os mais variados segmentos: Produtos lácteos, panificação, gelados, sobremesas, bebidas, queijos, alternativas aos produtos lácteos e outros processamentos de alimentos.

A Frusenses distingue-se por unir a especialização em aromas com uma compreensão abrangente sobre a forma como os preparados de frutas interagem com as bases de aplicação. Isto permite oferecer o que os consumidores esperam, mantendo-se fiéis aos aromas que construíram a fidelidade à sua marca. Também ajudam as empresas a diversificar-se, introduzindo novidades que conservam as características essenciais das suas marcas, alargando a gama de aromas ou variantes.

A marca Benefit desenvolve e produz ingredientes à base de plantas com valor acrescentado adaptados para a indústria alimentar. Crença firme numa cadeia alimentar sustentável e as soluções à base de plantas são parte integrante desta sustentabilidade. A Benefit ajuda os clientes a adaptar-se à procura de soluções ambientalmente conscientes. Isto mantém o seu produto relevante, ajuda a fortalecer a identidade da marca e permite-lhe fazer parte de um mercado em crescimento cada vez mais moldado por preocupações ecológicas.



Figura 1.2: Logótipo da Marca Benefit

1.2.1 Integração na Empresa

O estágio compreendeu um total de 850 horas e teve o seu início a 02 de dezembro de 2024 e o seu término a 2 de junho de 2025. Em relação à Orientação, por parte da Escola Superior de Biotecnologia do Porto contou com a Professora Ana Gomes. Na Frulact, como co-orientador contou com o apoio de Ricardo Taveira. A restante equipa da Benefit composta por Sofia Xavier e João Figueiredo proporcionaram igualmente um apoio incansável ao longo de todo o estágio. O trabalho colaborativo ao longo dos seis meses, assim como a corresponsabilização e proatividade tornaram o estágio a experiência mais enriquecedora a nível profissional e pessoal.

1.3 Objetivos

Para além dos objetivos primários definidos, nomeadamente a integração no setor da indústria alimentar, a compreensão do funcionamento de um departamento de Inovação, Investigação e Desenvolvimento de Produtos, a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado em Biotecnologia e Inovação, e o desenvolvimento de competências profissionais e pessoais, este estágio teve ainda como objetivo complementar a realização de um trabalho de investigação. Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento, caracterização e aplicação de xaropes à base de cereais, com especial enfoque na aveia e no arroz, explorando o seu potencial como alternativa às bases concentradas atualmente comercializadas.

Para alcançar este objetivo geral de investigação foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver concentrados à base de aveia e arroz (tanto sem glúten como com glúten) e caracterizá-los, medindo parâmetros como pH, °Brix, níveis de glucose e seus perfis nutricionais.
- Desenvolver xaropes à base de aveia e arroz (tanto sem glúten como com glúten) e proceder à sua caracterização dos mesmos parâmetros acima mencionados, acrescentando os níveis de viscosidade e a atividade de água.
- Aplicar os xaropes desenvolvidos na produção de diversos produtos, tais como barras de cereais, *cookies*, bebidas vegetais e outros produtos de pastelaria.

1.4 Plano de trabalho realizado:

Ao longo de seis meses, foram realizadas diversas atividades que permitiram uma imersão completa na dinâmica de um departamento de Inovação, Investigação e Desenvolvimento de Produto. A experiência iniciou-se com uma fase de integração e formação, onde foi apresentada a estrutura organizacional da Frulact e da unidade Benefit, acompanhada de sessões sobre segurança no trabalho, proteção de dados e políticas internas da empresa, fundamentais para garantir uma atuação alinhada com os padrões da organização.

Seguiu-se o acompanhamento das funções da equipa Benefit, com participação ativa no contacto com clientes, gestão de pedidos e observação do ciclo completo de

desenvolvimento de produto, desde a formulação laboratorial até à expedição das amostras. Paralelamente, foi desenvolvido um trabalho de investigação bibliográfica aprofundada sobre temas relevantes para a produção e controlo de xaropes à base de cereais, que sustentou as decisões técnicas ao longo do trabalho de investigação e permitiu a elaboração do estado da arte.

No laboratório, iniciou-se a produção de bases concentradas de aveia e arroz, com e sem glúten, utilizando diferentes tipos de farinha e farelo. Estas bases foram modificadas com recurso a enzimas específicas, com o objetivo de ajustar o perfil nutricional e organolético, sendo submetidas a processos térmicos e físico-químicos como cozedura, centrifugação e esterilização em autoclave.

Posteriormente, as bases foram transformadas em xaropes, com diferentes dextroses equivalentes, teor de sólidos solúveis (°Brix), com glúten e sem glúten. A otimização da fórmula do xarope de aveia foi um dos focos principais, usando diferentes métodos de produção diferentes enzimas a diferentes percentagens, com ensaios sucessivos que permitiram comparar diferentes ensaios e avaliar os seus parâmetros físico-químicos e reológicos, como pH, teor de glicose, °Brix, viscosidade e atividade de água. Em paralelo, foi possível participar no desenvolvimento de aplicações alimentares da equipa Benefit, formulando produtos como bebidas e iogurtes de base vegetal, análogos de queijo, toppings, cremes culinários e gelados entre outros. Estas formulações foram ajustadas com base em instruções de clientes ou propostas internas, recorrendo a ingredientes tecnológicos como gomas, fibras e amidos, e aplicando técnicas como fermentação e pasteurização (para garantir segurança alimentar). Foram realizadas análises de pH, teor de glicose, humidade, °Brix, viscosidade, cor e textura,

No âmbito da segurança alimentar, foram aplicados tratamentos térmicos adequados, como pasteurização e esterilização (autoclave), consoante o tipo de produto, assegurando a estabilidade microbiológica. Também foi assegurada a preparação e acondicionamento adequado das amostras para expedição, respeitando os requisitos de refrigeração e embalagem.

Por fim, no contexto específico do trabalho de investigação, foram desenvolvidas e testadas receitas alimentares que integraram o xarope de aveia como ingrediente funcional, nomeadamente barritas, *cookies* e bebidas tipo barista. Foram produzidas duas

variações de cada produto, ajustando-se os ingredientes para otimizar os resultados, e realizaram-se provas internas para avaliar o desempenho sensorial e funcional dos xaropes desenvolvidos.

Apesar de terem sido realizadas todas estas atividades o Estágio resumiu-se às etapas apresentadas cronologicamente no Anexo 1.

CAPÍTULO 2: TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO

2. Enquadramento

O trabalho de investigação iniciou-se com uma revisão exaustiva da bibliografia existente, para de seguida realizarem-se diversas etapas laboratoriais e analíticas, desde a produção de bases concentradas até à obtenção de xaropes com parâmetros físico-químicos e nutricionais otimizados. Paralelamente, foram testadas aplicações alimentares concretas — como barritas, cookies e bebidas tipo barista — com o intuito de validar a funcionalidade e a aceitação sensorial dos xaropes desenvolvidos.

Este trabalho pretendeu, assim, contribuir para a inovação no setor dos ingredientes naturais, oferecendo uma solução *clean-label* com elevado valor acrescentado, alinhada com os princípios de sustentabilidade e eficiência logística que orientam a estratégia da Benefit. Através da integração de conhecimento técnico-científico e da experiência prática em ambiente industrial, este trabalho de investigação propõe uma abordagem multidisciplinar ao desenvolvimento de ingredientes *plant-based*, com potencial de aplicação em larga escala. Cada uma destas etapas será de seguida devidamente detalhada.

2.1. Estado de Arte

2.1.1. O Mercado *Plant-Based*

A adoção de uma dieta *plant-based* tem vindo a ser amplamente reconhecida como uma estratégia eficaz para melhorar a saúde e reduzir o risco de várias doenças crónicas. Este padrão alimentar é fortemente associado à diminuição da incidência de doenças cardiovasculares, determinados tipos de cancro e à mortalidade geral. Estes benefícios são atribuídos principalmente ao maior consumo de fibras, antioxidantes e micronutrientes, e à redução do consumo de gordura saturada e colesterol (Müller et al., 2024).

Estes tipos de dietas são particularmente ricas em fibras, que promovem saciedade, auxiliam no controlo do peso corporal e reduzem os níveis de colesterol. Além disso, as fibras melhoram a saúde intestinal, diminuem a inflamação sistémica e reduzem significativamente o risco de diabetes tipo 2 (Smith & López, 2024). Outro benefício é a presença de fitoesteróis. Estes compostos vegetais são eficazes na redução do colesterol LDL, apresentam efeitos anti-inflamatórios significativos e melhoram o controlo glicémico em pessoas com diabetes tipo 2. Também são conhecidos por melhorar a função endotelial e plaquetária, contribuindo assim para a saúde cardiovascular geral (Smith & López, 2024). Devido a estes múltiplos benefícios, verifica-se um crescente interesse dos consumidores, especialmente em países desenvolvidos. Nos Estados Unidos, cerca de 62% das famílias compram regularmente produtos *plant-based*, destacando-se categorias como substitutos de carne, alternativas lácteas e ovos vegetais. Este crescimento deve-se à procura de alimentos mais sustentáveis, éticos e saudáveis (Plant Based Foods Association, 2024).

Na Europa, incluindo em Portugal, a popularidade das dietas vegetarianas e flexitarianas tem aumentado significativamente. A maior procura por estes produtos levou a uma maior diversidade e disponibilidade deste tipo de opções no mercado europeu, refletindo uma mudança nas preferências alimentares motivada por preocupações ambientais e saúde pessoal (Plant Based Foods Association, 2024).

Em termos económicos, este mercado global foi avaliado em cerca de 46,77 mil milhões de dólares em 2024, com previsão de crescimento para 103,75 mil milhões até 2034. Este crescimento é impulsionado pela inovação contínua em produtos e pela

crescente adesão dos consumidores a estilos de vida mais sustentáveis (Precedence Research, 2024).

Nos últimos cinco anos, os alimentos *plant-based* passaram de nicho a pilar estratégico no retalho alimentar europeu. Em 2023, as vendas em seis mercados-chave ascenderam a 5,4 mil milhões €, um acréscimo de 5,5 % face a 2022, acompanhado de um aumento de 3,5 % no volume. Além da procura por opções mais saudáveis, os consumidores europeus associam estas escolhas a reduções mensuráveis na pegada de carbono e no consumo de água, fatores alinhados com os objetivos de neutralidade climática da UE. (GFI Europe, 2024).

2.1.2. Vantagens Nutricionais e Funcionais dos Cereais

Os cereais, como o trigo, o milho, o arroz, a cevada e o centeio, permanecem como pilares da alimentação humana a nível global, não apenas pela sua elevada densidade energética, mas também pela complexa matriz nutricional que oferecem. Cada grão representa uma fonte multifacetada de macronutrientes e compostos bioativos com reconhecida relevância na prevenção de doenças metabólicas. O amido, que pode representar entre 60 a 75% da composição dos cereais, constitui a principal reserva de energia, assegurando uma libertação gradual de glicose e contribuindo, simultaneamente, para a funcionalidade tecnológica em formulações alimentares, como a gelatinização que confere viscosidade e estrutura a molhos, sobremesas e snacks (Khan et al., 2024).

As proteínas presentes nos cereais, ainda que limitadas em determinados aminoácidos essenciais como a lisina, desempenham um papel fundamental na estrutura e textura de produtos panificados e pastas alimentares. Redes proteicas como o glúten (trigo) e a zeína (milho) são determinantes na retenção de gases e na elasticidade das massas, características críticas em processos fermentativos e cozedura. A associação com leguminosas permite colmatar estas limitações proteicas, formando perfis aminoacídicos mais completos, com benefícios nutricionais bem documentados. (Khan et al., 2024).

Além dos macronutrientes, os cereais integram uma vasta gama de micronutrientes — nomeadamente vitaminas do complexo B, ferro, zinco e magnésio —, fibras solúveis (como as beta-glucanas da cevada e da aveia) e insolúveis, bem como compostos fenólicos antioxidantes e fitosteróis. Estes últimos contribuem para a redução da absorção de colesterol, o controlo glicémico e a modulação positiva da microbiota

intestinal, efeitos amplamente reconhecidos como promotores de saúde metabólica e preventiva de doenças crónicas, incluindo diabetes tipo 2 e cancro (Khan et al., 2024).

Do ponto de vista tecnológico e industrial, a escolha da espécie botânica, o grau de refinação, bem como o recurso a operações como a germinação, extrusão ou fermentação, podem influenciar de forma determinante o perfil nutricional e funcional do produto final. Estratégias de processamento que preservem as camadas externas do grão permitem manter o conteúdo em fibras e antioxidantes, enquanto se ajustam propriedades como a capacidade de retenção de água, viscosidade e textura. Este equilíbrio entre conveniência, densidade nutricional e funcionalidade tecnológica abre caminho ao desenvolvimento de produtos *clean-label*, nutricionalmente enriquecidos e aptos a ostentar alegações de saúde fundamentadas e validadas (Khan et al., 2024).

2.1.2.1 Arroz: Propriedades Nutricionais e Benefícios para a Saúde

O arroz (*Oryza sativa*) destaca-se como alimento energético, o amido representa cerca de 70 % do grão, mas a sua relevância nutricional vai muito além desse aporte: quando o tegumento e o gérmen são preservados, o arroz fornece fibras solúveis e insolúveis, γ -orizanol, fitosteróis, polifenóis (sobretudo em variedades pigmentadas), vitaminas do complexo B e minerais como magnésio, zinco e selénio. Esta matriz confere-lhe um baixo índice glicémico relativo, favorece a resposta insulínica e contribui para a redução do colesterol LDL através da inibição da reabsorção de ácidos biliares (Duan et al., 2024).

Adicionalmente, o arroz é naturalmente isento de glúten e praticamente hipoalergénico, pelo que se adapta a populações com doença celíaca ou alergias alimentares. Estudos de modelação nutricional demonstram que substituir 30 % do arroz polido por arroz integral na dieta habitual pode diminuir a incidência de diabetes tipo 2 e melhorar marcadores lipídicos, sem comprometer a aceitação sensorial. Para a indústria, o desafio reside em estabilizar as enzimas do farelo e evitar a oxidação dos lípidos, garantindo que os compostos bioativos se mantenham intactos até ao consumidor final (Duan et al., 2024).

2.1.2.2 Aveia: Propriedades Nutricionais e Benefícios para a Saúde

O grão de aveia (*Avena sativa* L.) oferece um perfil singular de compostos bioativos cujo teor e integridade devem ser rigorosamente controlados pela indústria alimentar para garantir alegações de saúde sólidas. Em média, cerca de 14 % de proteína

de elevado valor biológico combina-se com 7 % de lípidos ricos em ácidos gordos insaturados e, sobretudo, com ~4 % de β -glucanas solúveis, fibras que formam géis viscosos no lúmen intestinal, retardam a absorção de glicose e facilitam a excreção de ácidos biliares, traduzindo-se numa redução comprovada do colesterol LDL. À matriz adicionam-se avenantramidas e outros polifenóis de elevada capacidade antioxidante, bem como micronutrientes cruciais (ferro, magnésio, zinco) que potenciam a função imunitária (Alemayehu et al., 2023).

Para a indústria, o desafio passa por preservar a estrutura dos β -glucanas e das proteínas durante a moagem, a extrusão ou a fermentação, de forma a manter a viscosidade pós-digestiva que sustenta as alegações cardio-metabólicas e a saciedade prolongada; paralelamente, é necessário minimizar oxidações lipídicas que comprometeriam o sabor e a qualidade nutritiva. O controlo meticuloso destes parâmetros permite desenvolver produtos de aveia que combinam textura apelativa com benefícios clínicos mensuráveis, reforçando o seu posicionamento como ingrediente funcional de eleição (Alemayehu et al., 2023).

2.1.3. Amido e a sua Biodisponibilidade

O amido é um polissacárido de reserva composto por cadeias de unidades de glucose ($C_6H_{12}O_6$) unidas por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6. Apresenta-se em duas formas estruturais complementares: amilose, essencialmente linear, que forma hélices compactas de difícil hidrólise, e amilopectina, altamente ramificada, cuja disposição aberta facilita o acesso enzimático. Na maioria dos grãos e tubérculos, a amilopectina representa cerca de 70-80 % do amido total, enquanto a amilose perfaz 20-30 %. Esta proporção e a arquitetura microscópica de cada fração determinam a velocidade a que a glucose é libertada no tubo digestivo: quanto maior o teor de amilopectina e a desorganização cristalina, mais rápida é a digestão e mais elevado o índice glicémico; já a presença de amilose, de amido resistente ou de ligações cristalinas retrabalhadas pelo arrefecimento reduz a biodisponibilidade da glucose, moderando os picos pós-prandiais. A compreensão pormenorizada destas relações estrutura-função permite formular alimentos com perfis glicémicos ajustados e otimizar o uso de enzimas para uma hidrólise eficaz quando se pretende glucose livre. (Chen et al., 2025; Chisbert et al., 2024).

2.1.4. Ação Integrada dos Componentes da Aveia na Regulação do Índice Glicêmico

A digestão e absorção dos hidratos de carbono presentes na aveia, e consequentemente o seu impacto sobre o índice glicêmico (IG), resultam de uma complexa interação entre os seus diversos constituintes, nomeadamente o amido, as β -glucanas, os compostos fenólicos e as proteínas. O amido representa o principal hidrato de carbono da aveia, sendo o componente estruturalmente mais determinante na modulação do IG. A sua digestibilidade está fortemente condicionada por fatores físico-químicos, como o tamanho dos grânulos, o tipo de cristal, o teor de amilose e o grau de ramificação da amilopectina. Os grânulos de amido da aveia, mais pequenos que os de outros cereais, oferecem maior área de superfície às enzimas digestivas, promovendo a hidrólise. O tipo cristalino A, predominante na aveia, é menos resistente à digestão, e a menor ramificação da amilopectina permite um acesso enzimático mais eficaz. Contudo, o elevado teor de amilose (entre 25 e 30%) confere maior resistência à hidrólise, particularmente pela formação de complexos amilose-lípido (RS5), tal como a presença de amido resistente do tipo granular (RS2), que diminui a acessibilidade enzimática. Assim, a composição e estrutura do amido da aveia contribuem simultaneamente para a promoção e para a limitação da resposta glicémica, dependendo das condições de processamento e da matriz alimentar envolvente (Zhang et al., 2021).

Entre os constituintes não amiláceos, as β -glucanas assumem um papel preponderante na redução do IG. Estas fibras solúveis, compostas por unidades de glucose unidas por ligações β -(1,3) e β -(1,4), conferem elevada viscosidade às soluções alimentares, retardando o esvaziamento gástrico e diminuindo a velocidade de digestão e absorção dos hidratos de carbono. A viscosidade gerada interfere não só na mobilidade do conteúdo gástrico como na difusão das enzimas digestivas e da glucose até aos enterócitos, resultando numa libertação mais faseada da glucose. Para além disso, as β -glucanas da aveia exercem um efeito prebiótico, sendo fermentados pela microbiota intestinal e promovendo a produção de ácidos gordos de cadeia curta (SCFA), como o butirato e o propionato, os quais contribuem para a regulação da expressão do transportador GLUT-4 e para a ativação da via de sinalização PI3K-Akt, ambos mecanismos associados ao aumento da sensibilidade à insulina e ao controlo da glicemia. A capacidade das β -glucanas para reduzir o IG é tanto mais evidente quanto maior for a

sua concentração e o seu peso molecular, sendo estes fatores determinantes na viscosidade final da matriz alimentar (Zhang et al., 2021).

Os compostos fenólicos da aveia, incluindo avenantramidas e ácidos fenólicos como o ácido ferúlico e o ácido cafeico, exercem igualmente um efeito modulador da resposta glicémica. Estes compostos bioativos apresentam elevada capacidade antioxidante e são conhecidos pela sua ação inibitória sobre enzimas digestivas como a α -amilase e a α -glucosidase. A inibição da atividade enzimática conduz a uma hidrólise mais lenta do amido e, consequentemente, a uma libertação de glicose mais gradual. Adicionalmente, alguns fenóis têm a capacidade de interferir diretamente com os transportadores intestinais de glicose, reduzindo a sua absorção. Embora uma parte significativa dos fenóis presentes na aveia se encontre na forma ligada à matriz celular, os fenóis livres, mais biodisponíveis, são particularmente relevantes na modulação da resposta glicémica pós-prandial. A bioatividade destes compostos depende, contudo, do seu teor, biodisponibilidade e do tipo de processamento a que os alimentos são sujeitos (Zhang et al., 2021).

As proteínas da aveia, que apresentam um perfil de aminoácidos equilibrado e elevada digestibilidade, influenciam o IG através de diferentes mecanismos fisiológicos. A ingestão de proteína está associada a um aumento da saciedade e a uma diminuição da taxa de esvaziamento gástrico, o que, por si só, retarda a absorção de glicose. Para além disso, as proteínas alimentares estimulam a secreção de insulina por via do aumento da libertação de hormonas incretínicas como o GIP e o GLP-1, promovendo uma resposta insulínica que favorece a captação de glicose pelas células. Embora existam ainda poucos estudos centrados especificamente nas proteínas da aveia, os dados disponíveis sugerem que estas exercem um papel relevante na regulação glicémica, comparável ao de proteínas de outras fontes vegetais, e que a sua presença na matriz alimentar pode contribuir para uma resposta glicémica mais controlada (Zhang et al., 2021).

Em suma, os efeitos fisiológicos da aveia sobre o índice glicémico são o resultado de uma atuação sinérgica entre os seus constituintes estruturais e bioativos. A combinação de um amido parcialmente resistente, fibras solúveis com elevada viscosidade, compostos fenólicos com ação enzimática e proteínas com efeito metabólico torna a aveia um alimento funcional particularmente interessante para o controlo glicémico. Este conjunto de propriedades posiciona a aveia como um ingrediente estratégico no desenvolvimento

de alimentos com baixo índice glicêmico, com aplicações potenciais em regimes alimentares destinados à prevenção e gestão de doenças metabólicas como a diabetes tipo 2. (Zhang et al., 2021).

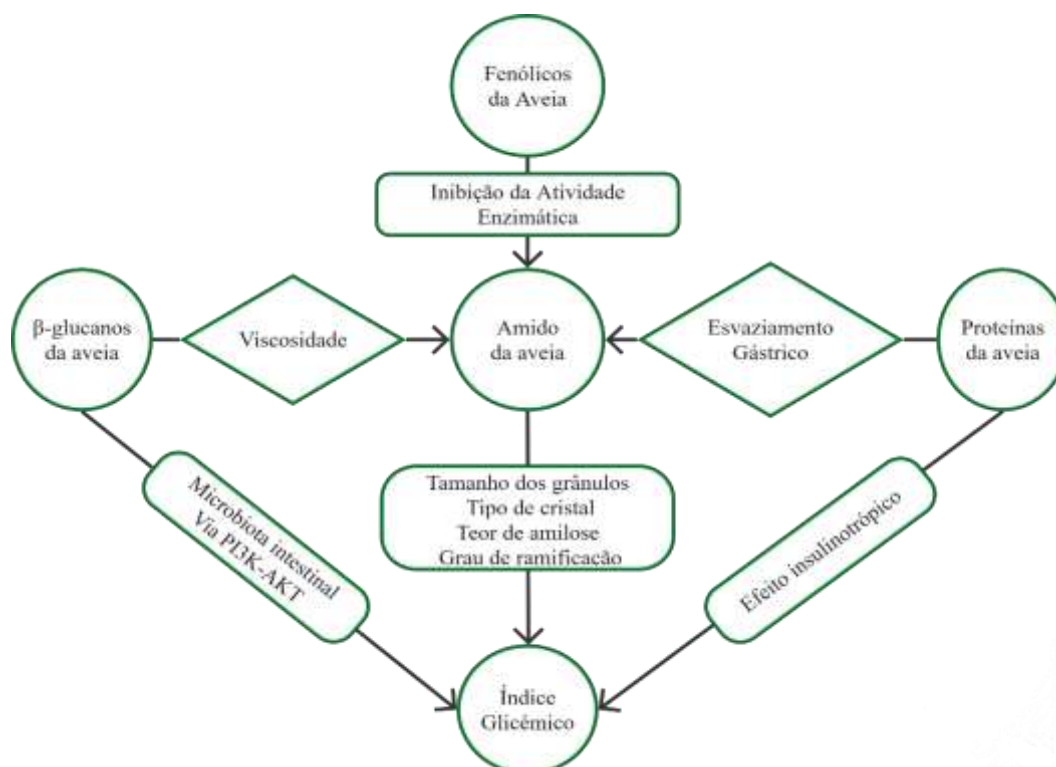


Figura 2.1- Diagrama esquemático dos componentes representativos da aveia que podem influenciar o índice glicêmico. (adaptado de Zhang et al., 2021)

2.1.5. Xaropes de Aveia e Arroz

Os xaropes obtidos de cereais (sobretudo de aveia e arroz) surgem como ingredientes estratégicos para bebidas não lácteas, sobremesas e outros produtos funcionais, pois fornecem hidratos de carbono de digestão gradual, fibra solúvel, proteína e quantidades relevantes de β-glucanas, polissacarídeos ligados à redução do colesterol LDL, à modulação da microbiota intestinal e a efeitos anti-inflamatórios (McCarthy et al., 2025).

O xarope de aveia descrito pela patente de Scholl et al. (2018) demonstra grande polivalência industrial: em padaria e pastelaria funciona como adoçante e aglutinante, substituindo xaropes de milho enquanto preserva humidade e cor dourada; em snacks de cereais atua como ligante que garante textura macia sem plastificantes; em lácteos e

sobremesas vegetais exerce efeito crio-protetor e estabilizador (gelados, iogurtes, bebidas fermentadas); e, por fim, em molhos, bebidas e suplementos confere doçura moderada e viscosidade equilibrada, tornando-se uma alternativa *clean-label* útil numa vasta gama de formulações.

2.1.6. Propriedades Físico-Químicas e Reológicas

A investigação recente sobre sistemas à base de aveia mostra que o desempenho industrial dos xaropes depende de um equilíbrio rigoroso entre as propriedades físico-químicas (como o pH, e o teor de sólidos solúveis) determinam a estabilidade coloidal e a cor. Os parâmetros reológicos, nomeadamente o índice de consistência (k) e o índice de fluxo (n), que caracterizam a resposta da viscosidade ao cisalhamento. Ajustar o pH minimiza reações enzimáticas indesejadas, controlar o teor de sólidos assegura densidade adequada para enchimento asséptico e otimizar o potencial ζ reduz a floculação durante o armazenamento. Do ponto de vista reológico, manter um comportamento pseudoplástico estável permite calibrar bombas, trocadores de calor e válvulas, reduzindo o consumo energético e evitando variações de textura detetáveis pelo consumidor. Ensaio com microfluidização de alta pressão demonstraram que a redução do tamanho das partículas aumenta simultaneamente o potencial ζ e a viscosidade aparente, gerando suspensões mais homogêneas, salientando que o controlo concertado destes atributos é essencial para a qualidade e a eficiência produtiva (Jiang et al., 2023; Ruja et al., 2024).

2.1.6.1 Dextrose Equivalente (DE)

A dextrose equivalente (DE) quantifica a fração de açúcares redutores de um produto amiláceo, expressa como percentagem em massa de glucose anidra, constituindo um indicador direto do grau de hidrólise do amido. Na produção industrial de xaropes, a monitorização contínua do DE permite ajustar em tempo real a carga enzimática, o pH e a temperatura, assegurando rendimentos elevados sem formação de subprodutos indesejáveis (Musdalifa et al., 2024).

Em sistemas de microencapsulação por pulverização, maltodextrinas com DE superior aceleram a libertação de compostos voláteis durante o armazenamento e a reidratação, influenciando o perfil aromático e a aceitação sensorial do produto final. (Li et al., 2020).

Consequentemente, a determinação rigorosa do DE constitui um ponto crítico de controlo na indústria alimentar, orientando a escolha de matérias-primas, as condições de processo e o desempenho funcional dos ingredientes em múltiplas aplicações.

2.1.6.2 DE e sua relevância na hidrólise do amido

A indústria do amido e dos xaropes de glucose utiliza a expressão equivalente de dextrose (DE), de definição análoga às unidades DH da proteólise, para caracterizar os seus produtos, em que:

$$DE = 100 \times \frac{\text{número de ligações glicosídicas clivadas}}{\text{número inicial de ligações glicosídicas}}$$

Na prática, este valor é geralmente obtido por via analítica recorrendo a esta expressão, que é estreitamente relacionada, embora não idêntica, à definição teórica do DE:

$$DE = 100 \times \frac{\text{açúcar redutor, expresso em glucose}}{\text{hidratos de carbono totais}}$$

Assim, o DE representa a percentagem de hidrólise das ligações glicosídicas existentes. A glucose pura apresenta um DE de 100; a maltose pura, cerca de 50 (dependendo dos métodos analíticos utilizados; ver equação 4.3); já o amido possui um DE praticamente nulo. Durante a hidrólise do amido, o DE indica até que ponto a molécula foi clivada. A hidrólise ácida do amido tem sido amplamente usada para produzir «xaropes de glucose» e até glucose cristalina (dextrose monohidratada) (Chaplin & Bucke, 1990).

2.1.6.3 °Brix

A escala °Brix (°Bx) expressa a percentagem em massa de sólidos solúveis numa solução aquosa, convencionando-se que 1 °Bx equivale a 1 g de sacarose por 100 g de solução (Jaywant, Singh, & Arif, 2022).

A determinação faz-se, regra geral, por refratometria ou por hidrometria, instrumentos cujo índice de refração ou densidade varia proporcionalmente à concentração total de solutos (Jaywant et al., 2022).

Na indústria alimentar, o °Bx funciona como parâmetro crítico de controlo, pois permite ajustar em tempo real a doçura, a pressão osmótica e o ponto de congelação de sumos, néctares, xaropes ou mostos vínicos, garantindo uniformidade entre lotes (USDA-AMS, 2025).

Valores de °Brix monitorizados em linha através de refratómetros de processo facilitam a padronização de produtos como concentrados de tomate, gelados ou bebidas fermentadas, reduzindo desperdícios e custos energéticos (Jaywant et al., 2022).

2.1.7. Processamento e Métodos de Produção do Xarope

A produção de xarope a partir de cereais como a aveia envolve uma sequência tecnicamente estruturada de operações que visam transformar os constituintes amiláceos em soluções ricas em açúcares fermentescíveis e compostos funcionalmente estáveis. O processo inicia-se com a moagem a seco dos grãos de aveia descascados, visando a separação em duas frações principais: uma rica em endosperma e amido e outra com menor teor de amido. A fração desejada é dispersa em água, formando uma suspensão cuja concentração de sólidos solúveis pode variar entre 5% e 20%, e que pode ser complementada com farinha de aveia para aumentar o rendimento em sólidos totais (Scholl et al., 2018).

Esta suspensão inicial é submetida a agitação vigorosa através de um homogeneizador de alto cisalhamento, assegurando a uniformidade da mistura e a completa dispersão da farinha. O pH é ajustado para um intervalo ideal à ação das enzimas a aplicar, geralmente entre 5,0 e 7,0, e a temperatura da mistura é cuidadosamente controlada de acordo com o perfil de estabilidade térmica das enzimas utilizadas. Seguidamente, inicia-se a etapa de hidrólise enzimática, onde se adiciona, sequencial ou simultaneamente, alfa-amilase de origem bacteriana e/ou fúngica. Estas enzimas catalisam a degradação parcial do amido, formando inicialmente dextrinas, que por sua vez são convertidas em maltose, glicose e outros oligossacarídeos consoante as enzimas secundárias presentes, como a glucoamilase ou a pullulanase (Scholl et al., 2018; Triantafyllou, 2002).

Durante a reação enzimática, o grau de conversão do amido é monitorizado através do parâmetro Dextrose Equivalente (DE), permitindo um controlo fino sobre o perfil final de açúcares presentes no xarope. O valor de DE pode ser ajustado de acordo com o tempo de residência das enzimas, obtendo-se xaropes com DE típicos de 20, 42 ou 63, conforme o pretendido. Após a hidrólise, a mistura é sujeita a aquecimento controlado, com o objetivo de inativar as enzimas, evitando a continuação da degradação e preservando as características do produto (Scholl et al., 2018).

Posteriormente, a suspensão hidrolisada é submetida a um processo de separação física por centrifugação ou decantação, durante o qual se removem proteínas, lípidos e fibras insolúveis. Esta separação resulta numa fração superior rica em hidratos de carbono solúveis (incluindo maltodextrinas, dextrinas e β -glucanas), e com baixos teores de proteína ($<7\%$ (m/v) e lípidos ($<2,5\%$ (m/v)) em base de sólidos secos, sendo esta fração utilizada para a concentração subsequente do xarope (Scholl et al., 2018).

A fração solúvel clarificada é concentrada por evaporação, geralmente até atingir entre 60% e 80% (m/v) de sólidos, resultando num xarope com as características físico-químicas desejadas – nomeadamente, viscosidade ajustada, tonalidade dourada e perfil sensorial doce. Esta concentração não só confere maior estabilidade ao produto final, como também o torna adequado para diversas aplicações alimentares (Scholl et al., 2018).

Etapas finais como filtração, homogeneização e, se necessário, tratamentos térmicos adicionais (UHT ou pasteurização) são aplicadas para garantir a estabilidade microbiológica e sensorial durante o armazenamento. Estes passos contribuem ainda para a remoção de partículas residuais, evitando sedimentações e assegurando uma textura suave. Em abordagens otimizadas, o processo enzimático pode ser concebido para preservar componentes funcionais como as β -glucanas e proteínas, reduzindo simultaneamente o tempo de processamento e o custo associado ao uso de enzimas, sem comprometer o valor nutricional da formulação final (Triantafyllou, 2002).

2.1.8. Aplicações dos Xaropes na Indústria Alimentar

Os xaropes derivados da hidrólise enzimática de aveia e arroz apresentam grande versatilidade e interesse funcional para diversas aplicações na indústria alimentar, destacando-se pelo potencial de melhoria tecnológica, sensorial e nutricional dos produtos finais. Em termos de transporte/viabilidade económica apresentam grandes vantagens porque pode-se transportar mais quantidade de base concentrada de cereal de cada vez, concentrando-a, formando os xaropes.

Na formulação de bebidas vegetais, estes ingredientes são particularmente vantajosos devido à sua capacidade para conferir corpo, estabilidade térmica adequada ao processamento UHT, e uma tonalidade clara e apelativa. A manutenção estrutural das β -

glucanas durante o processo produtivo contribui para a funcionalidade acrescida destas bebidas (Ofoedu et al., 2020).

No segmento de sobremesas os referidos xaropes destacam-se pela sua capacidade de substituir parcialmente ingredientes tradicionais como gordura e sacarose, graças ao comportamento reológico pseudoplástico que apresentam. Esta propriedade confere aos produtos finais uma textura cremosa e uma resistência melhorada à fusão, respondendo assim às exigências do mercado por produtos com perfis nutricionais aprimorados e redução no uso de açúcares e gorduras saturadas (Whalen, 2004; Ofoedu et al., 2020).

Na panificação e em coberturas de pastelaria, o emprego de xaropes de arroz maltado, com concentrações de sólidos entre 70–72 °Brix e atividade de água inferior a 0,65, evidencia vantagens técnicas significativas. Estes ingredientes prolongam a vida útil dos produtos, substituem eficazmente o xarope de milho convencional e favorecem uma caramelização controlada durante o processo térmico, resultando em produtos de qualidade sensorial aprimorada, com sabor equilibrado e coloração atrativa (Triantafyllou, 2002; Whalen, 2004).

A adaptabilidade destes xaropes permite ajustar criteriosamente o teor de sólidos, o perfil de açúcares redutores e a viscosidade, possibilitando a formulação de produtos *clean-label* em diversas categorias alimentares. Desta forma, os xaropes enzimáticos de aveia e arroz alinham-se com as tendências contemporâneas que privilegiam ingredientes naturais e minimamente processados, capazes de responder simultaneamente a critérios tecnológicos, sensoriais e nutricionais rigorosos (Triantafyllou, 2002; Ofoedu et al., 2020).

2.1.9. Enzimas

Para a produção de xarope foi necessário utilizar variadas enzimas na produção das bases concentradas de aveia, estas enzimas têm um papel decisivo no xarope final pois são elas que afetam maioritariamente a viscosidade do mesmo, assim como os seus valores nutricionais. Foi então importante conhecer que tipo de enzimas seriam mais vantajosas usar e porquê.

As enzimas são catalisadores biológicos que tornam a indústria alimentar mais eficiente e sustentável: possibilitam reações rápidas a temperaturas e pressões moderadas,

reduzindo consumos energéticos e o uso de aditivos químicos; garantem perfis sensoriais estáveis e permitem rótulos *clean label* porque se inativam ou removem no produto final. A sua produção microbiana em larga escala – aliada à engenharia de proteínas – expandiu a aplicação para praticamente todas as etapas de processamento. O peso económico reflete esta relevância: o mercado global de enzimas alimentares ultrapassou os 3,7 mil milhões de dólares em 2023 e projeta um crescimento anual próximo de 7 % até 2032, impulsionado por exigências de sustentabilidade e pelo aumento de produtos de base vegetal (Singh et al., 2023; Allied Market Research, 2024).

A utilização de enzimas tem um papel fundamental na modificação dos polímeros presentes na farinha, facilitando o processamento e melhorando as características funcionais do produto final. Cada enzima atua sobre um tipo específico de ligação química, permitindo a degradação ou modificação dos componentes da aveia ou arroz.

Conforme já referido anteriormente, o amido é o hidrato de carbono de reserva mais comum nas plantas. A hidrólise ácida do amido teve, no passado, uma utilização muito difundida; hoje, porém, está quase totalmente substituída por processos enzimáticos, pois a hidrólise ácida exigia materiais resistentes à corrosão, necessitava de mais energia para aquecimento e era relativamente difícil de controlar (Chaplin & Bucke, 1990).

A conversão de amido ocorre em três etapas (Figura 2.2), designadamente a Gelatinização que corresponde à dissolução dos grânulos, formando uma suspensão viscosa; a Liquefação, que corresponde à hidrólise parcial que reduz drasticamente a viscosidade; e a Sacarificação, que corresponde à hidrólise adicional que gera glucose e maltose. A gelatinização obtém-se aquecendo o amido em água; o amido gelatinizado liquefaz-se facilmente por hidrólise parcial (enzimática ou ácida) e é depois sacarificado por hidrólise complementar. (Chaplin & Bucke, 1990).

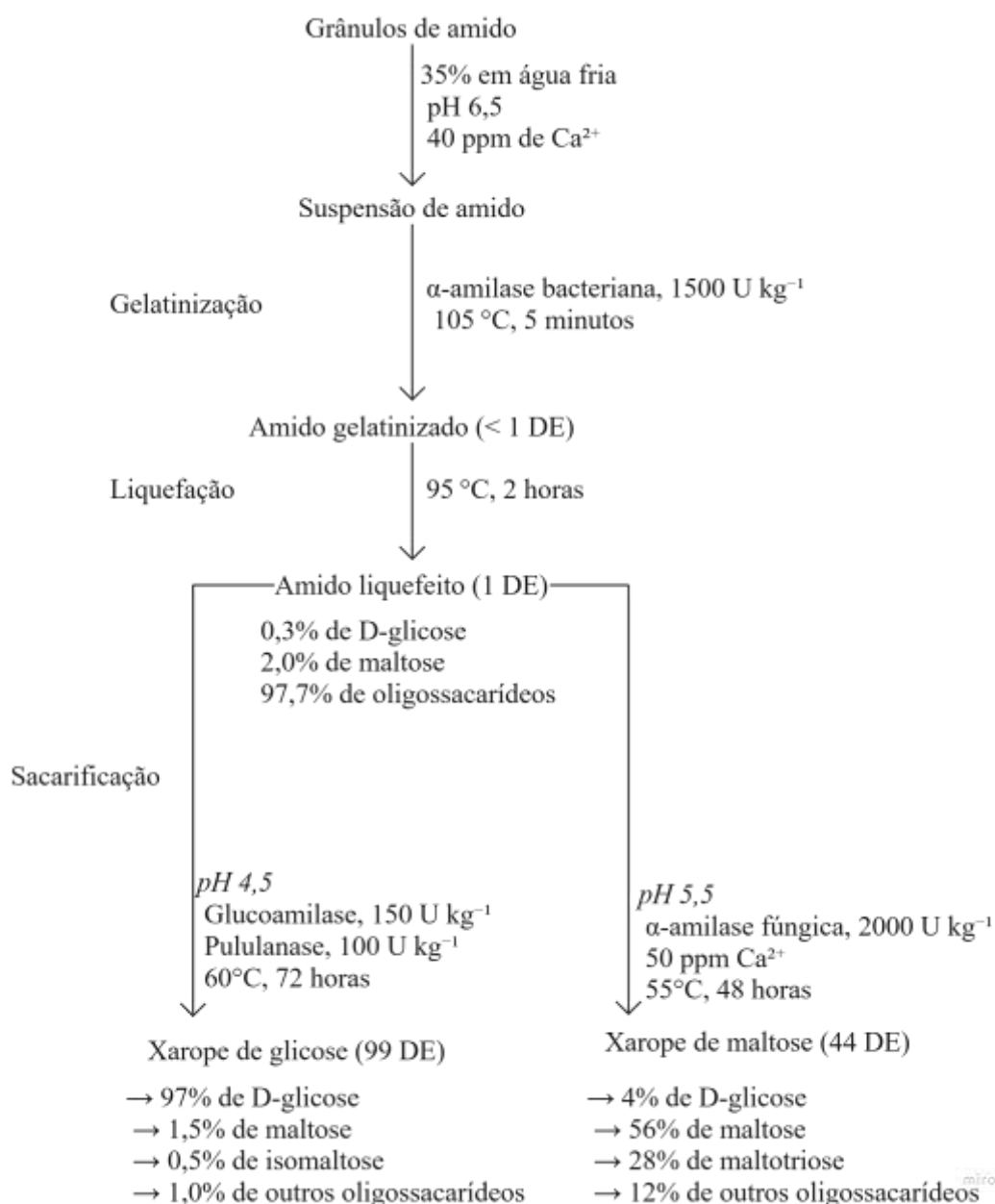


Figura 2.2 - Processo enzimático de hidrólise do amido: condições típicas industriais. (adaptado de Chaplin, M. F., & Bucke, C. (1990). *The use of enzymes in starch hydrolysis* (Cap. 4). In *Enzyme Technology*. Cambridge University Press).

Dos dois componentes do amido, a amilopectina coloca o maior desafio aos sistemas hidrolíticos, devido às ligações de ramificação α -1,6 ($\approx$ 4–6 % da glucose total). A maioria das enzimas é específica para ligações α -1,4; contudo, é indispensável clivar também as ligações α -1,6 para converter amilopectina em glucose. Por isso, a engenharia de enzimas desramificantes tem registado avanços notáveis (Chaplin & Bucke, 1990).

Na seguinte tabela apresentam-se as principais enzimas utilizadas na hidrólise do amido, assim como as suas fontes, e as suas principais ações:

Tabela 2.1- Enzimas utilizadas na hidrólise do amido. Chaplin, M. F., & Bucke, C. (1990). The use of enzymes in starch hydrolysis (Cap. 4). In Enzyme Technology. Cambridge University Press.

Enzimas	Número EC	Fonte	Ação
α -Amilase	3.2.1.1	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Apenas as ligações α -1,4 dos oligossacarídeos são clivadas, originando α -dextrinas e, predominantemente, maltose (G2) e os oligossacarídeos G3, G6 e G7.
α -Amilase	3.2.1.1	<i>B. licheniformis</i>	Apenas as ligações α -1,4 dos oligossacarídeos são clivadas, originando α -dextrinas e, predominantemente, maltose, bem como os oligossacarídeos G3, G4 e G5.
α -Amilase	3.2.1.1	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. niger</i>	Apenas as ligações α -1,4 dos oligossacarídeos são clivadas, originando α -dextrinas e, predominantemente, maltose e o oligossacarídeo G3.
α -Amilase sacarificante	3.2.1.1	<i>B. subtilis</i> (amylosacchariticus)	Apenas as ligações α -1,4 dos oligossacarídeos são clivadas, originando α -dextrinas com maltose, G3, G4 e até 50 % (p/p) de glicose.
β -Amilase	3.2.1.2	Cevada maltada	Apenas as ligações α -1,4 são clivadas, a partir das extremidades não redutoras, originando dextrinas-limite e β -maltose.
Glucoamilase	3.2.1.3	<i>A. niger</i>	As ligações α -1,4 e α -1,6 são clivadas, a partir das extremidades não redutoras, produzindo β -glicose.
Pululanase	3.2.1.41	<i>B. acidopullulyticus</i>	Apenas as ligações α -1,6 são clivadas, originando maltodextrinas de cadeia linear.

A α -amilase de origem bacteriana, é uma enzima endo-hidrolítica que catalisa a clivagem aleatória das ligações α -1,4-glicosídicas em polissacarídeos como o amido, originando oligossacarídeos e dextrinas de menor peso molecular. Este tipo de enzima apresenta atividade ótima em condições de pH ligeiramente ácido e temperaturas elevadas, características típicas das α -amilases do tipo GH13. A sua ação ocorre através de um mecanismo que envolve resíduos catalíticos específicos no sítio ativo, geralmente um ácido aspártico e um ácido glutâmico, responsáveis pela transferência de prótons e estabilização do estado de transição. A presença de íons metálicos, como o cálcio,

contribui para a estabilidade estrutural da enzima e para a manutenção da sua atividade sob condições adversas. Estas propriedades tornam-na particularmente eficaz na liquefação de amido e na redução da viscosidade de soluções amiláceas (Abd-Elhalim et al., 2023).

As α -amilases fúngicas, pertencem à família GH13 e apresentam um domínio catalítico em barril (β/α)₈ típico. O seu mecanismo é de dupla deslocação retentora: um ácido glutâmico atua como nucleófilo, formando um intermediário glicosil-enzima, enquanto outro glutâmico funciona como ácido/base geral, permitindo a clivagem aleatória das ligações α -1,4-glicosídicas do amido. Estas enzimas exibem atividade ótima em pH 4,5-6,0 e 45-60 °C; iões Ca^{2+} estabilizam a estrutura, reforçando a resistência térmica. A rápida conversão de amido gelatinizado em maltose e dextrinas curtas explica a sua aplicação em liquefação de amido, panificação e bebidas vegetais (Hasan et al., 2024).

Celulases são enzimas do grupo das hidrolases, produzidas por microrganismos como fungos e bactérias, cuja função é catalisar a hidrólise da celulose em unidades menores de açúcares, como a celobiose e a glicose. Estas enzimas atuam de forma sinérgica sobre a estrutura da celulose, permitindo a sua conversão em açúcares fermentáveis (Castro, A. M., & Pereira Jr., N., 2010).

A β -amilase é uma enzima exo-hidrolítica que atua sobre as extremidades não redutoras das cadeias de amido, catalisando a clivagem das ligações α -1,4-glicosídicas e libertando, predominantemente, unidades de maltose. A sua atividade ocorre sobretudo nas regiões amorfas do amido, sendo a hidrólise parcialmente limitada nas zonas cristalinas, nomeadamente nas estruturas com ligações α -1,6 mais ramificadas. Durante o processo enzimático, observa-se uma diminuição do peso molecular dos polímeros de amido, um aumento da proporção de cadeias curtas e uma redução da capacidade de recristalização. Estas alterações estruturais influenciam diversas propriedades físico-químicas do amido, como a solubilidade, a viscosidade, a capacidade de absorção de água e a tendência para a retrogradação durante o armazenamento (Li et al., 2023).

As β -glucanases constituem um grupo de glicosil-hidrolases que degradam as β -glucanas presentes em paredes celulares de cereais, leveduras, fungos e algas. São maioritariamente endo-enzimas que reconhecem ligações β -1,3 (e, em algumas famílias, β -1,4 ou β -1,6) e atuam por um mecanismo de dupla deslocação retentor: dois resíduos

de ácido glutâmico no centro catalítico funcionam, respetivamente, como nucleófilo e ácido/base geral, formando um intermediário glicosil-enzima e libertando oligossacarídeos solúveis. Estruturalmente, distribuem-se por várias famílias CAZy (GH16, GH17, GH55, GH64, GH81, GH128, entre outras); as GH16 apresentam o típico dobramento “ *β -jelly-roll*”, enquanto as GH55 e GH64 exibem barris (α/α)₆. A presença de iões metálicos, sobretudo Ca^{2+} , estabiliza a conformação do domínio β e aumenta a resistência térmica. Em termos cinéticos, exibem atividade ótima em pH 5-6 e 45-60 °C, clivando aleatoriamente a cadeia polissacarídica e reduzindo rapidamente a viscosidade de soluções ricas em β -glucanas. Esta versatilidade explica a sua implantação em processos de clarificação de sumos e cerveja, melhoria de digestibilidade e obtenção de oligossacarídeos pré-bióticos (Huang et al., 2024; Jiang et al., 2024). Esta enzima catalisa a rutura das ligações β -1,3 e β -1,4 das β -glucanas, fragmentando grandes cadeias poliméricas em oligossacarídeos menores. Estas β -glucanas tendem a formar soluções altamente viscosas e gelificadas devido à sua capacidade de retenção de água e à criação de redes intermoleculares. Ao degradá-las, a beta-glucanase reduz significativamente o peso molecular e a estrutura da rede, resultando numa diminuição da viscosidade do meio, o que facilita a filtração e melhora a fluidez em aplicações alimentares (Marconi et al., 2014).

A endo- β -xilanase desliza ao longo destes polímeros, introduz a lâmina catalítica (um barril (β/α)₈) e corta, as ligações β -1,4 entre unidades de xilose. Cada golpe desprende fragmentos solúveis, aligeirando a malha vegetal e libertando oligossacarídeos que podem atuar como compostos pré-bióticos. Dois glutamatos posicionados no coração do sítio ativo comandam a ação, um produz o intermediário glicosil-enzima, o outro entrega/retira o protão certo, enquanto iões Ca^{2+} apertam a estrutura, garantindo que a tesoura molecular se mantém afiada mesmo a 60 °C e pH ligeiramente ácido. Esta precisão cirúrgica converte a xilanase numa “ferramenta multiuso” na indústria alimentar: descompacta mostos de cereais, acelera filtrações e, simultaneamente, acrescenta valor nutricional através dos xilooligómeros produzidos (Collins & McGregor, 2023; Liu et al., 2024).

Numa cadeia de amido que precisa de ser reduzido a moléculas de glucose: a glucoamilase fúngica cumpre essa tarefa como um “desenrolador” preciso. Integrada na família GH15, esta exo-hidrolase liga-se à extremidade não redutora da cadeia e, num movimento sucessivo, remove unidades de glucose, cortando tanto ligações α -1,4 como

α -1,6. O mecanismo obedece a duas etapas: primeiro, um ácido glutâmico no centro catalítico atua como nucleófilo e forma um intermediário glicosil-enzima; de seguida, um segundo ácido glutâmico entrega a água necessária para libertar a glicose e restaurar a configuração original do carbono anomérico. Graças à glicosilação abundante e a pontes iónicas internas, a enzima mantém-se activa acima de 90 °C e num intervalo de pH que vai de ligeiramente ácido a quase neutro, vantagens que permitem sacarificar misturas espessas sem recurso a jato-cozedura e reduzir tempos de fermentação. Ao final do processo, a glucoamilase fúngica deixa uma solução rica em glucose livre, pronta para fermentação ou conversão subsequente em xaropes, funcionando como peça-chave na extração completa do valor energético do amido. (EFSA, 2024).

2.1.10. Desafios e Perspetivas Futuras

Apesar dos progressos recentes, a produção de xaropes de aveia continua condicionada pela necessidade de padronizar as etapas de hidrólise—nomeadamente a dosagem de glucoamilase, o perfil de pH-temperatura e o tempo de residência—para garantir rendimentos reprodutíveis e viscosidade estável em escala industrial (Musdalifa et al., 2024; Xu et al., 2024). A heterogeneidade natural da fração amilose-amilopectina e do teor de β -glucanas entre lotes de grão obriga à adoção de ferramentas de monitorização *in-line* baseadas em espectroscopia multivariada, capazes de ajustar a carga enzimática em tempo real e salvaguardar a estabilidade coloidal dos produtos finais (Patra et al., 2022; Ofoedu et al., 2020).

Perspetivas futuras apontam para a integração de operações de alta pressão dinâmica, microfluidização ou ultrassons com glucoamilases imobilizadas e enzimas de hidrólise de amido granular, elevando a sacarificação acima de 95 % sem degradar compostos funcionais termossensíveis (Xu et al., 2024; Miftahuddin et al., 2024).

Em paralelo, técnicas de modificação física—como tratamento térmico-húmido, extrusão suave ou ciclos de retrogradação controlada—mostram-se eficazes na modulação da viscosidade, cor e perfil aromático dos xaropes, minimizando reacções de Maillard indesejáveis (Farooq & Yu, 2024).

Por fim, a exploração de matérias-primas amiláceas alternativas (sorgo, tubérculos) com alto teor de amilose oferece oportunidades para desenvolver xaropes sem glúten e de baixo índice glicémico que respondam a segmentos *clean-label* e metabólicos específicos (Musdalifa et al., 2024; Ofoedu et al., 2020).

2.2. Materiais e Métodos

Para produzir um xarope de arroz ou aveia foi necessário primeiro produzir a base concentrada que o iria originar.

2.2.1 Preparação das bases vegetais

Estas bases concentradas foram feitas em laboratório e consistiam na junção de 3 ingredientes, água, farinha (ou farelo) de cereal, e enzimas. Apesar de estes serem os ingredientes fundamentais a percentagem que se adiciona de cada vai depender do tipo de base que se pretende obter ou, se essa base for aplicada num produto alimentar são tidos em conta os objetivos pretendidos para esse produto.

O processo (Anexo 2) foi realizado numa panela pousada em cima de uma placa de aquecimento (para manter a temperatura pretendida), com o auxílio de uma varinha mágica (para garantir a homogeneização), e foi usado também um termómetro para controlo de temperatura (Figura 2.3) Ao incorporar a farinha, pouco a pouco, em água previamente aquecida, os amidos gelatinizaram; de seguida, a adição de enzimas nas temperaturas ideais de atuação provocou a liquefação da mistura e iniciou a sacarificação, transformando o amido em açúcares mais simples. Depois do processo de cozedura, o conteúdo da panela seguiu para a separação por centrifugação.



Figura 2.3: Produção das Bases Concentradas em Laboratório da BENEFIT

Na separação destes concentrados, foram usadas as centrífugas representadas na Figura 2.4 com as seguintes condições: 4000 rpm; 10 minutos, 20 °C, para separar os sólidos insolúveis da solução, criando duas fases distintas. Os farelos de aveia, sendo mais densos, são empurrados para o fundo e lateral dos frascos utilizados. A parte mais homogênea e líquida (rico em nutrientes solúveis) permanece no topo, ficando clarificada. No fim da etapa de centrifugação, os frascos eram agitados e o seu conteúdo líquido era colocado em recipientes, utilizando a varinha para homogeneização e descartando os resíduos sólidos (*pellet*). Após homogeneização, o Valor de °Brix era verificado, sendo compreendido entre 30 e 33 no caso da aveia e entre 23 e 26 no caso do arroz.



Figura 2.4: Centrífugas utilizadas no laboratório da BENEFIT

Após esta fase, o líquido obtido era colocado em garrafas apropriadas para o seu tratamento em autoclave, que foi previamente aquecida para uma melhor eficiência.

Uma autoclave é um equipamento utilizado para esterilização. Funciona através da aplicação de vapor de água sob alta pressão e temperatura elevada para eliminar microrganismos, garantindo assim um ambiente ou materiais estéreis. Os itens a esterilizar são colocados em garrafas de autoclave de 2 L, no interior da câmara do autoclave, dentro de um cesto metálico. Seguidamente a porta da autoclave é fechada para criar um ambiente selado. A água é aquecida até gerar vapor, neste caso o autoclave é programado para atingir uma temperatura de 110°C. Posteriormente a pressão no interior da câmara é aumentada para cerca de 1 a 2 atm acima da pressão atmosférica, o que aumenta a eficiência da esterilização.

O tempo de esterilização varia de acordo com o material e o ciclo, mas geralmente dura entre 10 a 20 minutos. Após o ciclo, a pressão é libertada gradualmente, rodando a válvula de exaustão lentamente, permitindo a remoção dos materiais quando o autoclave tiver perdido a pressão e a temperatura não ultrapassar os 94 °C. Nesta altura as garrafas podem ser retiradas com segurança.



Figura 2.5: Autoclave utilizada no laboratório da BENEFIT

Após o tratamento térmico, o produto obtido era arrefecido, para ser guardado e posteriormente utilizado no equipamento para evaporação e produção de xarope (IKA).

2.2.2 Preparação dos xaropes

Os xaropes foram produzidos em um reator de processamento modular com controlo de temperatura, pressão e agitação (IKA LR 1000 CONTROL SYSTEM). Este reator é projetado para aquecer, homogeneizar, processar e evaporar diferentes tipos de materiais líquidos ou semi-sólidos. O sistema é composto por um reator de processamento modular de vidro com acessórios adicionais que permitem adaptar o equipamento às necessidades específicas do processo. O reator é equipado com uma base de aquecimento que permite controlar com isolamento a temperatura (até cerca de 180°C). O painel de controlo permite ajustar e monitorizar parâmetros como: temperatura; velocidade mecânica (ajustável entre 0 e 750 rpm) e pressão. Este aparelho inclui ainda um agitador mecânico com lâminas avançadas para mistura eficazmente homogénea. Contém acessórios, como condensadores, válvulas de distribuição e outros sistemas para processos sob vácuo.

O concentrado de cereal foi colocado no vaso de ensaio do equipamento, a uma temperatura de refrigeração de 4 graus. De seguida foi aquecido e após atingir a temperatura determinada, foi ligada a bomba de vácuo para remover o vapor de água da amostra. Este vapor de água era condensado e recolhido num balão, o que permitiu assim fazer um controlo visual (qualitativo) do volume de água retirado. Foi importante pesar a água que estava no balão para poder perceber quanto faltava para atingir o °Brix pretendido. Por exemplo, tendo uma base concentrada com um °BRIX de 30 com o objetivo de fazer um xarope com um °Brix de 75 era possível fazer uma estimativa da água que se tinha de retirar, da seguinte maneira (pois existe uma relação de proporcionalidade inversa).

Peso de base concentrada inicial $\rightarrow$ °Brix pretendido do Xarope

$x \rightarrow$ °Brix da base concentrada

Por exemplo;

$$1300\text{g} \rightarrow 75 \quad 1300 \cdot 30 = 75 \cdot x$$

$$x \rightarrow 30 \quad x = 520 \text{ g de Xarope}$$

Ou seja $1300 - 520 = 780 \text{ g}$

Então 780g de água deviam ser retirados para o xarope ficar com o °Brix de 75°. Sabendo que o balão cheio de água levava aproximadamente 500 g de água isto ajudava a controlar o processo. Este raciocínio não era rigoroso, apenas uma estimativa. Muitas vezes tirava-se menos ou mais água do que o previsto, mas serve como processo de orientação.

O processo de evaporação demorou aproximadamente 3 horas, sendo as primeiras horas de relativamente simples controlo. Contudo, ao aproximar do valor de °Brix pretendido, foi necessário um controlo mais rigoroso, retirando amostras para a medição, visto o equipamento não dispor de medição em tempo real. Esta fase foi de alta importância, para que não se ultrapassasse o valor °Brix pretendido e com isso degradar a amostra devido a caramelização.



Figura 2.6: IKA, Reator de processamento modular com controle de temperatura, pressão e agitação utilizado no laboratório da BENEFIT

Terminado todo este processo (Anexo 3) os xaropes estavam prontos e eram armazenados no frigorífico. Assim como o resto das bases concentradas.

2.2.3 Análise das bases concentradas e dos xaropes

Tanto nas bases concentradas como nos xaropes foi necessário a análise de alguns parâmetros. Estas medições foram concretizadas em 2 momentos distintos do trabalho, após a produção das Bases Concentradas e após obter os Xaropes.

Foram analisados diversos parâmetros das amostras, abrangendo diferentes propriedades: a nível físico-químico, determinou-se o pH através de um potenciômetro (Figura 2.7a); este equipamento foi calibrado antes de cada utilização, com o auxílio de duas soluções padrão uma de $\text{pH}=7$ e outra de $\text{pH}=4$. Mediu-se também o °Brix, utilizando um refratômetro digital, (Figura 2.7b), para quantificar os sólidos solúveis. Antes da utilização deste aparelho procedeu-se á calibração do mesmo, verificando que o nível da água destilada era 0 graus de °Brix.

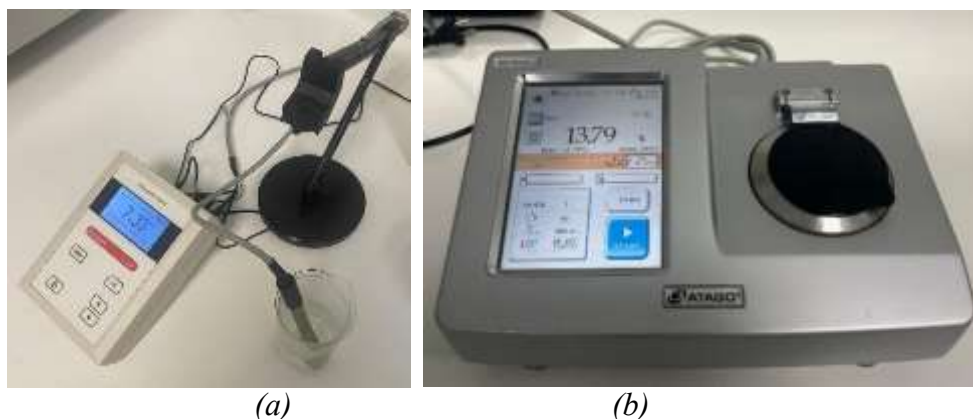


Figura 2.7: Potenciômetro (a) e Refratômetro Digital (b), respectivamente, utilizados no laboratório da BENEFIT

A viscosidade foi avaliada como parâmetro reológico, usando um viscosímetro (Figura 2.8, (a)), com um spindle 6 ou 7, dependendo da viscosidade dos xaropes, este aparelho é adequado para medir a resistência das amostras ao fluxo; e determinou-se o teor de glucose enquanto parâmetro nutricional, através da análise espectrofotométrica (Figura 2.8, (b)).

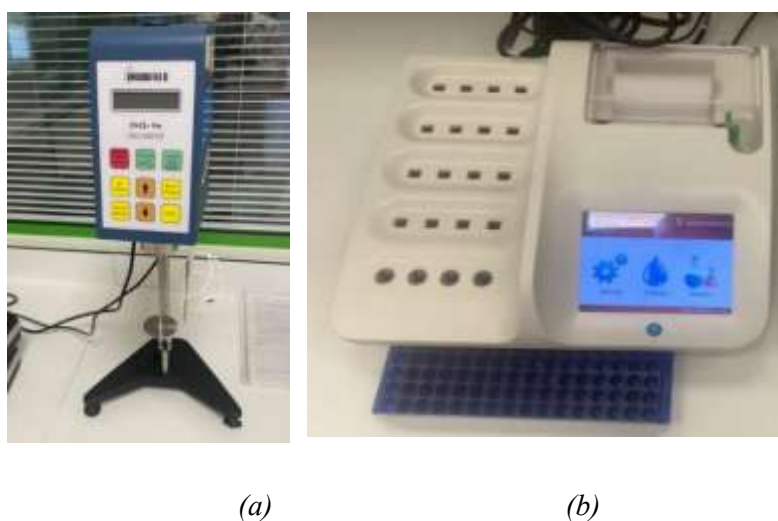


Figura 2.8: Viscosímetro(a) e Analisador Fotométrico Termostatzado (b) utilizados no laboratório da BENEFIT

Foram desenvolvidos Xaropes de Aveia com Dextrose Equivalente aproximadamente de 26 e de 36 com farinha sem glúten, e com farinha de endosperma convencional, foi ainda produzido Xarope de Arroz. Foram medidos os parâmetros anteriormente mencionados para cada base concentrada, assim como para cada Xarope.

2.2.4 Desenvolvimento de aplicações alimentares com os xaropes desenvolvidos

2.2.4.1 Desenvolvimento de Barritas (Cereais e Chocolate)

A primeira receita a ser realizada foram umas barritas de cereais e chocolate, desenvolvida com o auxílio de receitas das aulas de Nutrição, Ciclo de Vida & Saúde, do 1º ano de mestrado, juntamente com o aconselhamento dos colegas de equipa da Benefit. Esta receita foi realizada 3 vezes, sendo que foram preparados 250 gramas correspondentes a 3 barritas usando mel, 250 gramas (3 barritas) usando xarope de aveia e 250 gramas (3 barritas) usando xarope de ácer. Tendo como referência os valores de °Brix, 85° para o Mel, 66° para o Xarope de Ácer e 70° para o Xarope de Aveia, foi necessário fazer uma estimativa de que valores se deviam mudar sendo tomada como receita de referência as barritas em que se usa mel.

Tabela 2.2: Ingredientes Barrita de Cereais e Chocolate usando Mel

Ingredientes	% do peso total	Quantidade (g)
Flocos de aveia	24,3	60,75
Mel	19,4	48,5
Amêndoa partida	31,6	79
Pepitas de chocolate 89% cacau	10,9	27,25
Manteiga	13,8	34,5

Começando por calcular os sólidos das barritas com mel:

$$48,5 \times 0,85 = 41,225 \text{ g de sólidos solúveis}$$

Quantidade necessária para fornecer os mesmos sólidos no caso do Xarope de Ácer:

$$\text{Xarope necessário} = \frac{41,225 \text{ g}}{0,66 \text{ g}} = 62,46 \text{ g}$$

Substituiu-se 48,5 g de mel por 62,46 g de xarope de ácer. O xarope de ácer tem menos °Brix logo faz sentido ser necessário mais volume para igualar os sólidos, mas isto fez com que a barrita ficasse mais líquida, logo, para balançar este facto, tirou-se quantidade ao único ingrediente líquido, e mais estruturante, que neste caso é a manteiga. $62,46 - 48,5 = 13,96 \text{ g}$, ou seja, tem-se mais 13,96 g

Mantendo o peso total de 250g, reduziu-se esses 13,96 g à manteiga, que dá 20,54g .

Com este raciocínio fez-se o ajuste da receita para o mel:

Tabela 2.3: Ingredientes Barrita de Cereais e Chocolate usando Xarope de Ácer

Ingredientes	% do peso total	Quantidade (g)
Flocos de aveia	24,3	60,75
Xarope de Ácer	24,9	62,26
Amêndoa partida	31,6	79
Pepitas de Chocolate 89% cacau	10,9	27,25
Manteiga	8,2	20,54

Para o Xarope de Aveia os cálculos foram realizados seguindo a mesma linha de pensamento:

Quantidade necessária para fornecer os mesmos sólidos:

$$\text{Xarope necessário} = \frac{41,225g}{0,70g} = 58,89 \text{ g}$$

Substituiu-se 48,5 g de mel por 58,89 g de xarope de aveia. $58,89 - 48,5 = 10,39g$

Ajustando a quantidade de manteiga: $34,5 - 10,39 = 24,11g$ de manteiga

Tabela 2.4: Ingredientes Barrita de Cereais e Chocolate usando Xarope de Aveia DE 36 GF

Ingredientes	% do peso total	Quantidade (g)
Flocos de aveia	24,3	60,75
Xarope de Aveia DE 36 GF	23,6	58,89
Amêndoa partida	31,6	79
Pepitas de Chocolate 89% cacau	10,9	27,25
Manteiga	9,6	24,11

Tendo as receitas acertadas procedeu-se à confeção das 9 barritas, 3 de cada tipo. O modo de preparação destas barritas está representado no Anexo 3.

2.2.4.2 Desenvolvimento de Barritas (Maçã, Canela e Sultanas)

Experimentou-se ainda outra receita diferente de barritas, desta vez uma adaptação de uma receita do aparelho Bimby TermoMixer mais uma vez com o objetivo de ver as diferentes atuações do mel, xarope de ácer e xarope de aveia em barritas, e mais uma vez foram confeccionadas 3 barritas de cada tipo.

O raciocínio para acertar os ingredientes em cada barrita foi o mesmo que na receita das barritas de chocolate e cereais, tendo existido diferença de que neste caso a farinha de arroz integral era um ingrediente que podia ajudar a compensar a adição de mais “líquidos”. A lista de ingredientes original, com o mel era a seguinte:

Tabela 2.5: Ingredientes Barrita de Maçã usando Mel

Ingredientes	% peso total	Quantidade
Açúcar	17,4	43,5
Maçã aos pedaços	34,2	85,5
Manteiga	11,6	29,1
Mel	2,0	5,0
Canela	0,2	0,5
Sultanas	5,1	12,75
Aveia	21,7	54,25
Farinha de Arroz Integral	7,8	19,4

Os ingredientes fixos: o açúcar (43,5g), a maçã aos pedaços (85,5g), canela (0,5g), as sultanas (12,75g) e a aveia (54,25g) correspondendo a um total de 196,5g.

Peso restante para ajustar:

$$250 - 196,5 = 53,5 \text{ g (para: xarope + manteiga + farinha)}$$

Sendo o mel tomado como referência, e tendo este um °Brix de 85°

$$5,0\text{g} \times 0,85 = 4,25 \text{ g de sólidos}$$

Tendo em conta também que na receita original são usados 29,1 g de manteiga e 19,4 g de farinha de arroz integral.

$$\text{Somando: } 29,1 + 19,4 = 48,5 \text{ g}$$

Logo a proporção relativa entre os dois:

$$\text{Manteiga: } 29,1 / 48,5 = 0,60 \Rightarrow 60\%$$

$$\text{Farinha de arroz: } 19,4 / 48,5 = 0,40 \Rightarrow 40\%$$

Sabendo estas razões de proporção foi possível calcular a quantidade de Xarope de Ácer a adicionar (sendo que este tem um °Brix de 66°):

$$4,25 / 0,66 = 6,44 \text{ g}$$

$$\text{Restante} = 53,5 - 6,44 = 47,06 \text{ g}$$

- Manteiga = $47,06 \times 0,6 = 28,24 \text{ g}$
- Farinha = $47,06 \times 0,4 = 18,82 \text{ g}$

A receita resultante está listada na Tabela 2.6:

Tabela 2.6: Ingredientes Barrita de Maçã usando Xarope de Ácer

Ingredientes	% peso total	Quantidade
Açúcar	17,4	43,5
Maçã aos pedaços	34,2	85,5
Manteiga	11,3	28,24
Xarope de Ácer	2,6	6,44
Canela	0,2	0,5
Sultanas	5,1	12,75
Aveia	21,7	54,25
Farinha de Arroz Integral	7,5	18,82

No caso do Xarope de Aveia foi aplicado um raciocínio semelhante aquele utilizado para a adição do xarope de ácer. Sendo que o Xarope de Aveia tem um °Brix de 70°.

$$4,25 / 0,70 = 6,07 \text{ g}$$

$$\text{Restante} = 53,5 - 6,07 = 47,43 \text{ g}$$

- Manteiga = $47,43 \times 0,6 = 28,46 \text{ g}$
- Farinha = $47,43 \times 0,4 = 18,97 \text{ g}$

A receita resultante está listada na Tabela 2.7.

Tabela 2.7: Ingredientes Barrita de Maçã usando Xarope de Aveia

Ingredientes	% peso total	Quantidade
Açúcar	17,4	43,5
Maçã aos pedaços	34,2	85,5
Manteiga	11,4	28,46
Xarope de Aveia DE 36 GF	2,4	6,07
Canela	0,2	0,5
Sultanas	5,1	12,75
Aveia	21,7	54,25
Farinha de Arroz Integral	7,6	18,97

Com as receitas adaptadas foi possível a confecção das 9 barritas. O modo de preparação encontra-se no Anexo 4.

2.2.4.3. Desenvolvimento de Cookies (Integrais)

Os xaropes de aveia foram testados na confecção de bolachas, desta vez comparando apenas com o mel, visto que é o principal “concorrente” em relação ao xarope de aveia. Foi formulada uma receita de bolachas integrais de acordo com a Tabela 2.8:

Tabela 2.8: Ingredientes Cookies integrais usando Mel

Ingredientes	% do peso total	Quantidade (g)
Farinha de Trigo Integral	67,59	228,99
Fermento	0,24	0,81
Mel	5,9	19,99
Cacau em pó	2,13	7,22
Manteiga	10,63	36,01
Açúcar	13,51	45,77
Ovo	NA	1/2 ovo

Para equilibrar as diferenças de °Brix entre o mel (85°) e o xarope de aveia (70°) começou-se por calcular os sólidos do mel: $19,99 \times 0,85 = 16,99$ g

Calculando o xarope de aveia necessário adicionar: $\frac{16,99}{0,70} = 4,28$ g

Como esta quantidade de 4,28 g de xarope de aveia estaria a mais, distribuiu-se pela remoção de farinha e manteiga, na proporção que se encontravam na receita do mel.

- Farinha = 228,99 g;
- Manteiga = 36,01 g

Soma = $228,99 + 36,01 = 265$ g

O que corresponde a razões de 0,864 e 0,136 de farinha e manteiga, respetivamente.

Foi assim necessário retirar $0,864 \times 4,28$ g de Farinha, que equivale a 3,70g, e

$0,136 \times 4,28$ g de Manteiga, que equivale 0,58 g.

Concluídos os cálculos, com o objetivo de equilibrar todos os ingredientes, foi estabelecida a receita final para as *cookies* integrais utilizando o Xarope de Aveia DE 36 GF (Tabela 2.9):

Tabela 2.9: Ingredientes Cookies integrais usando Xarope de Aveia

Ingredientes	% do peso total	Quantidade (g)
Farinha de Trigo Integral	66,5	225,29
Fermento	0,24	0,81
Xarope de Aveia DE 36 GF	7,16	24,27
Cacau em pó	2,13	7,22
Manteiga	10,46	35,43
Açúcar	13,51	45,77
Ovo	NA	1/2 ovo

De notar que o ovo não foi incluído no peso total porque na Frulact não existia ovos em stock, então este ingrediente foi trazido de casa e não pode ser inserido oficialmente na base de dados da equipa Benefit. Ajustados todos os ingredientes procedeu-se á confeção das mesmas, 3 lotes de *cookies* com mel e, 3 lotes de *cookies* com xarope de aveia. O modo de preparação destas *cookies* encontra-se no Anexo 5.

2.2.4.4. Desenvolvimento de *Cookies* (Pepitas de Chocolate)

Foi também preparada uma receita de *cookies* com pepitas de chocolate, adaptada da Bimby TermoMixer, com o objetivo de fazer 9 *cookies* de cada tipo.

Tendo em conta que o ovo também tem um peso significativo, apesar de tal como referido anteriormente, não fazer parte dos ingredientes da Frulact, pesou-se mais ou menos o interior de 1 ovo para cada tipo de cookie e incluiu-se o peso destes aquando da adaptação da receita em termos de quantidades, de modo a procurar o perfil sensorial mais equilibrado possível e comparável para as variações com mel e xarope de aveia. A receita original com o mel foi a seguinte:

Tabela 2.10: *Ingredientes Cookies de Chocolate usando Mel*

Ingredientes	% do Peso Total	Quantidade g
Manteiga	16,1	60
Mel	20,1	75
Ovo	17,4	65
Farinha de Trigo	26,8	100
Bicarbonato de Sódio	0,4	1,5
Sal	0,3	1
Fermento	0,3	1
Chocolate de culinária	18,6	70

A lógica utilizada para a adaptação na variação com xarope de aveia foi a mesma que nas outras aplicações, apenas com a diferença de que o ovo também foi considerado ingrediente estruturante.

Calcular os sólidos do mel: $75\text{g} \times 0,85 = 63,75\text{ g}$

Ou seja, no caso do xarope de aveia seriam necessários: $0,70 / 63,75 = 91,07\text{ g}$, o que representa um excesso de 16,07 g comparado com os 75 g de mel.

Para manter o peso total igual, e equilibrar os ingredientes, retirou-se esse excesso de 16,07 g, dos ingredientes estruturantes (manteiga, farinha e ovo), respeitando as

proporções em que eles se encontravam originalmente. Na receita das cookies com mel a manteiga pesava 60g, a farinha 100g e o ovo 65g num total combinado de 225g.

A manteiga, farinha e ovo representavam no conjunto: 0,267, 0,440 e 0,289, respetivamente.

Neste sentido as 16,07 g a remover foram distribuídas pela manteiga (retiraram-se 4,28 g), farinha de trigo (retiraram-se 7,14 g) e ovo (retiraram-se 4,65 g), tendo-se obtido a receita final listada na Tabela 2.11.

Tabela 2.11: Ingredientes Cookies de Chocolate usando Xarope de Aveia

Ingredientes	% do Peso Total	Quantidade g
Manteiga	14,92	55,71
Xarope de Aveia DE 36 GF	24,38	91,07
Ovo	16,16	60,36
Farinha de Trigo	24,86	92,86
Bicarbonato de Sódio	0,4	1,5
Sal	0,3	1
Fermento	0,3	1
Chocolate de culinária	18,68	70

As cookies foram confeccionadas segundo o Anexo 6.

2.2.4.5. Desenvolvimento Bebida Barista

Nesta aplicação o objetivo era um pouco diferente, do objetivo das barritas e cookies, que era perceber se o xarope de aveia poderia ser um substituto do xarope de ácer ou do mel. No caso da bebida Barista esta aplicação já está muito estudada e otimizada por parte da equipa Benefit, constituindo uma das aplicações, usando Base Concentrada de Aveia, que apresenta melhor desempenho tecnológico e funcional.

Assim, nesta aplicação o objetivo foi perceber se, em vez de usar a base concentrada, se podia substituir por Xarope de Aveia adicionando água.

Além de verificar se a bebida ficava com o mesmo sabor e textura, foi imperativo verificar que se mantinha a principal característica deste produto, designadamente, a capacidade de fazer espuma.

Produziu-se a bebida Barista utilizando a receita da equipa Benefit, a qual não pode ser listada por questões de confidencialidade. A formulação integrou, como principais ingredientes, a Base Concentrada de Aveia, água, gordura (sob a forma de óleo de coco), um agente emulsionante e sais minerais.

O processo de fabrico iniciou-se com o aquecimento conjunto da base concentrada e da gordura, promovendo a fusão dos dois componentes, ao que se seguiu uma emulsão preliminar. Subsequentemente, adicionou-se o agente emulsionante juntamente com aproximadamente um terço da quantidade total de água prevista, permitindo a continuação do processo de emulsificação. Depois, introduziram-se os sais minerais previamente dissolvidos em cerca de $\frac{1}{4}$ da água remanescente, promovendo-se de seguida a homogeneização da mistura recorrendo á varinha mágica. De seguida procedeu-se ao seu aquecimento até 60 °C, temperatura considerada adequada para a homogeneização industrial, garantindo a estabilidade físico-química do produto. Por fim, a bebida foi submetida a um processo de pasteurização térmica (95 °C durante 15 minutos), assegurando, assim, os requisitos de segurança e qualidade alimentar. O fluxograma representativo das várias etapas do processo encontra-se disponibilizado no Anexo 7.

2.2.5. Otimização Xarope de Aveia

A última fase do estágio consistiu na otimização da formulação do xarope de aveia. Ao longo dos meses de estágio, observou-se um aumento exponencial na procura e no interesse pelos xaropes por parte dos clientes e das chefias da Benefit. Este crescimento deve-se, em grande parte, ao facto de a maioria dos produtos comercializados pela marca consistirem em bases concentradas de aveia. Assim vantajosa possibilidade de transportar essas bases de forma mais económica e eficiente, tornou-se altamente relevante para a marca Benefit. A conversão dessas bases em xaropes revelou-se vantajosa, uma vez que permite obter um produto com maior °Brix, prazo de validade alargado, maior estabilidade e níveis superiores de glucose, de proteína e de fibra, entre outros benefícios. Deste modo, surgiu a necessidade prioritária de melhorar ainda mais a formulação dos xaropes, especialmente tendo em vista a futura instalação de um Evaporador Industrial na Benefit. Era, portanto, essencial que os testes em laboratório estivessem devidamente alinhados para dar suporte aos ensaios em escala industrial que se seguiriam.

Depois de conhecer melhor o mercado dos xaropes de aveia, os produtos concorrentes deste tipo, e de receber pedidos específicos de clientes, novos objetivos e ambições surgiram, tendo sido necessário alterar os parâmetros a atingir para os seguintes valores:

- pH: entre 6 e 7,5
- °Brix: entre 71 e 72
- Viscosidade: Mínima, sendo sempre <9000 Cp`s
- Glucose: Na ordem dos 250 g/L
- Maltose: Na ordem dos 150 g/L

Para atingir os parâmetros desejados, foram testadas várias formulações de Xaropes, recorrendo a um novo método de confeção. Foram usadas diferentes tipos de enzimas, aplicadas diferentes percentagens de cada enzima e utilizados diferentes tipos de farinha. Todo este processo teve como objetivo identificar o ensaio de xarope que mais se aproximasse dos parâmetros previamente propostos, tanto em termos de composição como de desempenho tecnológico.

Começou-se por seguir o raciocínio da primeira etapa de desenvolvimento dos Xaropes, no entanto, baixando a temperatura de confeção no IKA o xarope não carameliza de forma tão eficaz, o que faz com que fique mais líquido.

Por outro lado, decidiu-se aumentar a rotação do IKA para 80 rpm`s, pois quanto maior for a velocidade de rotação (taxa de cisalhamento), menor será a viscosidade aparente (Gabsi et al., 2013).

Visto que a temperatura no IKA foi diminuída, o xarope iria demorar tendencialmente muito mais a fazer, pois ao ser uma temperatura menor, a velocidade de evaporação é menor, então o processo tornar-se-ia mais longo. Para contrariar isto, decidiu-se também diminuir a pressão para 20-30 Mbar`s.

Em todos os ensaios de otimização o IKA foi então programado para funcionar a 40°C, 80 rpm e com uma pressão interior de aproximadamente 25 Mbar`s.

Ensaio 1: O trabalho iniciou-se com o foco na resolução de um problema previamente identificado: os xaropes apresentavam um teor de maltose superior ao de glucose. O objetivo principal passou por promover a conversão da maltose em unidades mais simples, de glucose. Para isso, adicionou-se uma nova enzima, a maltogenase. A formulação manteve a utilização de farinha de aveia isenta de glúten como base, e incluiu ainda as seguintes enzimas: uma alfa amílase bacteriana para a hidrólise do amido; uma celulase para degradação de fibras; uma beta-amilase microbiana, com função na

hidrólise das proteínas e uma betaglucanase, utilizada para diminuir a viscosidade da solução.

Ensaio 2: Este ensaio correspondeu à repetição do ensaio 1, com uma única variação: substituiu-se a enzima alfa-amílase bacteriana utilizada inicialmente por uma variante com ação não apenas sobre o amido, mas também sobre as β -glucanas solúveis presentes na aveia. Esta modificação teve como objetivo avaliar o impacto da nova enzima na eficiência da hidrólise e nas características finais do xarope.

De facto, os valores de glucose aumentaram nos dois ensaios 1 e 2, mas não o suficiente; além disso os valores de viscosidade continuavam demasiado elevados, o que obrigou a considerar uma nova abordagem.

Ensaio 3: A enzima alfa amílase foi novamente substituída por uma enzima com maior grau de pureza, maior poder catalítico, maior estabilidade resistindo a temperaturas mais elevadas (100°C). As restantes enzimas foram: uma alfa amílase fúngica usada na etapa de sacarificação; uma beta-xilanase para hidrolisar os polissacáridos não amiláceos das paredes celulares, uma beta-amilase microbiana e uma betaglucanase. A farinha usada foi farinha de aveia isenta de glúten.

Ensaio 4: O ensaio 4 repetiu o ensaio 3 tendo apenas alterado uma variável: a enzima alfa amílase fúngica foi substituída por uma glucoamilase, que geraria maior teor de glucose em vez de libertar tanta maltose como aconteceu no ensaio anterior.

Apesar dos valores da glucose terem subido ligeiramente do ensaio 3 para o ensaio 4, estes mantinham-se abaixo dos 250 g/L pretendidos. De referir que, o recurso a esta nova α -amilase permitiu baixar os valores da viscosidade para valores abaixo daqueles registados nos ensaios 1 e 2.

Nesta sequência passou-se para outra formulação onde não foi utilizada a betaglucanase porque, uma vez que é uma enzima de custo elevado pretendeu-se avaliar se o seu papel era fundamental ou não, e se influenciava, em particular, a viscosidade do produto. Adicionalmente, pretendeu-se estudar o impacto da enzima do tipo beta-xilanase versus a glucoamilase, apesar de estas terem alvos diferentes. Foram realizados os ensaios 5 e 6 para avaliar estes dois efeitos.

Ensaio 5: A farinha usada foi isenta de glúten. As enzimas utilizadas foram a α -amilase bacteriana mais pura, a beta-xilanase e uma beta-amilase.

Ensaio 6: Este ensaio repetiu o anterior tendo apenas sido substituída a beta-xilanase por uma glucoamilase.

O uso da glucoamilase teve mais impacto nos valores de glucose. Por outro lado, a viscosidade aumentou bastante nestas versões logo, a betaglucanase foi adotada como fixa para o resto das versões.

Ensaio 7: No sentido de avaliar outros tipos de farinhas, este ensaio foi realizado com farinha integral de aveia. O racional para esta avaliação baseou-se no facto de ao ser integral o xarope poderia conter mais fibra, o que poderia ser um valor acrescentado do ponto de vista nutricional. As enzimas utilizadas foram a alfa-amilase com maior grau de pureza, a betaglucanase, a beta-xilanase, uma alfa-amilase fúngica e uma beta amilase.

Ensaio 8: Neste ensaio, em tudo igual ao ensaio 7, exceto que neste caso avaliou-se o desempenho da farinha de endosperma convencional.

Ensaio 9: No ensaio 9 mudaram-se duas variáveis em relação ao ensaio 7: utilizou-se farinha isenta de glúten, e acrescentou-se uma glucoamilase, numa percentagem mais elevada do que aquela usada nos ensaios anteriores.

Ensaio 10: Esta formulação foi com farinha integral e integrava as mesmas enzimas que as usadas no ensaio 7, mas com maior concentração de alfa-amilase fúngica.

Ensaio 11: Como os valores de viscosidade registados no ensaio 10 foram muito altos, e os valores de glucose foram muito baixos, o ensaio 11 repetiu o ensaio 10 para confirmar se não tinha havido algum erro na preparação.

Os resultados obtidos foram muito semelhantes, esta diferença acentuada terá sido devido ao uso da farinha integral.

Ensaio 12: As enzimas utilizadas foram a alfa-amilase com maior grau de pureza, a betaglucanase, a beta-xilanase, uma alfa-amilase fúngica, a beta amilase e a glucoamilase. A farinha utilizada foi de endosperma convencional.

Ensaio 13: Por último, este ensaio envolveu exatamente as mesmas enzimas que o ensaio 12, mas a farinha utilizada foi a farinha integral.

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1 Confeção dos Xaropes e Avaliação dos Parâmetros:

2.3.1.1 Primeiro Método

Inicialmente produziram-se bases concentradas de aveia, a receita destas bases não pode ser partilhada na íntegra, com percentagens exatas, por razões de confidencialidade impostas pela Benefit/Frulact. Estas bases continham farinha, água, dois tipos de alfa amílases bacterianas, uma enzima da família das celulasas, e uma beta amílase, no final da sacarificação era adicionado também uma pequena percentagem de bicarbonato de sódio. Nesta fase o IKA era programado para funcionar a 60 ° C, com uma rotação de 60 rpm, e uma pressão de 40 Mbar. Após produção o xarope era colocado num recipiente de plástico esterilizado e armazenado em refrigeração (Figura 2.9).



Figura 2.9: Exemplar de um Xarope de Aveia armazenado num pote esterilizado

Para a apresentação de todos os resultados entenda-se como convencional os produtos em que é utilizada farinha de endosperma, que contém glúten. Nos primórdios do estágio, os objetivos a alcançar a nível de parâmetros, propostos pela equipa da Benefit, em relação aos xaropes de aveia, eram:

- pH entre 6 e 7
- °Brix de 75
- Viscosidade de 20 000 Cp's
- Glucose na ordem dos 40 g/L
- 0.8 atividade da água

Foram medidos tanto os parâmetros das bases concentradas de aveia, como dos xaropes de aveia, os resultados encontram-se na seguinte tabela:

Tabela 2.12: Parâmetros físico-químicos da Bases Concentradas e Xaropes de Aveia realizados utilizando o 1º método

	Produto (DE)	pH	°Brix	Viscosidade (Cp)	Glucose(g/L)	Atividade da Água	Data de Confeção	Data de Medição
Xaropes	26 Convencional	5,97	75,43	55 343	32,00	0,85	16/01/2025	24/01/2025
	36 Convencional	5,99	75,03	32 400	36,00	0,84	20/01/2025	24/01/2025
	26 Sem Glúten	5,93	74,60	71 000	36,00	0,85	28/01/2025	29/01/2025
	36 Sem Glúten	6,03	75,36	46 000	37,37	0,85	07/01/2025	14/01/2025
Concentrados	26 Convencional	6,33	30,00	NA	12,00	NA	15/01/2025	24/01/2025
	36 Convencional	6,22	31,30	NA	18,00	NA	17/01/2025	24/01/2025
	26 Sem Glúten	6,22	29,10	NA	12,00	NA	27/01/2025	29/01/2025
	36 Sem Glúten	6,49	32,78	NA	13,97	NA	07/01/2025	14/01/2025

Verificou-se que apesar de os outros parâmetros estarem dentro do expectável, a viscosidade do produto era demasiado elevada face às expectativas da equipa BENEFIT, isto porque os xaropes da concorrência conseguiam melhores resultados, um produto com as mesmas características, mas com muito menos viscosidade. Para conseguir baixar a viscosidade fez-se um brainstorming para criar estratégias, entendendo-se que os fatores que influenciam mais a viscosidade são a temperatura de confeção do xarope, o °Brix a que este se encontra, e as enzimas adicionadas na produção da base concentrada de aveia.

Encontrou-se ainda outro problema além da viscosidade destes Xaropes, a nível organolético e a nível de praticidade de manuseamento. Foi detetado um sabor demasiado torrado/caramelizado que indicava que a temperatura de processamento era demasiado elevada, influenciando a formação de notas organoléticas pouco interessantes para este tipo de produto.

2.3.1.2 Segundo Método

Posto isto, decidiu-se baixar a temperatura do IKA para 50°C, mantendo a receita usada no 1º método, isto fez com que o xarope demorasse mais tempo a ser feito, pois quanto mais baixa é a temperatura, mais a água demora a evaporar. No entanto esta variável era a mais fácil de manipular sem interferir nos outros parâmetros. Fez-se também o Xarope de Arroz, com diferentes percentagens de enzimas adicionadas na confeção da base concentrada. Os objetivos a alcançar a nível de parâmetros propostos pela equipa da Benefit em relação aos xaropes de arroz eram:

- pH entre 6 e 7
- °Brix de 75
- Viscosidade 20 000 Cp's
- Glucose na ordem dos 300 g/L
- 0.8 atividade da água

Mediram-se os mesmos parâmetros que anteriormente, estes estão apresentados na Tabela 2.3. Os valores de viscosidade baixaram. No entanto, não o suficiente para atingir os valores pretendidos. Teria de se mudar ainda mais variáveis para a viscosidade diminuir significativamente.

Foi importante também perceber nutricionalmente estes Xaropes. Para isso procedeu-se a uma análise nutricional completa, esta foi realizada por um laboratório externo à Frulact. Mandou-se analisar as bases concentradas, sendo possível estimar os valores dos xaropes assumindo que seriam aproximadamente 2,2 vezes maiores do que nas bases concentradas. Os resultados destas análises encontram-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.13: Parâmetros físico-químicos das Bases Concentradas e dos Xaropes de Aveia e Arroz realizados utilizando o 2º método

	Produto (DE)	pH	°Brix	Viscosidade(Cp)	Glucose(g/L)	Atividade da Água	Data de Confeção	Data de Medição
Xaropes	26 Convencional	6,04	75,9	43 467	16	0,85	30/01/2025	06/02/2025
	36 Convencional	5,92	75,95	46 667	26	0,84	03/02/2025	06/02/2025
	26 Sem Glúten	6,05	74,90	58 733	36	0,85	07/02/2025	20/02/2025
	36 Sem Glúten	6,28	74,96	54 400	46	0,85	28/02/2025	05/03/2025
	Arroz	6,08	75,80	51 733	300	0,85	25/02/2025	05/03/2025
Concentrados	26 Convencional	6,33	31,05	NA	10	NA	31/01/2025	06/02/2025
	36 Convencional	6,29	32,06	NA	14	NA	04/02/2025	06/02/2025
	26 Sem Glúten	6,35	30,64	NA	14	NA	10/02/2025	20/02/2025
	36 Sem Glúten	6,85	31,18	NA	14	NA	21/02/2025	28/02/2025
	Arroz	6,71	25,34	NA	110	NA	24/02/2025	05/03/2025

Tabela 2.14: Análise Nutricional das Bases Concentradas de Aveia e Arroz realizados utilizando o 2º método

	Limite de Quantificação	Concentrado de Aveia DE 26 Convencional	Concentrado de Aveia DE 26 Sem Glúten	Concentrado de Aveia DE 36 Convencional	Concentrado de Aveia DE 36 Sem Glúten	Concentrado de Arroz
Teor de Sólidos (%)	99	32,10 ± 2,0	32,7 ± 2,0	32,9 ± 2,0	33,7 ± 2,0	27,3 ± 2,0
Proteína Bruta (g/100g)	0,50	3,52 ± 0,32	4,61 ± 0,41	3,68 ± 0,33	4,69 ± 0,42	1,42 ± 0,14
Matéria Gorda (g/100g)	0,10	1,72 ± 0,19	1,68 ± 0,18	1,81 ± 0,14	1,65 ± 0,18	1,04 ± 0,11
Fibra alimentar (g/100g)	0,30	< 0,3	0,53 ± 0,15	< 0,3	0,31	< 0,3
Hidratos de Carbono (g/100g)	0,50	26,6	25,5	27,1	26,7	24,4
Energia (kcal/100g)	1,0	135,8	136,5	139,5	140,9	112,6
Açúcares totais (g/Kg)	2,0	67,5 ± 10,1	53,7 ± 8,1	138 ± 21	128 ± 19	166
Frutose (g/Kg)	2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,0 ± 0,4
Glucose (g/Kg)	2,0	22,4 ± 2,9	15,9 ± 2,1	18,3 ± 2,4	17,7 ± 2,3	113 ± 15
Sacarose (g/Kg)	2,0	< 2,0	2,3 ± 0,3	< 2,0	< 2,0	2,3 ± 0,3
Lactose (g/Kg)	2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Maltose (g/Kg)	2,0	45,1 ± 7,2	35,5 ± 5,7	120 ± 19	110 ± 18	47,4 ± 7,6
Ácidos gordos saturados (g/100g)	0,10	0,34 ± 0,04	0,35 ± 0,05	0,36 ± 0,04	0,34 ± 0,04	0,18 ± 0,02
Sal (g/100g)	0,0025	0,076 ± 0,014	0,088 ± 0,016	0,075 ± 0,013	0,075 ± 0,013	0,107 ± 0,019
Sódio (mg/100g)	1,00	30,6 ± 5,5	30,5 ± 3,9	29,8 ± 5,4	30,0 ± 5,4	42,6 ± 7,7

Analisando a tabela 2.4 verificou-se que os níveis de glucose estavam dentro do previsto (na ordem dos 40g/L na aveia, 300 g/L no arroz). Foi possível também observar que estes xaropes são ricos em hidratos de carbono e sódio, o que era de esperar devido á grande percentagem de cereal que os constitui. No caso dos xaropes de aveia, alguns pontos positivos dos mesmos seriam também o facto de conterem aproximadamente 8 g de proteína, e o nível de matéria gorda ser baixo.

Notou-se que, enquanto os xaropes de aveia apresentaram um teor mais elevado de maltose e menos elevado de glucose, os xaropes de arroz apresentaram um teor maior de glucose e menor de maltose. Isto pode ser explicado porque o amido da aveia contém mais β -glucanas e pode ser menos acessível às enzimas, o que favorece a acumulação de intermediários como a maltose. O amido do arroz é mais facilmente degradável, com uma estrutura mais aberta, o que permite às enzimas quebrar as cadeias até glucose com maior eficiência. Por outro lado, no caso do arroz foi utilizada maior concentração de glucosidase, que promove a formação de glicose enquanto na aveia foi utilizada maior concentração de beta-amilase, responsável pela formação de mais moléculas de maltose.

A presença de fibra poderia influenciar a viscosidade dos xaropes Whalen (2004), além disso a presença de maltose em vez de glucose também influencia a viscosidade devido ao maior tamanho molecular e à capacidade da maltose formar mais ligações intermoleculares e interações com a água, o que dificulta o movimento das moléculas na solução e aumenta a sua resistência ao escoamento.

2.3.1.3. Terceiro Método

Formulou-se outra hipótese para baixar a viscosidade, a adição de uma enzima betaglucanase. A enzima beta-glucanase reduz a viscosidade da solução ao romper as ligações β -1,3 e β -1,4 das β -glucanas (Marconi *et al.*, 2014), que são longas cadeias de glicose responsáveis por formar soluções altamente viscosas devido à sua capacidade de reter água e criar redes estruturadas; ao fragmentar estas cadeias em moléculas mais curtas, a enzima diminui a capacidade da solução de formar estas redes, diminuindo a viscosidade do xarope. Além disso, em conjunto com a equipa Benefit decidiu-se que bastava um °Brix entre 70 e 72 para responder às necessidades dos clientes, não seria necessário chegar exatamente aos 75. Ao baixar o °Brix, os xaropes ficariam com menos viscosidade. Com estas duas novas variáveis voltou-se a fazer as bases concentradas e os xaropes, os resultados apresentam-se na seguinte tabela 2.5:

Tabela 2.15: Parâmetros físico-químicos da Bases Concentradas e Xaropes de Aveia e Arroz realizados utilizando o 3º método

	Produto (DE)	pH	°Brix	Viscosidade (Cp)	Glucose(g/L)	Atividade da Água	Data de Confeção	Data de Medição
Xaropes	26 Convencional	6,96	71,3	21 733	40	0,80	06/03/2025	19/03/2025
	36 Convencional	6,94	70,1	25 867	50	0,81	06/03/2025	19/03/2025
	26 Sem Glúten	7,02	71,5	27 133	44	0,82	13/03/2025	19/03/2025
	36 Sem Glúten	7,07	69,8	27 733	48	0,83	14/03/2025	18/03/2025
	Arroz	6,08	70,80	31 733	400	0,84	26/03/2025	05/04/2025
Concentrados	26 Convencional	6,65	31,0	NA	16	NA	05/03/2025	18/03/2025
	36 Convencional	6,67	34,0	NA	30	NA	05/03/2025	18/03/2025
	26 Glúten Free	6,70	33,1	NA	10	NA	12/03/2025	18/03/2025
	36 Glúten Free	6,75	35,0	NA	24	NA	12/03/2025	18/03/2025
	Arroz	6,08	23,80	NA	200	NA	25/03/2025	05/04/2025

Desta vez os valores de viscosidade baixaram ainda mais, aproximando-se dos pretendidos. A nível organolético os xaropes apresentavam menos sabor a caramelo e menos notas torradas e mais a cereal, e com esta viscosidade os xaropes já eram mais fáceis de manusear. Ainda assim, foram mandados para analisar nutricionalmente desta vez os xaropes em si e não as bases concentradas, sendo que se enviou o Xarope com DE 26 convencional e o Xarope de Arroz. Os resultados encontram-se na página seguinte, na tabela 2.16:

Tabela 2.16: Análise Nutricional dos Xaropes de Aveia e Arroz realizados utilizando o 3º método

	Xarope Arroz	Xarope DE 26 Convencional Aveia
Teor de Sólidos (%)	69,9	66,6
Proteína Bruta (g/100g)	4,2	7,73
Matéria Gorda (g/100g)	3,2	4,94
Fibra alimentar (g/100g)	1,22	0,83
Hidratos de Carbono (g/100g)	60	51,4
Energia (kcal/100g)	288,1	296,8
Açúcares totais (g/Kg)	457	133
Futose (g/Kg)	7,8	<2,0
Glucose (g/Kg)	315	37,6
Sacarose (g/Kg)	6,2	2,6
Lactose (g/Kg)	<2,0	<2,0
Maltose (g/Kg)	128	92,9
Ácidos gordos saturados (g/100g)	0,54	1,28
Sal (g/100g)	0,301	0,316
Sódio (mg/100g)	121	126

Através da análise da tabela verifica-se que, no xarope de aveia os valores de glucose continuavam bastante inferiores aos de maltose, quando na realidade o desejado era exatamente o contrário, cerca de 37% de maltose e 63% de glucose. No entanto as metas a nível dos parâmetros do xarope de aveia (o principal foco da equipa Benefit) estavam perto do pretendido: pH entre 6 e 7; °Brix de 70/71; Viscosidade perto de 20 000 Cp`s; Glucose na ordem dos 40 g/L, e 0.8 de atividade da água. Neste sentido, avançou-se para a etapa seguinte do trabalho de investigação, integrar os Xaropes de Aveia desenvolvidos em diferentes aplicações alimentares. Os Xaropes de Aveia a partir deste momento foram o único foco do trabalho de investigação uma vez que as bases concentradas de aveia são a solicitação de mercado principal da Benefit (cerca de 80%) e

esta unidade pretende começar a produzir prontamente estes xaropes de cereais a nível industrial, adquirindo um Evaporador industrial.

2.3.2 Aplicações

A Benefit pretende expandir o seu mercado, sendo que é possível integrar os xaropes na indústria Pasteleira ou de Bebidas, portanto foi importante testar os Xaropes de Aveia confeccionados neste estágio, incorporando-os em receitas como uma alternativa ao mel, á geleia de arroz ou ao xarope de ácer, ou até mesmo como alternativa ao açúcar.

Como referido no estado de arte, o °Brix indica a percentagem de sólidos solúveis presentes, maioritariamente açúcares, e está diretamente relacionado com a sua capacidade de fornecer estrutura, doçura e de reter humidade. Como o mel geralmente tem um °Brix de aproximadamente 85°, o xarope de ácer tem aproximadamente 66 ° de °Brix e o xarope de aveia tem 70 °, é necessário ajustar proporcionalmente a quantidade de ingredientes nas diferentes receitas. Xaropes com °Brix mais elevados contêm menos água e mais sólidos, conferindo maior estrutura e menor humidade. Neste caso, é necessário adicionar menos ingredientes secos, pois o xarope já contribui com uma fração significativa de massa sólida. Pelo contrário, um xarope com °Brix mais baixo tem maior teor de água e menor concentração de sólidos. Ao utilizá-lo, torna-se necessário adicionar mais ingredientes secos para compensar o excesso de humidade e garantir uma estrutura coesa e estável, evitando que os produtos fiquem pegajosos, moles ou instáveis. Assim, o ajuste das quantidades com base no °Brix é essencial para uniformizar as propriedades físico-químicas e sensoriais entre formulações, assegurando a coerência do produto final independentemente do tipo de xarope utilizado.

2.3.2.1. Barritas (Cereais e Chocolate)

A primeira receita a ser realizada foram umas barritas de cereais e chocolate. Conforme referido na secção de materiais e métodos foram preparados 250 gramas correspondentes a 3 barritas usando mel, 250 gramas (3 barritas) usando xarope de aveia e 250 gramas (3 barritas) usando xarope de ácer. As barritas saíram do forno, deixaram-se a arrefecer e guardaram-se em caixas herméticas, posteriormente foram provadas pela equipa da Benefit, nesta altura foi possível avaliar as diferentes características organoléticas, a nível de aparência, de textura, e de sabor, para perceber as semelhanças e diferenças de umas para outras e concluir se o xarope de aveia desenvolvido no presente estágio poderia ser um substituto viável para o mel e para o xarope de ácer(Tabela 2.17).

Tabela 2.17: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das Barritas de Cereais e Chocolate

		Barritas de Cereais, Chocolate e Mel	Barritas de Cereais, Chocolate e Xarope de Ácer	Barritas de Cereais, Chocolate e Xarope de Aveia
Características Organoléticas	Sabor	A mais doce Suave sabor a chocolate Predominante sabor caramelo	Menos doce do que o ensaio com mel Um pouco adstringente Suave sabor a chocolate Predominante sabor do xarope de ácer	A menos doce Sabor a cereal predomina
	Textura	A mais dura A mais coesa Mais colante ao céu da boca Ao partir não esfarela	A menos coesa Cereais mais perceptíveis em boca Ao partir esfarela bastante	A menos dura das 3 Menos ligada que no mel Ao partir esfarela pouco
	Aparência	A mais brilhante Dourada e caramelizada Compacta e lisa	Brilhante Tom acastanhado Menos uniforme	Sem brilho A mais clara Compacta e lisa
		 Mel	 Maple	 Xarope



Figura 2.10: Totalidade das Barritas de Cereais e Chocolate

Apesar destas diferenças todas, as barritas apresentavam um sabor muito agradável, no entanto as barritas de xarope eram realmente bastante menos doces que as outras, mas o perfil dos cereais sentia-se bastante mais. Isto não significa que o xarope de aveia não possa ser um substituto favorável, pode até ser um fator positivo para alguns clientes que procurem produtos menos doces, e a predominância do sabor a cereal.

2.3.2.2. Barritas (Maçã, Canela e Sultanas)

A segunda receita a ser confeccionada, como referido na metodologia foram as barritas com maçã, canela e sultanas (Figura 2.11).

Depois das barritas serem confeccionadas foram provadas mais tarde internamente pelos membros da equipa Benefit e foi elaborada uma tabela (tabela 2.18) comparativa das suas características organoléticas que se encontra na página seguinte.



Figura 2.11: Totalidade das Barritas de Maçã, Canela e Sultanas

Tabela 2.18: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das Barritas de Maçã, Canela e Sultanas

		Barritas de Maçã, Canela, Sultanas e Mel	Barritas de Maçã, Canela, Sultanas e Xarope de Ácer	Barritas de Maçã, Canela, Sultanas e Xarope de Aveia
Características Organoléticas	Sabor	Muito doce Sabor a caramelo domina sobre os outros	Doçura menos floral que no mel <i>Off-flavours</i> com perfil mofado Notas tostadas	A menos doce Predominância do sabor a cereal Notas de canela e maçã
	Textura	Muito coesa Consistente	Pouco coesa Menos crocante Ao partir esfarela	Menos densa Mais seca Coesa/ligada
	Aparência	Mais escura e mais torrada Cereais mais visíveis Mais brilhante 	Mais clara Cereais menos evidentes 	Sem brilho Com pontos tostados 

Demonstrou-se, em condições laboratoriais, que o xarope de aveia substitui com sucesso mel, xarope de ácer em barritas de cereais (tanto de chocolate como de maçã e canela) oferecendo coesão estrutural, doçura moderada e realce do sabor a cereal, além de permitir os ajustes precisos de humidade através da correlação entre °Brix e teor de sólidos.

2.3.2.3. Cookies (Integrais)

Passando para outro tipo de aplicação foram desenvolvidas *cookies*, neste caso integrais. Depois de saírem do forno e arrefecerem foram provadas internamente pelos membros da equipa Benefit e foi elaborada a Tabela 2.19, comparando as características organoléticas destes dois tipos diferentes de cookies.

*Tabela 2.19 Comparativa das Características Organoléticas das Cookies
Integrais*

		Cookies Integrais com Mel	Cookies Integrais com Xarope de Aveia
Características Organoléticas	Textura	Muito ligada Consistente	Menos densa Mais seca Coesa/ligada
	Sabor	Muito doce A doçura do mel abafa os outros ingredientes	Menos doce Predominância do sabor a cereal Notas de cacau acentuadas
	Aparência	Cereais muito visíveis Apresentam ranhuras Muito semelhantes	
			



Figura 2.12: Totalidade das Cookies Integrais

Em cookies integrais, a incorporação do xarope de aveia resultou, havendo uma ligeira diferença a nível de sabor no caso das cookies integrais, mas uma aparência muito similar.

2.3.2.3. Cookies (Pepitas de Chocolate)

Foram confeccionadas umas cookies com pepitas de chocolate (Figura 2.13). Depois de arrefecidas foram provadas e realizada a Tabela 2.20 comparativa das características organoléticas.



Figura 2.13: Totalidade das Cookies de Chocolate confeccionadas usando mel e xarope de aveia, respetivamente

Tabela 2.20: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das Cookies de Chocolate

		Cookies de Chocolate e Mel	Cookies de Chocolate e Xarope de Aveia
Características Organoléticas	Textura	Macias e Húmidas Mastigabilidade prolongada Sensação untuosa	Crocantes no exterior Mais secas Mastigabilidade mais curta e leve
	Sabor	Doçura floral muito intensa Notas caramelizadas Presença evidente do sabor a manteiga	Sabor mais neutro Doçura equilibrada Notas de cereais e do chocolate das pepitas
	Aparência	Muito mais escuras, acastanhadas e torradas Irregulares Mais baças 	Mais claras, com tons bege Mais uniformes Mais brilhantes 

No caso das cookies de chocolate a versão com xarope ficou menos doce, no entanto, com uma cor bege muito agradável e uma leveza na mastigabilidade muito positiva em relação às de mel.

2.3.2.3. Bebida Barista

Depois de preparado um exemplar de Bebida Barista utilizando o Xarope de aveia, e depois de deixada a arrefecer provou-se a mesma, e simultaneamente provou-se uma bebida barista utilizando base concentrada de aveia. A análise comparativa das características organoléticas dos dois produtos encontra-se detalhada na Tabela 2.21.

Tabela 2.21: Tabela Comparativa das Características Organoléticas das Bebidas Barista

		Barista com Base Concentrada de Aveia	Barista com Xarope de Aveia
Características Organoléticas	Textura	Sensação macia e cremosa Líquida, de corpo leve Homogénea	
	Sabor	Notas de cereal Baixa intensidade de doçura Notas suaves de coco	
	Aparência	Uniforme Tonalidade um pouco mais clara Beje com subtom branco	Uniforme Tonalidade um pouco mais escura Beje com subtom dourado
			

Posteriormente, e considerando que se tratava de bebidas destinadas à utilização em contexto barista, foi essencial verificar se a bebida barista formulada com xarope de aveia também permitia a formação de espuma e se esta ficava tão estável como na bebida barista de base concentrada, sendo o objetivo que a espuma se mantivesse estável por pelo menos 10 minutos. A avaliação do teor de espuma, que usou um equipamento específico utilizado por baristas profissionais, permitiu observar que tanto a bebida barista com base concentrada, como a bebida barista com xarope de aveia apresentaram concentrações suficientemente elevadas de compostos formadores de espuma, especialmente β -glucanas e proteínas globulares (Figura 2.14). Estes compostos favorecem a formação de uma rede viscoelástica estável em torno das bolhas de ar incorporadas durante a vaporização.



Figura 2.14: Bebida Barista usando Xarope de Aveia sem espuma (esquerda) vs com espuma (direita) após aplicação do equipamento barista

Na formulação de bebidas barista, a incorporação do xarope com a água funcionou também, preservou corpo, estabilidade térmica e, crucialmente, capacidade de formação de espuma estável durante pelo menos dez minutos, graças à sinergia entre β -glucanos e proteínas globulares, equiparando-se à bebida obtida a partir de base concentrada.

2.3.3. Otimização do Xarope de Aveia

A etapa derradeira do estágio foi dedicada a aperfeiçoar a formulação do xarope de aveia, como referido na metodologia. Foram realizados 13 ensaios iterativos diferentes procurando melhorar o processo tecnológico inicial de modo a gerar um xarope de aveia com as melhores propriedades tecno-funcionais possíveis. Os parâmetros de todos os xaropes de aveia resultantes de cada ensaio foram medidos conforme listado na Tabela 2.22.

Tabela 2.22: Parâmetros físico-químicos dos Xaropes de Aveia obtidos em cada uma das etapas da fase de otimização

	pH	°Brix	Viscosidade (Cp`s)	Glucose(g/L)	Data de Confeção	Data de Medição
Ensaio 1	6,74	71,2	18480	78	31/03/2025	04/04/2025
Ensaio 2	6,83	72	19309	76	01/04/2025	02/04/2025
Ensaio 3	7,01	72	8600	46	04/04/2025	08/04/2025
Ensaio 4	6,83	71,8	9076	50	09/04/2025	10/04/2025
Ensaio 5	6,84	72	16341	48	10/04/2025	11/04/2025
Ensaio 6	7,01	71,3	15413	54	11/04/205	15/04/2025
Ensaio 7	7.02	71	14765	78	16/04/2025	17/04/2025
Ensaio 8	7,13	71,8	13452	76	17/04/2025	02/05/2025
Ensaio 9	6,98	71	6607	224	06/05/2025	09/05/2025
Ensaio 10	6,99	72,2	34000	45	07/05/2025	09/05/2025
Ensaio 11	6,97	71,8	29833	56	08/05/205	09/05/2025
Ensaio 12	7,03	71,7	9083	268	11/05/2025	12/05/2025
Ensaio 13	7,31	71,8	23067	214	13/05/2025	14/05/2025

A otimização do processo revelou-se determinante: a viscosidade excessiva dos primeiros lotes ($\geq 46\ 000$ cP) foi atribuída à combinação de temperaturas de evaporação elevadas, grau Brix pretendido muito elevado e ausência de enzimas degradadoras da parede celular. A introdução de um regime térmico mais brando, aliado à adição de β -glucanase e ao ajustamento do grau Brix para 71–72 °, permitiu reduzir a viscosidade para valores perto dos 9 000 cP, mantendo pH 6,8–7,2 e atividade de água $\leq 0,80$.

Com base nos objetivos pretendidos e propostos pela equipa BENEFIT (apresentados anteriormente na metodologia), os melhores resultados foram os Xaropes obtidos nos ensaios 9 e 12.

Para confirmar que as proporções de Maltose/Glucose estavam dentro do pretendido e para perceber o perfil nutricional de cada um dos xaropes de aveia exultante dos ensaios 9 e 12, foi analisada a sua composição proximal pela entidade externa anteriormente já referida. A análise nutricional não foi realizada a todos os xaropes obtidos por uma questão económica e objetiva: não havia necessidade de enviar xaropes em que os parâmetros não se encontravam dentro do pretendido. Os resultados encontram-se na Tabela 2.23.

Tabela 2.23: Análise Nutricional e Química do Ensaio 9 e do Ensaio 12

Parâmetro (unidades)	Ensaio 9	Ensaio 12
Proteína bruta (g/100 g)	7,75	9,25
Frutose (g/kg)	< 2,0	< 2,0
Glucose (g/kg)	224	268
Sacarose (g/kg)	7,9	9,4
Maltose (g/kg)	166	127
Lactose (g/kg)	< 2,0	< 2,0
Açúcares totais (g/kg)	398	404
Fibra alimentar total (g/100 g)	n.d.	6,3

A discrepância nutricional entre os xaropes obtidos no Ensaio 9 e no Ensaio 12 deriva fundamentalmente da natureza da farinha empregue e, em segunda linha, da estratégia enzimática adoptada. No Ensaio 9 recorreu-se a farinha de aveia isenta de glúten, submetida a peneiração rigorosa; este tratamento remove parte substancial do endosperma, reduzindo o teor de amido e de proteínas globulínicas, ao mesmo tempo que retém partículas fibrosas de baixa solubilidade. Mesmo com uma dosagem superior de glucoamilase, a limitada acessibilidade do substrato resultou numa hidrólise incompleta: quantificaram-se 224 g kg⁻¹ de glucose e 166 g kg⁻¹ de maltose, para um conteúdo proteico de 7,75 g 100 g⁻¹. No Ensaio 12, pelo contrário, utilizou-se farinha de endosperma convencional, mais rica em amido disponível e em azoto proteico; apesar de

se aplicar ~10–20 % menos glucoamilase, a maior exposição dos grânulos permitiu conversão quase total das dextrinas, originando 268 g/ kg de glucose e apenas 127 g/kg de maltose, enquanto o teor proteico ascendeu a 9,25 g/100 g. Esta solubilização extensiva de polímeros explica ainda a deteção exclusiva, no Ensaio 12, de 6,3 % de fibra alimentar solúvel (β -glucanas de alto e baixo peso molecular), a qual, embora contribua para uma viscosidade moderadamente superior (~9 100 cP's face a 6 600 cP's no Ensaio 9), adiciona valor funcional e nutricional ao xarope. Qualquer uma seria boa opção para começar os testes industriais no evaporador.

Analizando estas duas ensaios em termos organoléticos, estas apresentaram diferenças e semelhanças a nível de:

- Sabor: Notas acentuadas a cereal; doçura equilibrada, não demasiado intensa; leves notas tostadas e caramelizadas.
- Textura: Viscosidade média; escorre de forma fluida e limpa; levemente espesso;
- Aparência: Neste campo apresentam-se algumas diferenças, o xarope obtido no ensaio 9, preparado a partir de farinha isenta de glúten apresenta uma cor mais dourada e um aspeto mais brilhante, enquanto o xarope do ensaio 12, confeccionado com farinha de endosperma convencional tem uma tonalidade mais escura, mais castanha. (Esta diferença de cores nos xaropes GF e convencionais notou-se ao longo de todo o estágio).

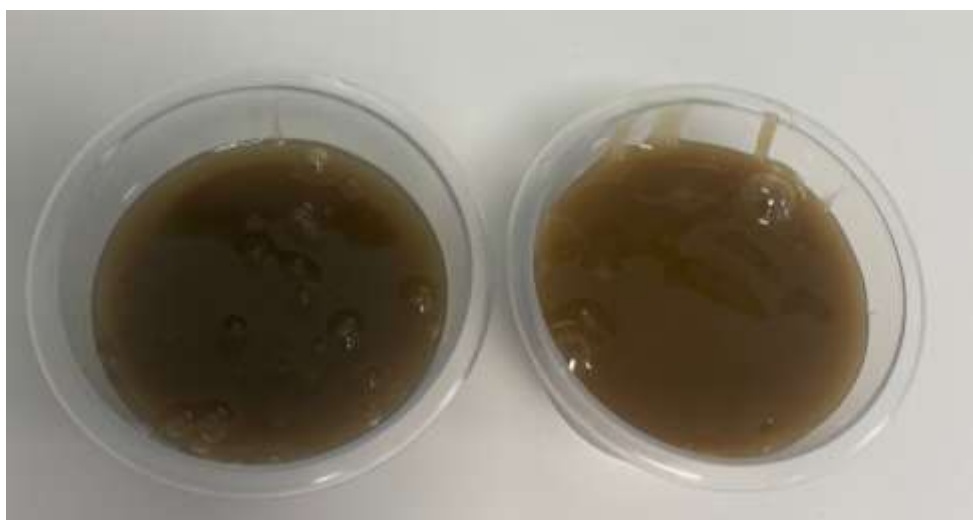


Figura 2.15: Xaropes de Aveia obtidos no ensaio 12 (à Esquerda) e no ensaio 9 (à direita) de otimização

Após a otimização da fórmula final do xarope de aveia, tornou-se pertinente realizar uma análise global da evolução dos parâmetros medidos ao longo do estágio. Esta análise permitiu observar, de forma comparativa, a progressão desde o primeiro método de desenvolvimento dos xaropes até à sua versão otimizada, evidenciando melhorias significativas nos resultados obtidos. Adicionalmente, foi possível identificar uma mudança nos objetivos ao longo da experiência: enquanto os objetivos iniciais estavam centrados na definição de parâmetros básicos de desenvolvimento, na fase final passaram a focar-se na sua otimização e refinamento, refletindo uma adaptação às exigências práticas do mercado de trabalho. O Anexo 9 compara a variação dos valores de pH; o Anexo 10 traduz a variação dos valores de grau Brix; o Anexo 11 ilustra a variação dos valores de viscosidade e por último, o Anexo 12 mostra a variação dos níveis de glucose.

No que respeita ao pH, os valores mantiveram-se relativamente constantes ao longo dos seis meses de investigação. Em relação ao grau Brix, observou-se uma diferença significativa após a redefinição dos objetivos, que passaram de 75° para 71–72°; embora os valores tenham diminuído, foi possível atingir as metas estabelecidas. No caso da viscosidade, o valor pretendido de 9000 Cp ou inferior foi alcançado apenas em duas ocasiões. Quanto à concentração de glucose, o objetivo de 250 g/L foi atingido em três ensaios. Estes resultados evidenciam a necessidade de repetir os testes, de forma a validar a consistência dos métodos utilizados e garantir a reprodutibilidade dos resultados.

3. Conclusões e Perspetivas Futuras

Na realização deste estágio curricular foram atingidos plenamente todos os objetivos primários, desde a integração na indústria alimentar, à aplicação direta de conhecimentos adquiridos no Mestrado de Biotecnologia e Inovação. Foi atingido também o objetivo de desenvolver, caracterizar e demonstrar a aplicabilidade de xaropes à base de cereais, centrando-se no xarope de aveia como alternativa às bases concentradas de aveia atualmente comercializadas pela Benefit. A concentração das bases em xaropes traduz-se numa redução significativa do volume transportado, maior vida útil e menor risco microbiológico, gerando poupanças logísticas e alinhando-se com os princípios de *clean label* e de economia circular que caracterizam o posicionamento da Frulact.

Através da aplicação de diferentes métodos enzimáticos, ajustes de parâmetros tecnológicos e análises sistemáticas, foi possível não só compreender o impacto das variáveis do processo nas propriedades finais dos xaropes, como também alcançar formulações alinhadas com os requisitos funcionais, nutricionais e sensoriais definidos pela Benefit e pelos seus *stakeholders*.

O xarope de aveia funcionou bem nas barras, cookies (integrais e de chocolate) e bebidas barista, exigindo apenas ajustar o °Brix/teor de sólidos, ainda que possa originar cor ligeiramente diferente e menor doçura em comparação com mel ou xarope de açúcar. A otimização do processo revelou-se determinante: a viscosidade excessiva dos primeiros lotes ($\geq 46\,000$ cP) foi atribuída à combinação de temperaturas de evaporação elevadas, °Brix pretendido muito elevado e ausência de enzimas degradadoras da parede celular. A introdução de um regime térmico mais brando, aliado à adição de β -glucanase e ao ajustamento do °Brix para 71–72 °, permitiu reduzir a viscosidade para valores perto dos 9 000 cP, mantendo pH 6,8–7,2 e atividade de água $\leq 0,80$.

Entre os protótipos desenvolvidos, os ensaios nove (farinha isenta de glúten) e doze (farinha de endosperma) evidenciaram o melhor compromisso entre comportamento reológico, perfil de açúcares (cerca de 250 g L⁻¹ de glucose e 150 g L⁻¹ de maltose) e estabilidade cromática, encontrando-se prontas para testes em evaporador industrial.

Como perspetivas futuras, destaca-se, antes de mais, a necessidade de validação contínua das formulações otimizadas. Para que as ensaios desenvolvidas adquiram robustez científica e industrial, é essencial repetir os ensaios em laboratório sob as

mesmas condições, garantindo reprodutibilidade dos resultados, consistência nos parâmetros e verificando a estabilidade do produto ao longo do tempo.

Paralelamente, torna-se pertinente a exploração de enzimas alternativas com custo mais reduzido, mantendo níveis de eficiência hidrolítica equivalentes, de modo a tornar o processo economicamente mais competitivo em larga escala. O estudo de misturas enzimáticas sinérgicas poderá também revelar soluções inovadoras com impacto positivo na textura, perfil de açúcares e viscosidade dos xaropes.

Além disso, considera-se vantajoso aprofundar a investigação sobre outros tipos de farinha ou subprodutos agrícolas (como farelos, endospermas reaproveitados, outras farinhas integrais, etc), que apresentem desempenho adequado na produção de xaropes, viabilizando simultaneamente a circularidade e a sustentabilidade do processo.

Por fim, a transição para sistemas industriais, nomeadamente para o evaporador a vácuo e integração de controlos em linha, representa a próxima etapa estratégica. O sucesso desta transição poderá consolidar os xaropes desenvolvidos como uma solução de referência para o setor *plant-based* nacional e internacional.

Em síntese, este trabalho de investigação fornece uma prova de conceito robusta para a produção de xaropes de aveia e arroz de elevado valor acrescentado, conciliando um bom desempenho físico-químico e perfil nutricional, e estabelecendo bases sólidas para a implementação em escala industrial, contribuindo para a diversificação do portefólio da Benefit e respondendo às tendências de mercado de ingredientes *plant-based* funcionais, sustentáveis e economicamente competitivos.

4. Bibliografia

- Abd-Elhalim, B. T., Gamal, R. F., El-Sayed, S. M., & Abu-Hussien, S. H. (2023). Optimizing alpha-amylase from *Bacillus amyloliquefaciens* on bread waste for effective industrial wastewater treatment and textile desizing through response surface methodology. *Scientific Reports*, 13, 19216. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46384-6>
- Alemayehu, G. F., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Amare, E. (2023). Nutritional and phytochemical composition and associated health benefits of oat (*Avena sativa*) grains and oat-based fermented food products. *The Scientific World Journal*, 2023, 2730175. <https://doi.org/10.1155/2023/2730175>
- Allied Market Research. (2024). *Food enzymes market size, share & trends analysis report, 2024–2032*. Recuperado em 3 de junho de 2025 de <https://www.alliedmarketresearch.com/food-enzymes-market>
- Chaplin, M. F., & Bucke, C. (1990). *Enzyme technology* (Cap. 4). Cambridge University Press.
- Collins, T., & McGregor, A. (2023). Industrial hemicellulases: Structure–function relationships and emerging applications in food bioprocessing. *Trends in Food Science & Technology*, 137, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.014>
- Duan, S., Ai, H., Liu, S., Zhou, A., Cao, Y., & Huang, X. (2024). Functional nutritional rice: Current progresses and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1488210. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1488210>
- EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids. (2024). Safety evaluation of the food enzyme glucan-1,4- α -glucosidase from *Aspergillus niger* (strain XYZ). *EFSA Journal*, 22(1), 9082. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9082>
- Farooq, M. A., & Yu, J. (2024). Recent advances in physical processing techniques to enhance the resistant starch content in foods: A review. *Foods*, 13(17), 2770. <https://doi.org/10.3390/foods13172770>

- Gabsi, K., Trigui, M., Barrington, S., & Helal, A. N. (2013). Evaluation of rheological properties of date syrup. *Journal of Food Engineering*, 117(1), 165–172.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.02.017>
- GFI Europe. (2024, 24 outubro). *Plant-based goes mainstream as European retail sales grow*. Recuperado em 21 de junho de 2025 de <https://gfieurope.org/blog/plant-based-goes-mainstream-as-european-retail-sales-grow/>
- Hasan, K., Baroroh, U., Madhani, I. N., Muscifa, Z. S., Novianti, M. T., Abidin, M., Yusuf, M., & Subroto, T. (2024). Enzymatic performance of *Aspergillus oryzae* α -amylase in the presence of organic solvents: Activity, stability and bioinformatic studies. *Bioinformatics and Biology Insights*, 18, 1-15.
<https://doi.org/10.1177/11779322241234767>
- Huang, J., Park, S., & Kim, S. (2024). A D-glucose-releasing GH16 endo- β -1,3-glucanase from *Hymenobacter siberiensis*: Biochemical characterisation and substrate specificity. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1470106.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1470106> frontiersin.org
- Jiang, P., Kang, Z., Zhao, S., Meng, N., Liu, M., & Tan, B. (2023). Effect of dynamic high-pressure microfluidizer on physicochemical and microstructural properties of whole-grain oat pulp. *Foods*, 12(14), 2747.
<https://doi.org/10.3390/foods12142747>
- Jiang, Y., Zhang, X., Li, Z., Wang, Q., & Chen, H. (2024). Advances in molecular enzymology of β -1,3-glucanases: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 256, 135349.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135349>
- Jaywant, S. A., Singh, H., & Arif, K. M. (2022). Sensors and instruments for °Brix measurement: A review. *Sensors*, 22(6), 2290.
<https://doi.org/10.3390/s22062290>
- Khan, J., Gul, P., & Liu, K. (2024). Grains in a modern time: A comprehensive review of compositions and understanding their role in type 2 diabetes and cancer. *Foods*, 13(13), 2112. <https://doi.org/10.3390/foods13132112>

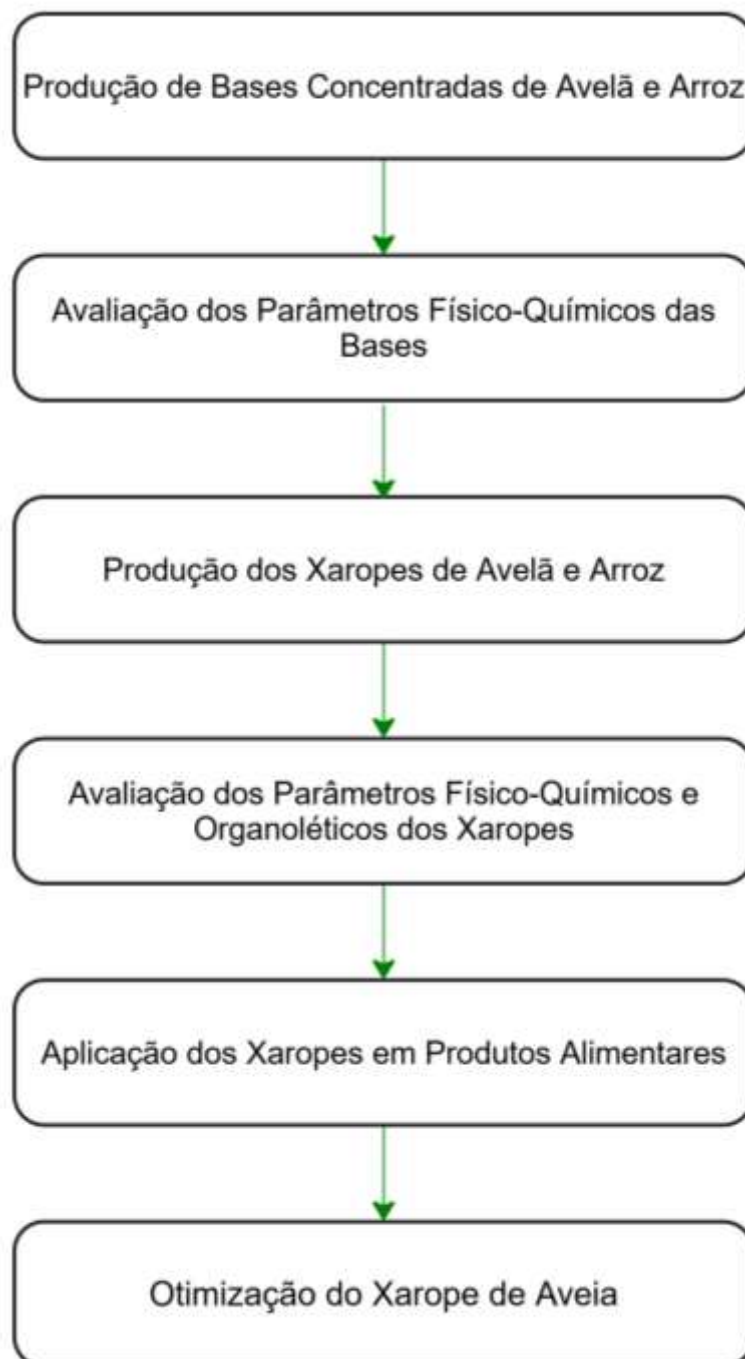
- Li, K., Pan, B., Ma, L., Miao, S., & Ji, J. (2020). Effect of dextrose equivalent on maltodextrin/whey protein spray-dried powder microcapsules and dynamic release of loaded flavour during storage and rehydration. *Foods*, 9(12), 1878. <https://doi.org/10.3390/foods9121878>
- Li, Y., Cheng, W., Qiu, X., Sun, Y., Xia, X., Yang, L., Fan, M., Wang, L., & Qian, H. (2023). Effects of β -amylase hydrolysis on the structural, physicochemical and storage properties of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 109, 103605. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103605>
- Liu, Y., Chen, Z., Zhang, H., & Feng, X. (2024). Proteomic analysis of β -xylanase from *Aspergillus aculeatus* and outras enzimas associadas na degradação hemicelulósica. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 1294–1303. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.01.114>
- Marconi, O., Runtti, H., Lentini, M., Pontoppidan, K., & Newberry, M. (2014). Effects of β -glucan degradation and molecular weight on wort viscosity and filtration. *Food Research International*, 64, 760–768. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.035>
- McCarthy, C., Papada, E., & Kalea, A. Z. (2025). The effects of cereal β -glucans on cardiovascular risk factors and the role of the gut microbiome. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(13), 2489–2505. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2345159>
- Miftahuddin, Laga, A., & Bastian, F. (2024). The use of immobilized enzyme in starch bioconversion: An update review. *BIO Web of Conferences*, 96, 01028. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249601028>
- Müller, A., Schmidt, J., & Santos, R. (2024). Health benefits of plant-based diets: A systematic review. *PLOS ONE*, 19(3), e0300711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300711>
- Musdalifa, M., Laga, A., & Rahman, A. N. F. (2024). Glucose syrup production through enzymatic methods and acid hydrolysis using different starch sources: A systematic review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(11), 8976–8992. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02852-9>

- Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Omeire, G. C., Ojukwu, M., Okpala, C. O. R., & Korzeniowska, M. (2020). Functional properties of syrup from malted and unmalted rice of different varieties: A comparative study. *Journal of Food Science*, 85(10), 3081–3093. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15446>
- Patra, T., Olsen, K., & Rinnan, Å. (2022). A multivariate perspective on the stability of oat-based drinks assessed by spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 131, 107831. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107831>
- Plant Based Foods Association. (2024). *2023 plant-based foods state of the marketplace report*. Recuperado em 21 de junho de 2025 de <https://members.plantbasedfoods.org>
- Precedence Research. (2024). *Plant-based food market size to hit USD 103.75 Bn by 2034*. Recuperado em 21 de junho de 2025 de <https://www.precedenceresearch.com/plant-based-food-market>
- Ruja, A., Cozma, A., Cozma, B., Horablaga, N. M., Dinulescu, C., Alexa, E., et al. (2024). Nutritional, phytochemical, and rheological profiles of different oat varieties and their potential in the flour industry. *Agronomy*, 14(7), 1438. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071438>
- Scholl, S. K., Moreno, H. O., & Segal, M. (2018). *Applications of oat syrups* (Patente AU 2017101745 A4). Tate & Lyle Technology Limited. Disponível em <https://patents.google.com/patent/AU2017101745A4/en>
- Singh, R., Kumar, M., & Thakur, A. (2023). Industrial food enzymes: Current market trends, technological advances and sustainability perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(9), 712–738. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13025>
- Smith, C., & López, E. (2024). Dietary fibers and antioxidants in plant-based diets and their role in cardiovascular and metabolic health. *Frontiers in Nutrition*, 11, 10564. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1510564> frontiersin.org

- Teixeira, A. J., Weschenfelder, L. M., Antunes, A., Zeni, J., Backes, G. T., & Cansian, R. L. (2019). Commercial and non-commercial pectinase and cellulase on the enzymatic hydrolysis efficacy of rice husk and Tifton 85 hay. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 41(1), e45100.
<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.45100> periodicos.uem.br
- Triantafyllou, A. O. (2002, 17 de setembro). *Non-dairy, ready-to-use milk substitute, and products made therewith* (U.S. Patent No. 6,451,369 B1). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US6451369B1>
- United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. (2025). *Technical procedures manual: °Brix measurement* (May 2025 ed.).
<https://www.ams.usda.gov>
- Whalen, P. J. (2004, 3 de fevereiro). *Process for preparing an oat-based functional syrup* (U.S. Patent No. 6,685,974 B2). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US6685974B2>
- Xu, W., Wu, X., Xia, C., Guo, Z., Zhai, Z., Cheng, Y., & Qiu, J. (2024). Optimization of enzymatic hydrolysis and fermentation processing for set-type oat yogurt with favourable acidity and coagulated texture. *Foods*, 13(24), 4180.
<https://doi.org/10.3390/foods13244180>
- Zhang, K., Dong, R., Hu, X., Ren, C., & Li, Y. (2021). Oat-based foods: Chemical constituents, glycemic index, and the effect of processing. *Foods*, 10(6), 1304.
<https://doi.org/10.3390/foods10061304>

5.Anexos

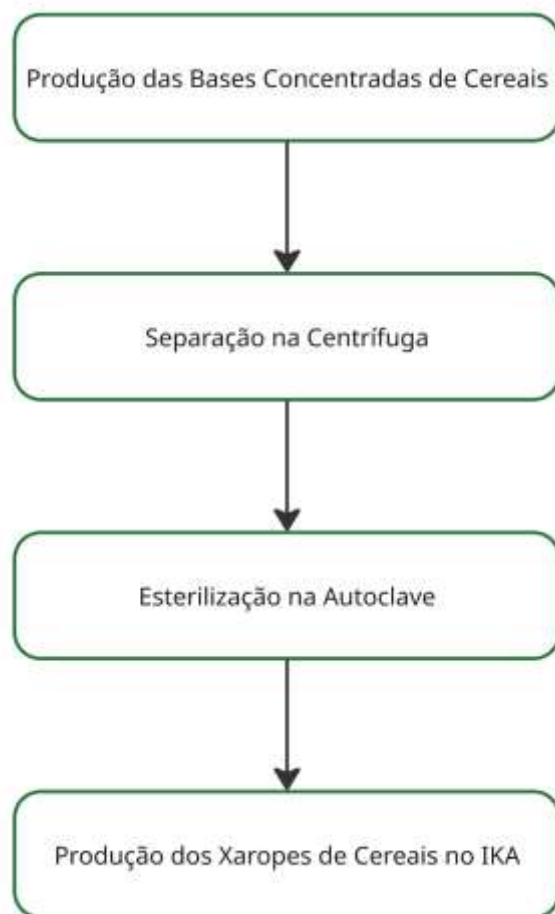
Anexo 1: Diagrama de Estruturação do Relatório



Anexo 2: Produção das bases concentradas

0 minutos	Adição de Água + Adição de Farinha
4 minutos	Adição de Farinha
12 minutos	Adição de Farinha + Adição de Enzima
20 minutos	Adição de Farinha
24 minutos	Adição de Farinha + Adição Enzima
32 minutos	Adição de Farinha + Adição Enzima
40 minutos	Adição de Água+ Adição de Farinha + Adição Enzima
48 minutos	Adição de Farinha
80 minutos	Adição de Bicarbonato de Sódio + Medição do Brix
90 minutos	Fim do processo de sacarificação

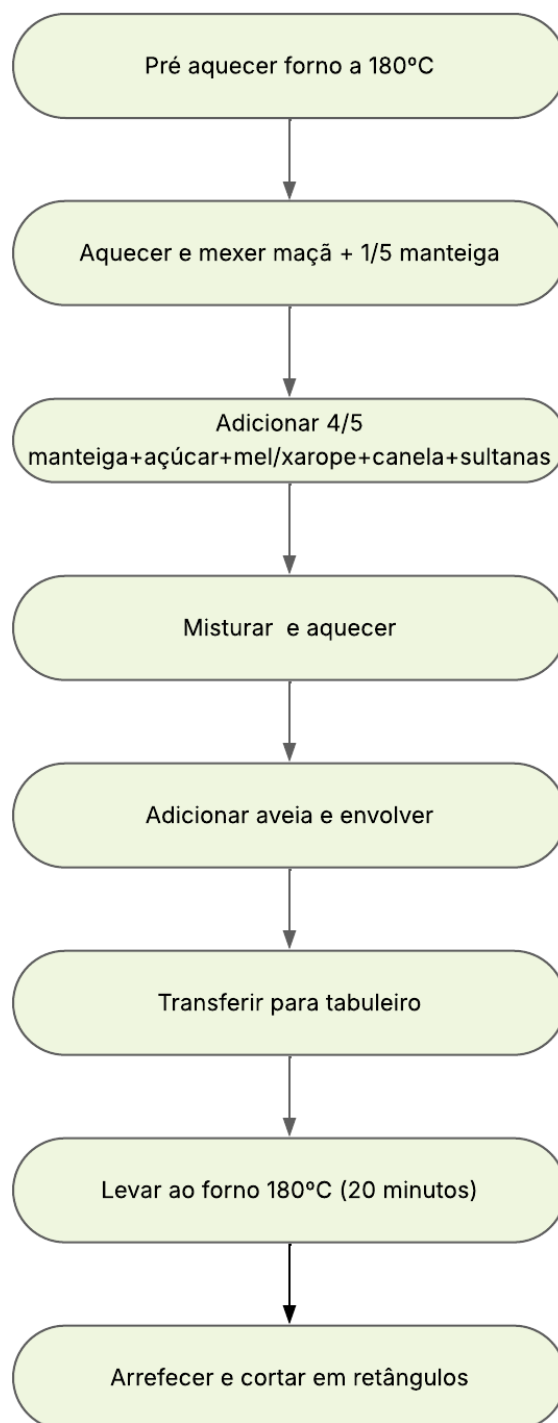
Anexo 3: Fluxograma representativo dos passos básicos da produção dos Xaropes de Cereais



Anexo 4: Fluxograma representativo da Preparação das Barritas de Cereais e Chocolate



Anexo 5: Fluxograma representativo da Preparação das Barritas de Maçã, Canela e Sultanas



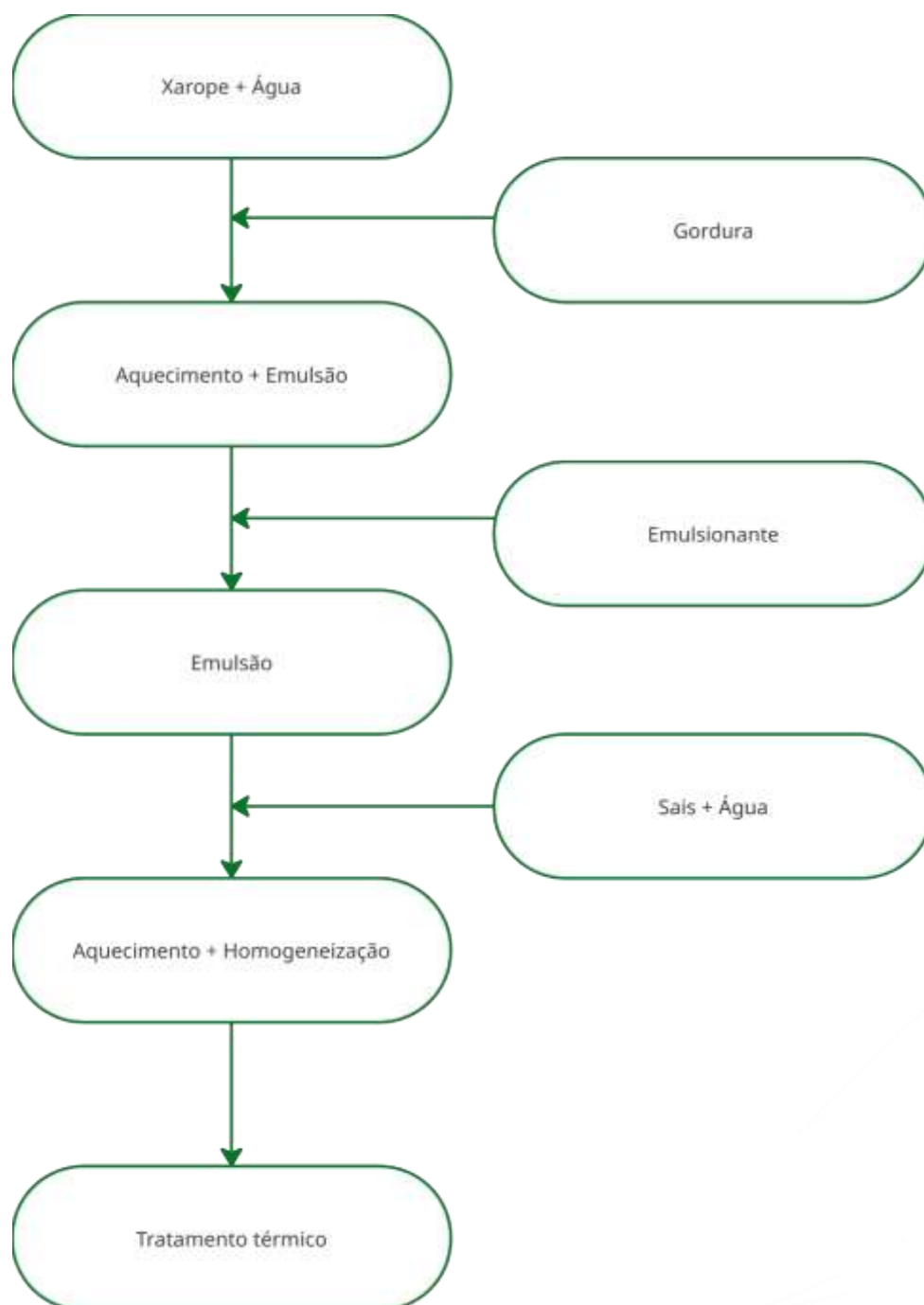
Anexo 6: Fluxograma representativo da Preparação das Cookies Integrais



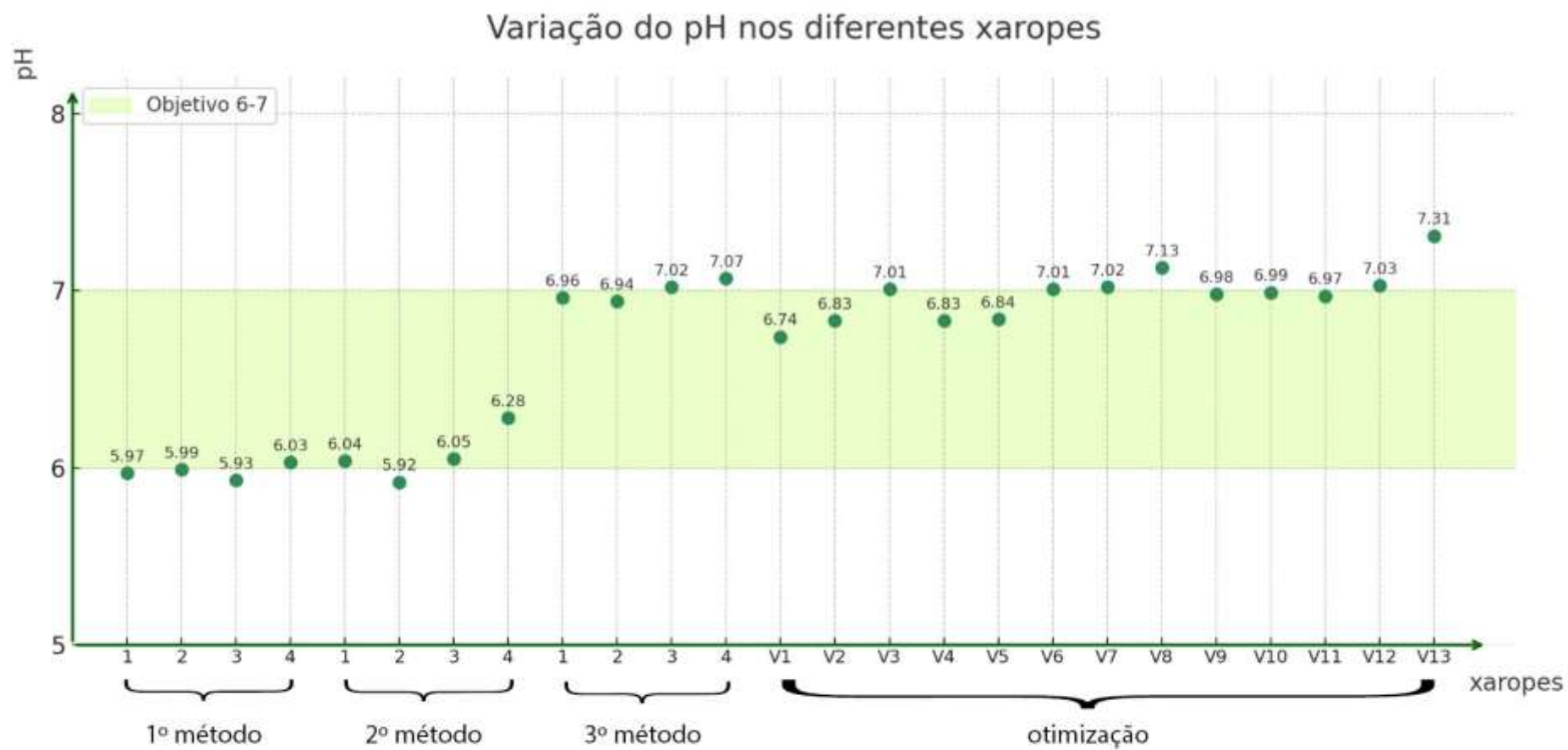
Anexo 7: Fluxograma representativo da Preparação das Cookies de Chocolate



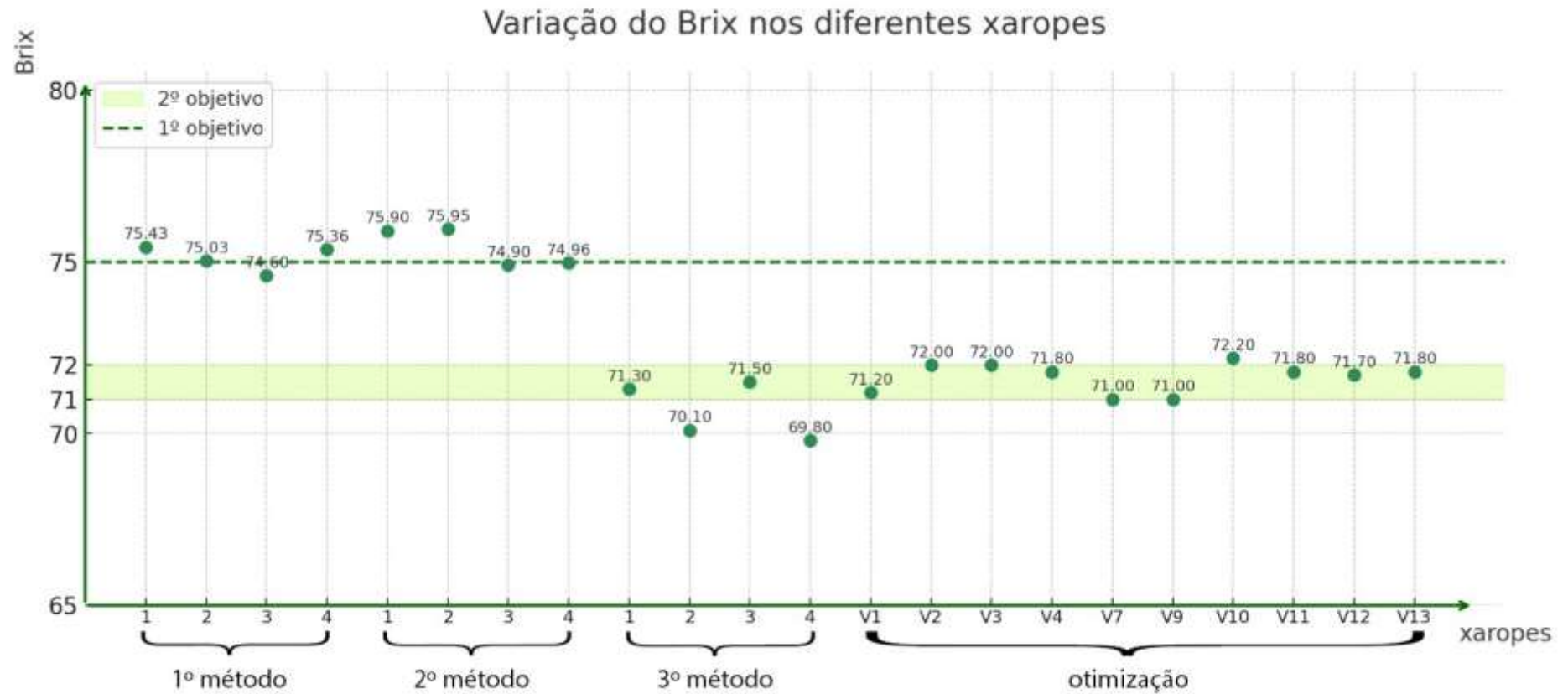
Anexo 8: Fluxograma representativo da Preparação da Bebida Barista



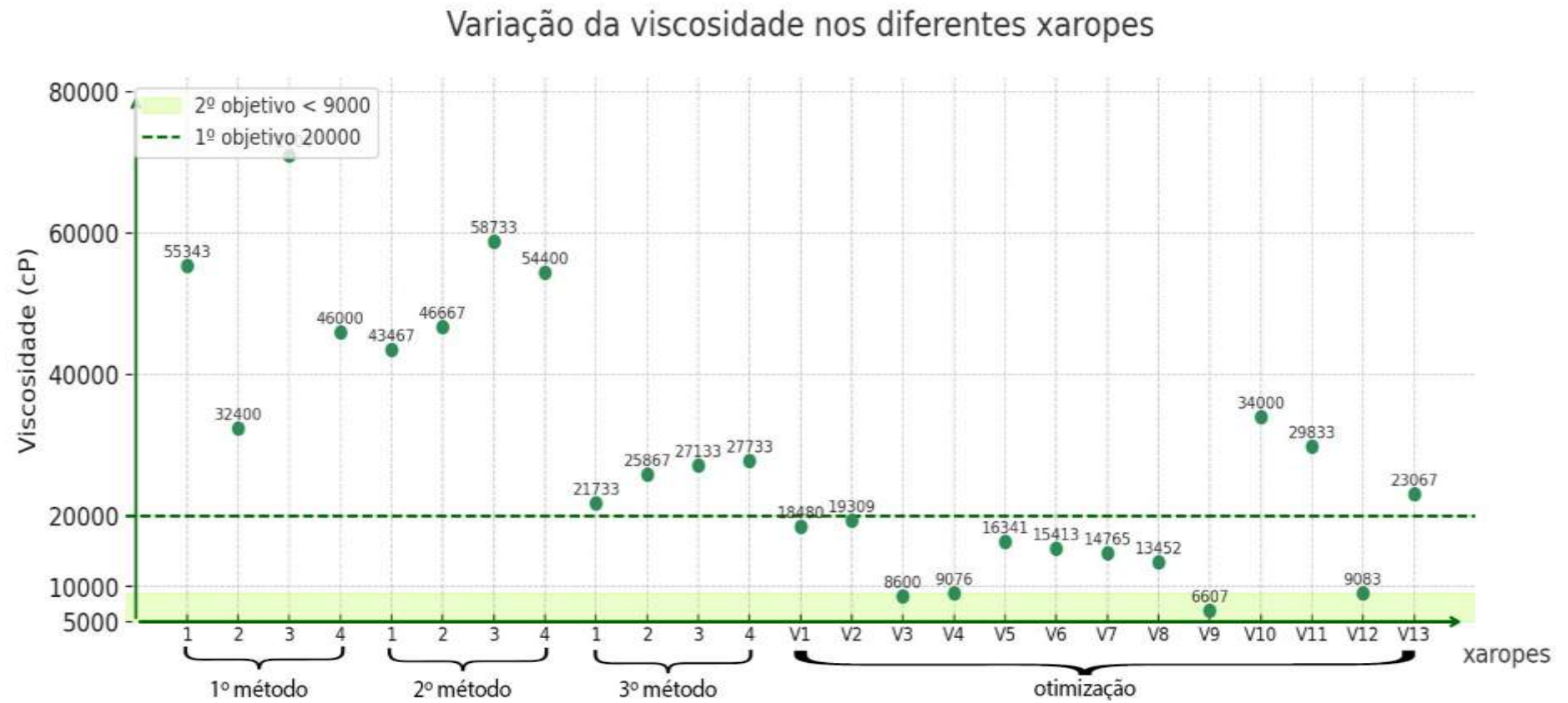
Anexo 9: Variação dos valores de pH nos Xaropes de Aveia ao longo do Estágio Curricular



Anexo 10: Variação dos valores de °Brix nos Xaropes de Aveia ao longo do Estágio Curricular



Anexo 11: Variação dos níveis de Viscosidade nos Xaropes de Aveia ao longo do Estágio Curricular



Anexo 12: Variação dos níveis de Glucose nos Xaropes de Aveia ao longo do Estágio Curricular

