



CATÓLICA  
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

---

PORTO

SECAGEM DE BASES CONCENTRADAS DE ORIGEM VEGETAL

Por

Sofia Alexandra Cêa Xavier

Setembro, 2021



CATÓLICA  
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

---

PORTO

## SECAGEM DE BASES CONCENTRADAS DE ORIGEM VEGETAIS

Tese apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica  
Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia e Inovação

por

Sofia Alexandra Cêa Xavier

Supervisão (Empresa): Dr.<sup>a</sup> Joana Inácio e Dr. Ricardo Taveira

Orientação (Universidade): Professora Ana Maria Gomes e Professora Ana Cristina  
Freitas

Setembro, 2021

## **Dedicatória**

Aos meus pais, que me alicerçaram cada conquista com todo o seu amor.

## RESUMO

Os alimentos *Plant-Based* estão presentes naquilo que são as tendências influenciadas pelo comportamento do consumidor da conjuntura atual. Todavia, a disponibilidade durante todo o ano de alguns destes tipos de alimentos pode estar comprometida pela sua sazonalidade. A secagem pode ser uma forma de responder a estas questões, permitindo a sua oferta regular no mercado através do aumento da vida útil do produto e simultaneamente permite reduzir os custos de transporte. Hoje existem múltiplos métodos de secagem e escolher uma tecnologia ideal parece ser um desafio. No que concerne a alimentos *Plant-Based*, a liofilização parece ser proposta como o método de secagem mais indicado e o mais comumente aplicado pela indústria alimentar. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar o impacto da liofilização nas características físico-químicas e organoléticas de diferentes Bases Vegetais Concentradas e estabelecer uma análise comparativa entre as mesmas. Para isso foram produzidas Bases de Aveia, Espelta e Arroz, em contexto laboratorial e industrial e ainda com 2 perfis distintos de açúcar, *Low* e *High Sugar*. As diferentes Bases foram parametrizadas a nível físico-químico (pH, °Brix, %TST e glucose) e organolético (cor, sabor, textura e odor), antes e depois da liofilização, durante um período de 8 semanas. Para além do estudo das Bases, procedeu-se ainda à realização de aplicações elaboradas a partir das Bases liofilizadas. Concluiu-se que a liofilização demonstrou-se eficaz na secagem de diferente Bases, à exceção da Base de Arroz. Quando reidratadas, as Bases apresentam parâmetros que se aproximam aos das Originais. Constatou-se também que as Bases não apresentaram variações consideráveis dos parâmetros físico-químicos e organoléticos, o que se pode pensar que pelas condições ideais de conservações que as Bases foram mantidas, não houve nenhuma degradação das mesmas durante 8 semanas. A Base WGOF *Low Sugar* foi a Base com melhores respostas à liofilização. A mesma similaridade de parâmetros permanece quando as Bases são usadas para o desenvolvimento de aplicações. Estes resultados permitem concluir a viabilidade de comercialização das Bases na forma seca, o que acarreta múltiplas vantagens comerciais. Todavia, a liofilização é dos métodos de secagem mais dispendiosos, sendo importante saber se não haverá outra metodologia que seja igualmente eficaz e que não acarrete gastos tão elevados. Neste trabalho a análise da viabilidade económica passou por uma contextualização teórica e pelo estabelecimento de contacto com alguns *players* do mercado que dispõem de outras tecnologias de secagem, com o intuito de estudar a resposta de algumas Bases a essas técnicas. Desta forma abriu-se uma porta para um caminho que será necessário desbravar com mais estudos científicos.

**Palavras-chave:** Secagem, *Plant-Based*, Liofilização, Bases Vegetais Concentradas

## ABSTRACT

Plant Based foods are present in what are the Trends dictated by the consumer behavior of the current situation. However, the food market is competitive and the year-round availability of some of these types of foods may be compromised by their seasonality. Drying can be a way to answer these questions, allowing for a constant offer in the market. Today there are multiple drying methods and choosing an ideal technology for a particular product seems to be a challenge. With regard to Plant Based foods, Freeze-Drying seems to be proposed as the most suitable drying method and the most commonly applied by the Food Industry. Thus, the present work aimed to study the impact of freeze-drying on the physicochemical and organoleptic characteristics of different Vegetal Concentrated Bases and to establish a comparative analysis between them. For this purpose, Oat, Spelt and Rice Bases were produced in a laboratory and industrial context and also with two distinct sugar profiles, Low and High Sugar. The different Bases were parameterized at physical-chemical (pH, °Brix, %TST and glucose) and organoleptic (color, flavor, texture and odor) steps, before and after freeze-drying, for a period of 8 weeks. In addition to the study of the Bases, applications were also carried out based on the Lyophilized Bases. It was concluded that the technology of freeze-drying proved to be effective in the drying of different bases, with the exception of the rice base. When rehydrated, the Bases presented parameters values close to the Original ones. It was also found that the Bases did not present considerable variations in the physicochemical and organoleptic parameters, which could it be due to the ideal conditions of conservation that the Bases were kept and led to this behavior of no degradation. WGOF Low Sugar Base had the best responses to Freeze Drying. The same similarity of parameters remains when Bases are used for application development. These conclusions lead to suppose that the Concentrated Bases can be commercialized in dry form, which entails multiple commercial advantages. However, freeze-drying is one of the most expensive drying methods, and it is important to know if there is no other methodology that is equally effective and does not involve such high costs. In this work, the analysis of economic viability went through a theoretical context and the establishment of contact with some market players that have other drying technologies, in order to study the response of some Bases to other techniques/methods. Here is an open door to a path that will need to be explored with more scientific studies.

**Keywords:** Drying, *Plant Based*, Freeze-Drying, Concentrate Base

## **Agradecimentos**

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que este trabalho fosse concretizado. Deixo, a cada um, o meu mais sincero agradecimento.

Primeiramente, à empresa Frulact por me ter aberto portas para realizar a última etapa do Mestrado nas suas instalações. Foram 6 meses de intenso enriquecimento profissional e pessoal.

À minha Orientadora, Professora Doutora Ana Gomes, um sincero obrigada por me ter conduzido ao longo deste momento de formação académica. Foi um privilégio contar com os seus pareceres construtivos que alicerçaram cada etapa ao longo deste processo.

À Professora Ana Cristina Freitas, que com profundo pesar nos deixou este ano. O seu nome fará sempre parte deste projeto e será mais uma forma de recordar com muito apreço o seu legado na comunidade Académica.

À Dr.<sup>a</sup> Joana Inácio e Dr. Ricardo Taveira, meus Co-orientadores neste percurso. Um profundo obrigada pela disponibilidade, incessante dedicação e pela rica partilha de conhecimentos. Estarei eternamente grata pela confiança depositada e pela forma exemplar como me introduziram nesta prática. As palavras serão sempre ínfimas para espelhar a minha gratidão, irei sempre recordá-los com muito apreço.

À Eng.<sup>a</sup> Isabel Franco, responsável da unidade OATVITA, um obrigada especial por ter acreditado neste projeto desde o primeiro dia e por me ter acolhido tão calorosamente na sua equipa. Foi um privilégio ouvir todos os seus sábios conselhos, contar com o seu rigor e exigência construtiva que foram fulcrais no desenvolvimento do meu espírito crítico. Estarei eternamente grata pela confiança, disponibilidade e profissionalismo. Guardarei sempre com muito carinho tudo o que partilhamos.

Agradecer aos restantes elementos da equipa OATVITA, César Rodrigues, Ana Brandão, João Figueiredo, Filipa Macedo e Ana Vinhas que me fizeram sentir desde o primeiro dia parte da equipa. Cada um, à sua dimensão, tornou esta jornada possível e única.

Aos meus pais, que viveram comigo de forma intensa este desafio, apostando sempre na minha formação. Obrigada por serem o meu refúgio de todas as angústias e me mostrarem nesses momentos o caminho para a luz. Vale sempre apenas lutar pela excelência do mais pequeno trabalho.

Aos meus amigos, os de sempre, pela amizade de longa data e pela força e motivação que me imprimiram em especial nesta etapa.

## Estruturação da Dissertação

O presente trabalho foi elaborado no âmbito do estágio curricular do Mestrado em Biotecnologia e Inovação da Universidade Católica no Porto e teve o seu contexto na área da Indústria Alimentar, em particular no departamento OATVITA da empresa Frulact.

Com a finalidade de estruturar o trabalho desenvolvido durante o período de estágio, a presente Dissertação foi dividida em duas grandes partes. A Parte I que diz respeito ao Relatório de Estágio e a Parte II que consiste no Trabalho de Investigação desenvolvido intitulado – “Secagem de Bases Concentradas de Origem Vegetal”. Cada parte encontra-se subdividida em Capítulos, nomeadamente a Parte I é composta pelo Capítulo I - Local, Duração e Orientação; Apresentação da empresa; Objetivos; Atividades desenvolvidas e Análise crítica do mesmo. Já a Parte II debruça-se sobre o Trabalho de Investigação desenvolvido e está igualmente estruturada em capítulos que dão seguimento aos anteriores, são eles: Introdução, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusão e Perspetivas Futuras.

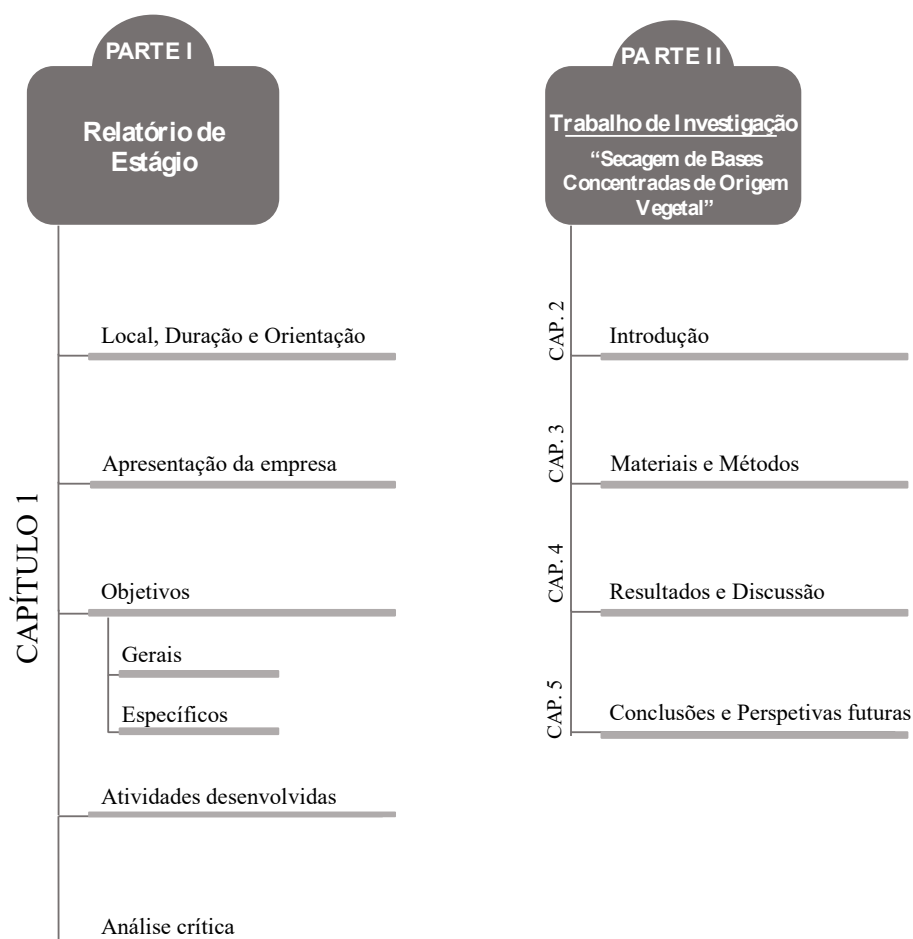


Figura 1.1 – Estrutura do projeto de Dissertação

**Índice**

<b>RESUMO .....</b>	<b>4</b>
<b>Estruturação da Dissertação .....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>10</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 1 – Enquadramento do estágio .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Local, Duração e Orientação.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Apresentação da Empresa .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>15</b>
1.3.1 Objetivos Gerais .....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
<b>1.4 Atividades desenvolvidas .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Análise Crítica .....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo 2 - Introdução.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Estado da arte .....</b>	<b>21</b>
2.2 Padrão Alimentar de Base Vegetal.....	22
<b>2.3 Secagem de alimentos.....</b>	<b>27</b>
2.3.1 Métodos de Secagem.....	28
<b>2.4 Liofilização .....</b>	<b>34</b>
2.4.1 O Princípio .....	35
2.4.2 O processo .....	36
2.4.3 O Equipamento.....	38
2.4.4 Alterações nas propriedades dos alimentos.....	38
2.4.5 Pré-tratamentos.....	40
2.4.6 O Mercado de alimentos liofilizados .....	41
<b>Capítulo 3 - Materiais e métodos .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Desenho do estudo .....</b>	<b>43</b>
3.1.1 Produção de Bases Vegetais Concentradas .....	44
3.1.2 Avaliação das Bases Concentradas .....	45

3.1.2.1 Avaliação Físico-Química .....	46
3.2.1.2 Avaliação Organolética .....	46
3.1.3 Liofilização das Bases Concentradas .....	48
3.1.3.1 Preparação das amostras .....	48
3.1.3.2 Liofilização .....	48
3.1.3.3 Acondicionamento das amostras .....	49
3.1.4 Reidratação das Bases Vegetais Concentradas .....	49
3.1.5 Aplicações .....	49
3.1.5.1 Bebida Vegetal .....	50
3.1.5.2 Tipo-Iogurte .....	51
3.1.5.3 Gelado vegetal .....	52
3.1.5 Análise da Viabilidade Económica .....	52
<b>Capítulo 4 - Resultados e Discussão.....</b>	<b>53</b>
4.1 Bases Concentradas.....	53
4.2 Aplicações.....	61
4.3 Viabilidade económica .....	67
<b>Capítulo 5 - Conclusões e Perspetivas Futuras.....</b>	<b>71</b>
<b>Cap. 6 - Bibliografia .....</b>	<b>73</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1 – Estrutura do projeto de Dissertação.

Figura 1.2 – Logotipo da OATVITA e da Frulact.

Figura 2.1 – Crescimentos das diferentes categorias de alimentos *Plant Based* no ano 2020.

Figura 2.2 – Comparação entre as vendas de produtos *Plant Based* VS as vendas totais do retalho alimentar.

Figura 2.3 – Diagrama de fases da água (T: Ponto triplo da água, C: Ponto crítico da água). A” representa o ponto inicial antes da liofilização (pressão e temperatura ambiente), “B” as condições desejadas durante a sublimação (abaixo do ponto triplo T).

Figura 2.4 – Componentes gerais de um liofilizador.

Figura 2.5 – Resumo do mercado dos alimentos liofilizados durante o período de estudo 2016-2026.

Figura. 3.1- Fluxograma da estruturação do trabalho.

Figura 3.2 – (A) Centrífuga utilizada nas instalações da OATVITA; (B) Autoclave utilizado nas instalações da OATVITA.

Figura 3.3.- Equipamentos usados para a determinação dos diferentes parâmetros físico-químicos– (A) Potenciómetro; (B) Refratómetro; (C) Balança de determinação % humidade; (D) Espectrofotómetro.

Figura 3.4- Avaliação da cor (A) Via tijoleira; (B) Via colorímetro.

Figura 3.5 – (A) Amostras a Liofilizar; (B) Base concentrada pós-liofilização.

Figura 3.6 - Armazenamento das Bases Concentradas liofilizadas na caixa com sílica.

Figura 3.7 –Fluxograma seguido para a elaboração das Aplicações.

Figura 4.1 – Base Concentrada Arroz *High Sugar* Pós-liofilização.

Figura 4.2 – Exemplo da tabela com os parâmetro físico-químicos da WGOF *Low Sugar* (Base Original *vs* Liofilizada) produzida em laboratório e fábrica, ao longo das 8 semanas.

Figura 4.3 – Exemplo do gráfico de dispersão que apresenta o comportamento do parâmetro %TST da WGOF *Low Sugar* (laboratório e fábrica) ao longo das 8 semanas.

Figura 4.4 – Produto final Tipo Iogurte Original (esquerda) e Liofilizado (direita).

Figura 4.5 – Gelado Original e liofilizado.

Figura 4.6 - CO *vs* CC em escala laboratorial e industrial.

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1– Classificação do Tipo de Secadores.

Tabela 2.2 – Alterações na qualidade de alimentos secos.

Tabela 3.1 – Lista de descritores definidos para análise das Bases.

Tabela 4.1 – Variáveis em estudo: Tipologia de cereal, Teor de açúcar e Local de produção.

Tabela 4.2 – Parâmetros físico-químicos da Base de Farelo de Aveia *Low e High Sugar*.

Tabela 4.3 – Parâmetros físico-químicos da Base de Farinha de Aveia *Low e High Sugar*.

Tabela 4.4 – Parâmetros físico-químicos da Base de Espelta de *Low e High Sugar*.

Tabela 4.5 – Parâmetros físico-químicos da Base de Arroz *Low Sugar*.

Tabela 4.6 – Parâmetros Físico-químicos da Base Original e Liofilizado WGOF *Low Sugar*.

Tabela 4.7 – Parâmetros Físico-químicos do tipo-iogurte preparado a partir da Base Original e da Base Liofilizada.

Tabela 4.8 – Viscosidade *Brookfield* do tipo-iogurte Original e Reidratado.

Tabela 4.9 – Avaliação da Cor do tipo-iogurte com recurso a um Colorímetro.

Tabela 4.10 – Parâmetros Físico-químicos da Base Original e Liofilizada WGOF *Low Sugar*.

Tabela 4.11 – Parâmetros Físico-químicos da Bebida Barista Liofilizada e Original.

Tabela 4.12– Avaliação da Cor das Bebidas Baristas com recurso a um Colorímetro.

Tabela 4.13 – Parâmetros Físico-químicos do Gelado Vegetal Original e Reidratada.

Tabela 4.14 – Avaliação da Cor dos Gelados com recurso a um Colorímetro.

## **Parte I – Relatório de Estágio**

---

## Capítulo 1 – Enquadramento do estágio

### 1.1 Local, Duração e Orientação

No âmbito do Mestrado em Biotecnologia e Inovação da Escola Superior de Biotecnologia do Porto realizou-se um Estágio Curricular cujo contexto teve lugar numa empresa da Indústria Alimentar. Este decorreu na Frulact- Indústria Agroalimentar, S.A, em particular no departamento de Investigação e Inovação da OATVITA. O mesmo compreendeu um total de 800 horas e teve o seu início a 14 de Setembro de 2020 e o seu término a 12 de Fevereiro de 2021. No que concerne à Orientação, esta contou com o apoio das Professora Ana Gomes e Professora Ana Cristina Freitas pela Escola Superior de Biotecnologia do Porto e com o apoio da Dr.<sup>a</sup> Joana Inácio e do Dr. Ricardo Taveira, ambos Investigadores no departamento de Investigação e Inovação da OatVita.

### 1.2 Apresentação da Empresa

A Frulact consiste num grupo empresarial que teve a sua origem em 1987 num contexto familiar, em que o gosto e o conhecimento pelos produtos lácteos moveram Arménio Miranda para a construção do legado que hoje está ao acesso de todos.

Atualmente a Frulact posiciona-se como uma empresa inovadora que se dedica ao fornecimento de ingredientes de valor acrescentado, em particular preparados de frutas, aromas e produtos de Base Vegetal, para outras indústrias alimentares (*business to business*). A ambição em crescer traduziu-se na expansão para territórios internacionais, sendo que no presente é detentora de unidades de produção na Europa (Portugal e França), na América do Norte (Canadá) e em África (Marrocos e África do Sul). É em Portugal, na zona Industrial da Maia, que se encontram os serviços centrais.

Com um olhar atento ao futuro e tentado antecipar tendências, a Frulact atua em três unidades de negócio: Frulact- Preparados de Fruta e Vegetais; Frusenses- Aromas; OATVITA – Ingredientes à Base de Plantas. Esta última unidade foi adquirida pela Frulact em 2018 com o intuito de dar resposta às novas tendências de consumo, em particular aos consumidores que procuram alternativas alimentares vegetais em detrimento dos produtos de origem animal. Esta aquisição vem também reforçar o seu posicionamento no mercado através de uma oferta mais diversificada. A OATVITA dedica-se ao desenvolvimento e produção de ingredientes de valor acrescentado à base de plantas, oferecendo às indústrias alimentares um portefólio de Bases Vegetais que

dão origem a uma vasta gama de aplicações em particular, bebidas vegetais, tipo-iogurtes, análogos de queijos, gelados, sobremesas, entre outros.

Recentemente, e concretamente em 2020, a Frulact foi detida pela empresa *Ardian*, uma sociedade líder mundial de investimento privado.



**Figura 3.2** - Logotipo da OATVITA e da Frulact.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1 Objetivos Gerais

- Contactar com a realidade da Indústria Alimentar;
- Integrar o funcionamento de um departamento de Investigação Desenvolvimento e Inovação de produto;
- Colocar em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado em Biotecnologia e Inovação;
- Adquirir novas competências pessoais e profissionais, e
- Estudar o impacto da liofilização nas características físico-químicas e propriedades organoléticas de diferentes bases vegetais e estabelecer uma análise comparativa entre as mesmas.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver competências na execução de bases vegetais e da sua caracterização físico-química e sensorial;
- Adquirir conhecimentos no âmbito do processamento por secagem, em particular da liofilização das diferentes bases vegetais desenvolvidas;
- Avaliar o impacto da liofilização nas características físico-químicas e sensoriais das bases vegetais desenvolvidas, e
- Adquirir *know-how* no desenvolvimento de novos produtos alimentares a partir das diferentes bases vegetais liofilizadas.

## 1.4 Atividades desenvolvidas

O presente estágio decorreu na unidade OATVITA da Frulact, em particular no Departamento de Investigação e Desenvolvimento de Produto. Aquando do começo do estágio, foi realizado uma apresentação geral da Frulact, dos respetivos departamentos e responsabilidades, em particular o segmento dos preparados de fruta que além de pioneiro, desenvolve também projetos em parceria com a OATVITA. Também numa fase inicial foram facultadas formações que passaram pela apresentação da empresa (Missões, valores, objetivos, certificações e políticas internas), formação em segurança no trabalho e ainda sobre Segurança e Proteção de Dados.

No que diz respeito ao trabalho desenvolvido, foi possível de uma forma geral vivenciar as diferentes funções executadas pelos elementos da equipa OATVITA desde: análise de mercado; estudo das necessidades do consumidor/tendências alimentares; contacto com clientes; execução das necessidades/pedidos em contexto laboratorial; e expedição desses mesmo produtos. O percurso pelas diferentes funções permitiu obter uma ideia concreta dos desafios diários de uma unidade de Desenvolvimento e Investigação alimentar. É importante referir que a maioria deste estágio decorreu em contexto laboratorial e que este foi devidamente apresentado, ficando explícitas as regras prevalentes, bem como a função/utilização dos respetivos equipamentos. Também a parte da fábrica, onde decorre a produção industrial das Bases Concentradas, foi devidamente apresentada. Esta contextualização é fundamental, pois o laboratório e a fábrica trabalham em sintonia na resposta a clientes e as receitas antes de serem produzidas em fábrica são devidamente testadas em contexto laboratorial.

Em contexto laboratorial, o foco diário é a produção de ingredientes de valor acrescentado que se destinam a ser vendidos a outras Indústrias Alimentares como soluções de melhoria ou inovação dos seus produtos. Enquanto unidade *Plant Based*, as matérias primas chave são os cereais e as leguminosas incluindo: a Aveia (Farinha e Farelo), Espelta, Arroz, Centeio, Quinoa, *Millet*, Sorgo, Chufa, Trigo-Sarraceno e Grão de bico. Com estas matérias primas são produzidas diferentes Bases Vegetais designadamente, Bases Concentradas (com processos enzimáticos) e Bases não Concentradas (sem processos enzimáticos) que servem de ingrediente para a produção de aplicações: bebidas, tipo-iogurtes, análogos de queijos, gelados, *toppings*, cremes vegetais, *etc.*

As Bases Vegetais Concentradas, são produzidas diariamente com o intuito de responder aos pedidos de clientes, mas também com o objetivo de trabalhar e inovar esta matriz com novas combinações de cereais/leguminosas, com diferentes características nutricionais (como o teor de açúcar, fibra, proteína), ou diferentes propriedades organolépticas, permitindo assim amplificar a oferta aos clientes. Nesse seguimento, uma das tarefas realizadas durante este estágio foi a produção dessas Bases Concentradas em contexto laboratorial. Estas são compostas por cereal, água, enzimas e sais, cujas concentrações variam conforme a receita em causa. Dependendo da matéria-prima utilizada – farinha ou farelo- a concentração de proteína intrínseca a esta base pode variar de 3 – 5 g/Kg. A nível enzimático são usadas amilases, glucoamilases e próteases que dependendo da concentração aplicada obtêm-se diferentes perfis finais. No que diz respeito ao teor de açúcar final, estas podem ser categorizadas em: *High Sugar*, *Standard Sugar*, *Low Sugar* e *Very Low Sugar*. Em termos de confeção, os ingredientes são misturados e submetidos a diferentes temperaturas de forma a obter-se um processo de cozedura associado. A homogeneização é feita com recurso a uma varinha mágica e a temperatura é controlada através de um termómetro. Este último ponto é crucial, pois permite controlar a temperatura de ativação e inativação das enzimas usadas. Posteriormente, a base é centrifugada e sujeita a um tratamento térmico em autoclave.

Outra atividade realizada durante o estágio foi a inovação e desenvolvimento de aplicações. A sua execução podia derivar de pedidos de clientes, com instruções a nível de composição e propriedades organolépticas (cor, textura, paladar) já definidas, ou pela iniciativa de criar/melhorar aplicações dentro da própria unidade. No que concerne à sua execução, a maioria apresenta na sua constituição Bases Vegetais Concentradas que consoante o teor de açúcar, o teor de proteína, a textura ou mesmo a cor, a escolha oscila. Os restantes ingredientes são maioritariamente água, gordura, sais, hidrocolóides (amidos) e espessantes (gomas, fibras, etc.), com o intuito de manipular a textura. No que concerne ao processo de execução, este variava conforme a aplicação em causa. De uma forma geral, iniciava-se com a mistura da Base e gordura garantindo uma correta emulsão, sendo posteriormente adicionados os restantes ingredientes. Após uma correta homogeneização dos ingredientes, a mistura era submetida a um processo de homogeneização, com uma pressão de 200 Bar. Caso seja um produto fermentado (tipo-iogurtes ou análogos de queijos), o passo seguinte consistia na inoculação com culturas

para dar início à fermentação. Por último, aplicava-se um tratamento térmico (pasteurização), para garantir a segurança alimentar do produto.

Aquando da realização de uma Base Concentrada ou mesmo de uma aplicação é preciso parametrizar a nível físico-químico e organolético as mesmas. Nesse sentido, esta foi outra tarefa desempenhada ao longo deste estágio. Em termos organoléticos a avaliação podia passar pela realização de uma prova de análise sensorial interna, completada com a avaliação da cor através do colorímetro. A nível físico-químico os parâmetros mais frequentemente avaliados eram o pH, a concentração de glicose, a percentagem de humidade/teor de sólidos, o °Brix e a viscosidade Brookfield.

A nível microbiológico, também competia à equipa laboratorial a responsabilidade de aplicar tratamentos térmicos que salvaguardassem a segurança alimentar dos produtos. Nesse seguimento, tratamentos como a pasteurização, que visa a eliminação dos microrganismos patogénicos (que provocam a detioração do produto alimentar), podiam ser aplicados através de um binómio tempo-temperatura definido. Também a esterilização, através da autoclave, era usada para eliminar microrganismos, incluindo formas mais resistentes (esporos), ou para inativar. Depois do produto estar finalizado e pronto para envio, realizava-se a expedição do mesmo. Tendo em conta que a maioria dos clientes são internacionais e muitos dos transportes são feitos via marítima (sendo por isso mais morosos), o devido acondicionamento do produto com recurso a refrigeradores é essencial. Esta tarefa é realizada com uma frequência diária.

Paralelamente a todas as atividades desenvolvidas enquanto elemento integrante da equipa, foi proposto por parte da OATVITA o desenvolvimento de um Trabalho de Investigação. Este teria como tema “Secagem de Bases Concentradas de Origem Vegetal” e visava a liofilização das mesmas, com o objetivo de compreender o impacto deste método nas características físico-químicas e organoléticas, e ainda estabelecer uma análise comparativa entre diferentes Bases de origem vegetal. Este foi sem dúvida o foco e a prioridade de todas as atividades desenvolvidas e é sobre este trabalho de investigação que se debruçará a Parte II do presente documento.

## **1.5 Análise Crítica**

Findo estágio do Mestrado em Biotecnologia e Inovação o balanço apresenta-se extremamente positivo. Este foi a porta de entrada para contacto com a realidade da Indústria Alimentar e em particular com um Departamento de Investigação e

Desenvolvimento de Produto. Este período de experiência revelou-se desafiante a nível profissional, mas também pessoal. Foi possível pôr em prática e consolidar muitos dos saberes adquiridos ao longo do Mestrado e ainda enriquecê-los, a cada dia, com a prática. *Skills* como espírito crítico, criatividade e capacidade de trabalho em equipa foram estimuladas diariamente. Também a resiliência e capacidade de resolução foram exercitadas, na medida em que o processo de Inovação e Desenvolvimento exige múltiplas tentativas de execução e nem sempre atender às exigências do cliente é fácil. A oportunidade de ter passado por todos os segmentos do departamento, desde o contacto com os clientes, à execução em laboratório, à produção em fábrica, até à expedição, permitiu obter uma visão geral de todo o processo, vivenciar diferentes funções e adquirir e aprofundar diferentes conhecimentos.

O facto de ter sido possível desenvolver um projeto de investigação foi desafiante, mas também um complemento vital para o desenvolvimento de competências. Desde a exigência da contextualização científica do tema, ao planeamento e estruturação do projeto, aos desafios da sua execução, foi uma longa jornada de aprendizagem e de autossuperação. Atualmente, no âmbito de um estágio profissional proposto pela OATVITA, este projeto encontra-se *on-going*, estando a ser comparado o método de liofilização com outras técnicas de secagem, através de parcerias com empresas/universidades nacionais e internacionais.

Posto isto, pode concluir-se que os objetivos delineados inicialmente foram superados assim como as expectativas para este estágio. Refletindo sobre os maiores desafios ao integrar este departamento, é de salientar, sobretudo a dificuldade em encontrar oportunidades de inovação, uma vez que o mercado alimentar é extremamente competitivo e está repleto de ofertas diversificadas. Também um desafio pessoal sentido, foi na criação de novos produtos antecipar a forma como os diferentes ingredientes iriam interagir na matriz alimentar e dessa forma antever texturas, paladares e cores. Esta última questão foi atenuando com a prática e com a pesquisa científica.

De uma forma geral, este estágio foi extremamente enriquecedor e despoletou a ambição de um caminho futuro na área da indústria alimentar. A dinâmica diária do ramo da Inovação é cativante pela exigência constante de um olhar atento ao futuro e pela necessidade de antecipar constantemente tendências de consumo.

## **Parte II– Trabalho de Investigação**

.....  
“Secagem de Bases Concentradas de Origem Vegetal”

## Capítulo 2 - Introdução

### 2.1 Estado da arte

No século passado a falta de segurança alimentar que tanto intimidava o consumidor, foi superada através da industrialização Agro-Alimentar (Lusk, 2016). O processamento alimentar veio permitir o aumento da vida útil dos produtos, reduzir o desperdício e ainda otimizar a disponibilidade de alguns nutrientes. Todavia, na conjuntura atual assiste-se a um consumidor mais crítico perante as suas escolhas alimentares, sendo que hoje as suas preocupações recaem sobre outros aspetos como será apresentado posteriormente (Augustin *et al.*, 2016; Weaver *et al.*, 2014).

Nas sociedades modernas a globalização dos mercados e o acesso à informação contribuiu para a diminuição do *gap entre o consumidor e o mercado alimentar*. Consequentemente, o consumidor está mais consciente de como os alimentos são produzidos e constituídos, sendo a sua perceção do risco superior. Situações como as diversas polémicas alimentares nos anos 80, 90 e 00', a Encefalopatia Espongiforme Bovina, a presença de elevadas concentrações de dioxinas ou outros aditivos em alimentos (Meeting & Organization, 2013; WHO, 2010), o uso de certos pesticidas na produção agrícola (Organization, 2019), suscitam no consumidor um sentimento de desconfiança face à indústria alimentar e, simultaneamente, de preocupação com os efeitos adversos para a sua saúde. (Asioli *et al.*, 2017). Na verdade, hoje sabe-se também que a alimentação é a alavanca principal para a saúde e esta relação é amplamente estudada pela comunidade científica. (Willett *et al.*, 2019). Outra preocupação do consumidor passa ainda, pelo impacto da indústria alimentar nas alterações climáticas. (Godfray, Beddington, *et al.*, 2010). A produção alimentar constitui uma ameaça para o ecossistema sendo mesmo apontada como um dos *drivers* na degradação ambiental. Nesse sentido, é urgente fornecer à população alimentos saudáveis a partir de Sistemas Alimentares sustentáveis. (Willett *et al.*, 2019). A comunidade científica tem efetuado alertas sucessivos para a necessidade imperativa de transformar o sistema global de produção alimentar no sentido de proporcionar segurança alimentar e nutrição para todos, estando a produção alimentar sustentável e a dieta saudável incluídos nos 17 objetivos das Nações Unidas para a Sustentabilidade. (Arora & Mishra, 2019).

Atualmente, as escolhas alimentares dos consumidores pautam-se essencialmente, por três questões: saúde, sustentabilidade e conveniência (Grunert, 2013). No que concerne à saúde, cerca de 820 milhões de pessoas têm alimentos em

quantidades insuficientes para suprir as suas necessidades, em contraste com um grande número que praticam alimentações de baixa qualidade nutricional ou em quantidades excessivas. (Willett *et al.*, 2019). A evidência científica demonstra que um dos principais fatores de risco de doenças não transmissíveis é fruto de uma dieta rica em alimentos de elevada densidade energética, ricos em gorduras saturadas, açúcares simples, sal, e pobre em frutas, vegetais e outras fontes de fibras. Por sua vez, segundo Organização Mundial da Saúde, as doenças não transmissíveis matam 41 milhões de pessoas por ano. (Di Daniele, 2019; Montagnese *et al.*, 2019). Este cenário, faz com que hoje as preocupações com a saúde derivam da ampla oferta de alimentos no mercado, pelos estilos de vida associados ao aparecimento de doenças crônicas e também pela maior prevalência de alergias e intolerâncias alimentares devido a alguns componentes específicos, como o glúten. Nesse sentido, o consumidor procura alimentos que promovam uma alimentação nutricionalmente equilibrada, que sejam *Clean Label*, que reduzam o risco de aparecimento de certas doenças e que permitam um envelhecimento saudável (Aschemann-Witzel *et al.*, 2013; Kearney, 2010).

No que compete à sustentabilidade, a motivação resulta de uma consciencialização superior do impacto das práticas agrícolas na poluição ambiental (Aschemann *et al.*, 2007; Godfray, Crute, *et al.*, 2010). Já a conveniência é fruto de uma procura superior por refeições já confeccionadas ou pré-confeccionadas, que permitam ao consumidor economizar o seu tempo face às mudanças decorrentes do estilo de vida (Lachat *et al.*, 2012).

A alteração daquelas que são as prioridades e preocupações alimentares dos consumidores, reflete-se na sua postura nas sociedades modernas. Isto leva ao surgimento das *mega-trends 2020: Sustainability, Naturally Functional, Fragmentation e Snackification*. Por sua vez, estas *mega-trends* deram origem a *Key-trend: Good carbs/ bad carbs, Sugar, digestive wellness, Fat reborn, Authenticity & provenance, Protein, Meat reimaged, Mood, Energy 2.0 e Plant-Based (Business, 2020)*.

## 2.2 Padrão Alimentar de Base Vegetal

A existência de dietas de Base Vegetal (atualmente designada de *Plant-Based* na literatura técnico-científica) já remonta há centenas de anos, quando figuras históricas como Pitágoras, Platão, Leonardo da Vinci e Albert Einstein já praticavam esse tipo de alimentação (Leitzmann, 2014). A verdade é que esses hábitos alimentares parecem estar a difundir-se e tornarem-se cada vez mais populares nas sociedades

atuais, talvez fruto de uma maior consciencialização da importância da saúde, proteção animal, por motivos económicos, éticos ou ambientais (Fehér *et al.*, 2020b).

O termo *Plant-Based* pode ser interpretado como um padrão alimentar que exclua qualquer produto de origem animal, ou que privilegie produtos de origem vegetal, mas que seja condescendente com uma ingestão reduzida de produtos de origem animal (Aschemann-Witzel *et al.*, 2020). A definição mais consensual parece ser um padrão alimentar em que os alimentos de origem animal como os ovos, carne e derivados, laticínios e alimentos altamente processados como o açúcar e o óleo são limitados, em detrimento de alimentos frescos ou minimamente processados como é o caso de legumes, frutas, tubérculos, cereais integrais, sementes e leguminosas. Quem pratica uma alimentação *Plant-Based* não necessita de remover produtos de origem animal, pode apenas limitar o seu consumo promovendo fontes de origem vegetal (McManus, 2018; Melina *et al.*, 2016). A empresa *Alpro* define uma dieta *Plant-Based* como uma alimentação principalmente mas não exclusivamente baseada em produtos vegetais, atribuindo uma percentagem de 30% a alimentos de origem animal e 70% de origem vegetal (Foundation, 2015). Os praticantes de uma dieta *Plant-Based* podem ser divididos em diferentes sub-grupos (Fehér *et al.*, 2020a):

- Vegans: Não consomem nem compram nenhum produto de origem animal;
- Ovolactovegetariano: Incluem na sua dieta ovos, leite e derivados, além dos alimentos de base vegetal;
- Lactovegetarianos: Na sua dieta alimentar não consomem carne, peixe ou ovos, mas inclui laticínios além dos alimentos de base vegetal;
- Semi-vegetarianos: Praticam predominantemente uma dieta baseada em vegetais e frutas que pode pontualmente ser completada com o consumo de aves e peixe, e
- Flexitarianos: Assemelham-se aos semi-vegetarianos, privilegiam o consumo de vegetais e frutas mas comem de forma mais “abertamente” carne e peixe.

É cada vez mais consensual que uma dieta equilibrada e um estilo de vida saudável têm um papel preventivo no desenvolvimento de diferentes doenças. (Kevany *et al.*, 2018). Neste seguimento, uma dieta *Plant-Based* pode ser uma solução eficaz para melhorar a ingestão de nutrientes e consequentemente reduzir o risco de doença (Kahleova *et al.*, 2017). O seu impacto positivo na saúde deve-se essencialmente: 1) Ao

seu aporte superior em fibras, que tem um papel auxiliador da saciedade, na perda de peso e na redução do colesterol (Melina et al., 2016); 2) Ao aumento da ingestão de micronutrientes e antioxidantes que traz um impacto cardio-metabólico benéfico (Benzie et al., 2014); 3) À redução da ingestão de colesterol e gordura saturada em prole de uma gordura mono-saturada e poli-insaturada que parece reduzir o risco cardio-metabólico (Karlström et al., 2011); 4) A ingestão superior de proteína vegetal que demonstra reduzir as concentrações lipídicas no sangue, têm efeito anti-inflamatório e anti-cancerígeno (McCarty, 1999); 5) O aumento da ingestão de esteróis vegetais que tem efeitos anti-inflamatórios, melhoraram o controlo glicémico em indivíduos com diabetes tipo 2 e melhoraram a função plaquetária e endotelial (Dwyer, 1988). Consequentemente, estes múltiplos impactos positivos na saúde refletem-se numa redução do grau de obesidade, na prevenção de doenças cardiovasculares, certos tipos de cancro e na redução dos níveis de colesterol e de pressão arterial (Cummings et al., 2002; Molina-Montes et al., 2020).

No que diz respeito a números, é desafiante ter uma proporção exata dos praticantes de uma dieta *Plant-Based*, pelo facto de existirem diferentes tipos de práticas, como mencionado anteriormente. Ainda assim estima-se que no mundo todo, cerca de 2 mil milhões de pessoas privilegiam a sua alimentação essencialmente à base de carne, enquanto 4 mil milhões praticam uma dieta *Plant-Based* (Pimentel & Pimentel, 2003). Apesar de muitos consumidores ainda não apresentarem níveis de ingestão recomendados de frutas e vegetais, existem segmentos da população que parecem estar cada vez mais interessados neste padrão alimentar (Lea et al., 2006). Nos Estados Unidos, em 2015, 25% dos americanos entre 25 e 34 anos eram vegetarianos, muito consequência do efeito da geração *millennial*, que pretende criar hábitos alimentares mais saudáveis e menos prejudiciais para o meio ambiente (Révillion et al., 2020). Na Europa, o número de vegetarianos e veganos está a aumentar em todos os países, sendo que os números maiores pertencem ao Reino Unido, Itália e Alemanha, 9%, já em França, Espanha e Portugal são 2% (Derbyshire, 2017; Gerke & Janssen, 2017; Leitzmann, 2014; NetWork, 2019). Em particular em Portugal, de acordo com o relatório *The Green Revolution-2019*, cerca de 9% da população segue uma dieta *veggie* (termo que engloba vegetarianos e flexitarianos), sendo que os flexitarianos constituem o grupo que mais cresceu, correspondendo a 7% da população (Lantern, 2019).

A verdade é que o setor *Plant-Based* parece ser cada vez mais foco de atenção por parte dos consumidores e nesse sentido a indústria alimentar procura dar resposta a

essas necessidades. Na Europa, o lançamento de produtos *Plant-Based* tem crescido rapidamente nos últimos anos (EUVEPRO, 2021). A prova disso é que os produtos *Plant-Based* fornecidos pelas empresas Europeias representam 39% dos existentes a nível mundial (NetWork, 2019). Em 2015, as vendas globais de produtos vegans atingiram os 2,22 mil milhões de US dólares, em 2019 esse valor atingiu cerca de 55 mil milhões de dólares, com perspectiva de alcançar mais de 60 mil milhões de US dólares em 2023 (Statista, 2020). Foi também estimado que em 2018 no Reino Unido, o mercado *Plant-Based* valia 443 milhões de libras e era estimado que em termos globais atingisse 5 mil milhões de US dólares em 2020 (Live, 2021).

Segundo a *Plant Based Food Association* (PBFA), as vendas destes alimentos cresceram 27% em 2020, o que fez com que ultrapassassem os 7 mil milhões de US dólares. Comparativamente aos produtos convencionais, os produtos *Plant-Based* têm apresentado um crescimento significativo nas suas vendas, em particular o setor dos análogos de carne que apresentou um crescimento de 45,3%, duas vezes superior aos produtos de carne convencionais, e o sector dos análogos de queijo que apresentaram um crescimento de 42,2% em 2020 (Association, 2021). Numa perspetiva futura é estimado que os análogos de queijo valham 4 mil milhões USD em 2024 (Fox, 2017). Também o sector das bebidas vegetais continua a crescer duas vezes mais rápido que o leite, sendo que em 2020 apresentou um crescimento de 20%, mais 5% que em 2019. A categoria dos *Creamers* cresceu em 33%, as margarinas vegetais 36%, mas a categoria dos ovos vegetais foi a mais reveladora no ano de 2020, explodindo com um crescimento de 168% (Association, 2021). Estes dados encontram-se compilados na Figura 2.1, que ilustra o crescimento das diferentes categorias de alimentos *Plant-Based* no ano de 2020.

CATEGORY	SALES		% GROWTH PAST YEAR
	2020	2019	
Milk	\$2.5B	\$2.1B	20.4%
Meat	\$1.4B	\$0.97B	45.3%
Frozen Meats	\$320M	\$220M	45.5%
Ice cream + frozen novelty	\$435M	\$325M	34.2%
Creamer	\$394M	\$296M	33.1%
Yogurt	\$343M	\$261M	31.4%
Protein powders	\$292M	\$270M	8.2%
Butter	\$275M	\$201M	36.8%
Cheese	\$270M	\$189M	42.3%
Tofu + tempeh	\$175M	\$126M	40.5%
Baked goods + cookies	\$152M	\$139M	9.4%
Ready-to-drink beverages	\$137M	\$123M	11.3%
Condiments, dressings and mayo	\$81M	\$72M	12.5%
Dairy spreads, dips, sour cream, and sauces	\$61M	\$54M	13.0%
Eggs	\$37M	\$22M	68.2%
<b>GRAND TOTAL</b>	<b>\$7B</b>	<b>\$5.5B</b>	<b>27.3%</b>

**Figura 4.1** – Crescimentos das diferentes categorias de alimentos *Plant-Based* no ano 2020 (Association, 2021).

A verdade é que nem a crise pandémica da COVID-19 parece ter afetado o contínuo crescimento deste mercado. Dados demonstram que nos EUA, mais do que nunca, os consumidores têm debruçado as suas escolhas alimentares por alimentos de base vegetal, na perspetiva de procurar produtos mais naturais e de produção biológica que possam ter uma ação fortalecedora da sua imunidade e da sua saúde. Como é visível na Figura 2.2, durante o pico pandémico em Março de 2020, os alimentos à base de plantas aumentaram em 90% as suas vendas face às do ano anterior (PBFA, 2020)..

Estes dados vem reforçar a ideia de que esta indústria tem de facto poder de permanência no mercado.



**Figura 2.2** – Comparação entre as vendas de produtos *Plant-Based* vs as vendas totais do retalho alimentar (PBFA, 2020).

Em suma, a evidência demonstra que uma dieta *Plant-Based* devidamente planeada e estruturada, terá múltiplos efeitos benéficos na saúde humana. Nesse seguimento, esta tendência alimentar tem apresentado um crescimento progressivo e parece estar a conquistar os consumidores. Estando certo os múltiplos impactos positivos da sua adoção, o conceito *Plant-Based* começa a ter espaço para a inovação na indústria alimentar e a ser uma potencial fonte de investimento e crescimento económico para as mesmas. Todavia, o mercado alimentar é competitivo e a disponibilidade durante todo o ano de alguns destes tipos de alimentos pode estar comprometida pela sua sazonalidade. A secagem pode ser uma forma de responder a estas questões, permitindo a sua oferta constante no mercado pelo aumento do seu tempo de vida. Acresce o facto das múltiplas vantagens comerciais/económicas que se obtêm com a venda de um produto seco, pois para além de ser mais estável, é mais leve o que

em termos de transporte se pode traduzir em inúmeros benefícios. Este tema será abordado nos pontos seguintes.

### 2.3 Secagem de alimentos

A secagem de alimentos é uma operação unitária que consiste num tratamento térmico que visa a remoção de substância voláteis, normalmente a água, por ação do calor. Desta forma, este método garante a estabilidade microbiológica dos produtos e simultaneamente permite obter alimentos com menor peso/volume, reduzindo consequentemente o custo de transporte e armazenamento dos mesmos (Keey, 2013). A secagem é um método usado desde o início das civilizações, constatando-se que a sua história remonta a 20.000 AC. As metodologias empregues eram de índole natural, a secagem dos alimentos decorria do uso do sol e do vento e mais tarde do fogo. Desta forma o Homem conseguia preservar os alimentos e com eles suprir as suas necessidades diárias (Hayashi, 1989). Embora estes métodos naturais ainda seja utilizados na atualidade em zonas que o clima proporcione este tipo de abordagem, não é uma metodologia muito viável pela incerteza climática associada e pelo tempo que exige. Rapidamente o Homem encontrou alternativas mecânicas de secagem que vieram substituir o sol e o fogo, como é o caso do surgimento dos fornos de secagem (Keey, 2013). Foi no início do século XX que começaram a surgir inovações neste âmbito, com especial avanço no final da Segunda Guerra Mundial. Os métodos iniciais como *Trucked-tray drying*, *Drum drying* e *Transfer ventilation drying*, foram rapidamente substituídos por outras técnicas melhoradas, em particular no que concerne à desnaturação causada pela temperatura. Nesse seguimento, estes métodos foram substituídos por técnicas como *Spray drying*, *Flash drying*, *Fluidized drying*, *Vacuum drying* e *Freeze drying* (Hayashi, 1989).

Estas graduais evoluções ao longo dos anos, começaram a ser adotadas e exploradas pela indústria alimentar (Keey, 2013). Atualmente, é difícil encontrar uma indústria que não recorra a métodos de secagem nos seus procedimentos. Contudo, continuam a ser vigentes os esforços que visam desenvolver métodos inovadores que protejam o ambiente, que reduzam as exigências energéticas e que comprometam minimamente a qualidade do produto final (Mujumdar, 2004; Mujumdar, 2007; Musielak *et al.*, 2016).

Os desenvolvimentos alcançados nas técnicas de secagem têm possibilitado o lançamento para o mercado de uma ampla gama de produtos desidratados, como é o

caso das frutas e vegetais que permitem tornar o mercado mais competitivo e simultaneamente atender às necessidades do consumidor. Numa fase inicial, a procura por alimentos desidratados passava sobretudo pela sua conveniência e aparentemente os motores dessa procura continuam a prender-se com essa mesma questão. Hoje consegue obter-se alimentos desidratados igualmente nutritivos, sem alterações no paladar, de baixo peso, fáceis de preparar e armazenar. A energia necessária para efetuar a secagem pode ser inferior à necessária para congelar, no que diz respeito ao espaço de armazenamento este é bastante inferior quando comparado com o necessário para os produtos enlatados ou congelados por exemplo (Ahmed *et al.*, 2013; Hayashi, 1989; Mayor & Sereno, 2004; Mujumdar *et al.*, 2010).

Ainda assim, a secagem não está ilesa de comprometer a qualidade do produto final. A escolha do método ajustado ao produto em causa pode ser um fator decisivo no sucesso. Hoje são quase infinitas as opções de métodos de secagem existentes, fruto dos inúmeros esforços para inovar ou colmatar falhas nos métodos já existentes.

### 2.3.1 Métodos de Secagem

De uma forma bastante generalista, os métodos de secagem podem ser subdivididos em formas naturais e artificiais. As técnicas naturais subentendem o uso de radiação solar para aumentar o potencial de secagem do ar. A matéria-prima é exposta por longos períodos à radiação solar, a temperaturas relativamente altas, ventos com intensidade moderada e baixa humidade relativa. A secagem natural, ainda é um método amplamente utilizado nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento e pode ser aplicada em regiões com temperaturas entre os 35 e os 40°C, com boa taxa de radiação solar, baixa humidade relativa do ar e baixo índice de poluição (e Silva, 1995). O uso deste tipo de técnica pode resultar de um desconhecimento das técnicas mais modernas ou do baixo custo do processo, pois em geral são necessários apenas tabuleiros para colocação do material e redes protetoras de insetos. Contudo, esta vertente apresenta algumas condicionantes que passam pelo facto de ser um processo mais lento, estar dependente das condições climáticas e apresentar maior risco de contaminação (Cornejo *et al.*, 2003). Para além destas questões, os alimentos secos ao sol poderão apresentar cores mais intensas e perdas nutricionais superiores comparativamente ao secos em condições controladas (Gava *et al.*, 2009). Já a secagem artificial é um processo de remoção da humidade mas que implica o uso de equipamentos de secagem, nomeadamente os secadores. Este método baseia-se na passagem forçada de ar, sendo

que o período de tempo depende das características finais desejadas. Neste contexto, a não dependência das condições climáticas favorece a obtenção de um produto de qualidade superior e uma redução do tempo de processamento. A sua maior desvantagem é o custo superior comparativamente ao processo natural e a dependência de uma mão-de-obra especializada (Cornejo et al., 2003).

Contudo, é sobre a secagem artificial que os esforços de inovação da comunidade científica se debruçam. O intuito é encontrar métodos que permitam obter produtos com maior qualidade, com máxima taxa de secagem, com menor custo possível, que provoquem mínimas alterações no alimento e que o façam no menor tempo de processamento (Jin et al., 2018).

Hoje existem múltiplos métodos e escolher o secador mais ajustado não é um processo fácil pois as tecnologias são diversas e complexas. Existem mais de 400 tipos de secadores citados na literatura científica, mas apenas 50 são regularmente encontrados na prática. De facto, o processo de escolha do secador mais ajustado apresenta-se um verdadeiro desafio. Sabe-se que este processo de decisão é um problema enfrentado pela maioria das empresas, mais de 90% das empresas cometem erros no processo de seleção (Slangen, 2000). Todavia, é de notar que não existe um secador ideal ou padrão pois vai variar de acordo com as características do alimento em causa, o volume a ser processado, a qualidade que se visa obter no produto final e dos fatores económicos (MELONI, 2003).

Desta forma, existem abordagens disponíveis que visam orientar o processo de seleção, como é o caso da proposta por *Baker* (1997) que sugere os seguintes passos (Mujumdar, Equipment & New Developments. Brossard, 2000):

- Realizar uma seleção preliminar;
- Realizar testes em escala incluindo de qualidade;
- Fazer uma avaliação económica das alternativas;
- Realizar testes em escala piloto, e
- Selecionar o secador mais adequado.

No que se refere à classificação do tipo de secador, existem vários esquemas propostos, a Tabela 2.1 lista os critérios e tipos de secadores mais frequentemente utilizados (Mujumdar, Equipment & New Developments. Brossard, 2000):

**Tabela 2.1-** Classificação do Tipo de Secadores.

Critérios	Tipos
Modo de operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Batch</i></li> <li>• Contínuo*</li> </ul>
Tipo de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intermitente ou contínuo*</li> <li>• Radiação; Condução; Convecção*; Campos eletromagnéticos; Combinação de diferentes tipos</li> </ul>
Estado do material no secador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estacionário</li> <li>• Em movimento</li> </ul>
Pressão de operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atmosférica</li> <li>• Vácuo*</li> </ul>
Meio de secagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ar*</li> <li>• Vapor</li> <li>• Gases de combustão</li> </ul>
Temperatura de secagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abaixo da temperatura de ebulição*</li> <li>• Acima da temperatura de ebulição</li> <li>• Abaixo do ponto de congelamento</li> </ul>
Número de fases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Fase*</li> <li>• Múltiplas fases</li> </ul>
Tempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curto (menos de 1 minuto)</li> <li>• Médio (menos de 60 minutos)</li> <li>• Longo (mais de 60 minutos)</li> </ul>

\*Práticas mais frequentemente usadas.

A anterior classificação é bastante generalista, mas o importante a retirar é que existe uma variedade ampla de secadores e estar ciente que todos possuem vantagens e limitações associadas. Existem modelos que se sabe que são inerentemente caros como o caso da liofilização, embora seja o método que menos compromete a qualidade dos alimentos e outros igualmente caros, mas que são mais eficientes, como é o caso dos secadores indiretos ou condutores. O modo de operação contínuo terá a vantagem de exigir menos mão-de-obra, energia, espaço e permitirá a obtenção de um produto final mais uniforme comparativamente ao modo *Batch*. No entanto, o modo *Batch* é mais barato de construir, tem menos custos de manutenção, mais versátil no seu uso e mais fácil de manusear. Relativamente ao tipo de calor, a maioria dos secadores incorpora aquecimento por convecção pois as condições de secagem podem ser facilmente controladas pela temperatura e pela humidade do ar quente que evapora. Todavia, este tipo de secador pode ser termicamente ineficiente (Keey, 2013). No que diz respeito ao

tipo de pressão aplicada, atmosférica ou vácuo, este último sujeita os alimentos a uma baixa pressão e simultaneamente a uma fonte de aquecimento. O vácuo permite que a água vaporize a uma temperatura mais baixa comparativamente às condições atmosféricas. Simultaneamente, o vácuo apresenta menores quantidades de oxigénio na atmosfera envolvente o que contribui para uma redução das reações de oxidação, possibilitando ao alimento uma cor, textura e sabor superior.

Conforme referido anteriormente, apesar de ser uma operação unitária economicamente mais custosa, a liofilização faz parte de um dos métodos mais utilizados na indústria alimentar para a secagem de alimentos, sendo considerado o método de eleição para alimentos *Plant-Based*, pela qualidade obtida no produto final (Bhatta *et al.*, 2020b; Piskov *et al.*, 2020). Segundo a literatura científica é mesmo considerado o método que permite obter produtos alimentares com qualidade superior comparativamente aos restantes (Duan *et al.*, 2016). Nesse sentido, é sobre esta técnica de secagem que o presente trabalho se debruçará.

### 2.3.2 Alterações na qualidade dos alimentos

A qualidade final do produto desidratado depende não apenas do processo de secagem, mas também da qualidade das matérias-primas, dos processos de pré-tratamento e das condições de armazenamento do produto final (Lozano *et al.*, 2000). O método de secagem, bem como as mudanças físico-químicas que ocorrem durante o mesmo parecem afetar as características de qualidade do produto final, em particular a cor, textura, densidade e porosidade. Nesse seguimento, um produto final proveniente da mesma matéria-prima pode resultar em dois produtos distintos consoante o método de secagem que lhe foi aplicado. O termo “qualidade” neste contexto abrange uma série de parâmetros do material seco, durante e após o processo de secagem. Estas características são importantes quer na caracterização do produto final e norteadoras no desenvolvimento de novos produtos industriais, ou melhoria da qualidade dos já existentes. Cada método de secagem apresenta parâmetros característicos que podem ser manipulados, alterando consequentemente a taxa de secagem e o mecanismo de transporte da humidade, sendo que estes dois parâmetros estão relacionados com a qualidade do produto (Devahastin *et al.*, 2010).

De uma forma geral as características relacionadas com a qualidade podem ser agrupadas em físicas e estruturais, químicas e organoléticas e nutricionais conforme detalhado na Tabela 2.2 (Lozano et al., 2000):

**Tabela 2.2** - Alterações na qualidade de alimentos secos (adaptado de Lozano et al., 2000).

<b>Tipo</b>	<b>Fator</b>	<b>Efeito na qualidade</b>
Físicas e estruturais	Encolhimento	Volume, textura, capacidade de reidratação
	Danos da estrutura celular	Textura, capacidade de reidratação, perda de solutos
	Retenção volátil	Perda de aroma
Químicas e organoléticas	Reações de escurecimento	Escurecimento, desenvolvimento de sabores estranhos
	Oxidação lipídica	Ranço, desenvolvimento de sabores estranhos
	Degradação de pigmentos	Perda de cor
	Inativação enzimática	Sabor, perda de intensidade
Nutricionais	Desnaturação proteica	Perda de valor biológico
	Perda de vitaminas	Perda de valor utricional

A aceitabilidade de um produto seco depende principalmente das suas propriedades estruturais, uma vez que a textura é um dos atributos usados na avaliação da qualidade. O encolhimento, perda de componentes voláteis de aroma e alterações no sistema celular são as mudanças físicas e estruturais mais importantes no processo de secagem. Uma redução de volume 75%-85% é atingida ao secar frutas e vegetais, originando algumas mudanças estruturais nos frutos, resultando numa rede mais rígida nos tecidos celulares e favorecendo o desenvolvimento da porosidade. Desta forma é fundamental controlar a porosidade para obter produtos de diferentes estruturas físicas com diversas aplicações, consoante o que for pretendido. No caso dos vegetais a textura vai depender do conteúdo de celulose, pectina e hemicelulose na parede celular. O encolhimento do alimento é um acontecimento bastante comum, pois a última parte a ser seca é o centro. Assim, quando este seca ocorre o seu encolhimento, levando à formação de fendas e estruturas que levam a alterações indesejáveis na sua textura (Krokida et al., 2000).

Também as propriedades organoléticas são afetadas durante a secagem, em particular a cor e o sabor. No que concerne à cor do material, esta propriedade pode sofrer alterações devido à evaporação da água, mas também fruto de reações como o escurecimento enzimático e não enzimático durante o processamento e armazenamento. O escurecimento enzimático é devido ao efeito das enzimas que catalisam a hidroxilação e oxidação de composto fenólicos. O escurecimento não enzimático resulta de reações de *Maillard* que resultam em pigmentos acastanhados (Lozano et al., 2000). A intensidade dessas alterações irá depender da temperatura, da atividade da água, do pH e concentração de sólidos nos alimentos. Este tipo de reações pode ser indesejado em produtos finais assim, a regulação da cor é essencial. Isso pode passar pela realização de secagens intermitentes, desvio de faixas de temperatura específicas ou uso de agente de proteção de cor. Por exemplo, o escurecimento de frutas e vegetais durante a secagem deve-se a reações de escurecimento enzimáticas e não enzimáticas. As polifenoloxidasas constituem as enzimas responsáveis pelo escurecimento de vegetais. Nestes, tratamentos químicos e térmicos são usados para controlar o escurecimento enzimático por inativação enzimática. No que diz respeito ao pH ótimo de atuação das polifenoloxidasas é entre 6-7, nesse seguimento a redução do pH para 4 através por exemplo de ácido cítrico pode inativar as enzimas. Também compostos de enxofre são usados para evitar o escurecimento de alimentos, porém devem ser usados em concentrações reduzidas para não resultar em alterações de sabor nem constituírem potencial tóxico para o consumo humano. A redução da concentração de oxigénio na atmosfera que está em contacto com o alimento pode resultar no escurecimento enzimático. Nesse seguimento, embalagens a vácuo são utilizadas para retardar esta alteração (Krokida et al., 2000).

O desenvolvimento de sabores estranhos e ranço são fruto da oxidação lipídica todavia, esta é difícil de modelar devido à sua complexidade. A secagem altera também pigmentos como a clorofila e carotenoides uma vez que são suscetíveis a alterações químicas resultantes do calor (quanto mais alta a temperatura maior a perda destes pigmentos). Os carotenóides sofrem oxidação pela temperatura, mas também pela elevada presença de oxigénio pois são suscetíveis a reações oxidativas. A clorofila fruto da atuação enzimática pode ser convertida em feofitina, esta alteração pode ser evitada com um pH básico através da imersão do vegetal numa solução em bicarbonato. Vários estudos indicam que as alterações de sabor e cor ocorrem maioritariamente durante o armazenamento do que durante o processo de secagem (Tsotsas & Mujumdar, 2011).

No que diz respeito às alterações nutricionais, estas devem-se essencialmente ao efeito da temperatura nas vitaminas e proteínas. A estabilidade e taxa de degradação das vitaminas como o ácido ascórbico, tiamina e riboflavina dependem da temperatura, teor de água e pH. A vitamina C, pode considerar-se a mais sensível de todas as vitaminas. Além da sua destruição provocada pela oxidação lipídica, as suas perdas podem resultar das altas temperaturas utilizadas (Santos & Silva, 2008).

## 2.4 Liofilização

A liofilização é um dos métodos de secagem mais sofisticados, a sua aplicação é transversal à indústria alimentar, mas também à indústria farmacêutica, por ser uma metodologia recomendada para tratar produtos sensíveis à temperatura, como é o caso dos vírus ou das proteínas, mas também para preservar as propriedades organolépticas dos alimentos. Tais ações são possíveis uma vez que este método opera sob baixas temperaturas e alto vácuo (Bhatta *et al.*, 2020a; Rey, 2016).

A liofilização consiste numa técnica bem conhecida para obtenção de alimentos em pó de alta qualidade, devido à retenção máxima das propriedades dos alimentos, quando comparada a outras técnicas de secagem. As suas principais vantagens são (Bhatta *et al.*, 2020b; FDA, 2014; Karam *et al.*, 2016; Sagar *et al.*, 2010):

- Permitir a remoção de água sem sujeitar o produto a um aquecimento excessivo;
- Produzir um produto seco estável;
- Apresentar facilidade de processamento de um líquido;
- Produzir produtos fáceis de reidratar/reconstituir, e
- Originar produtos com menor volume e peso logo com menor custo de transporte e armazenamento.

Todavia, é um processo lento que exige mais tempo de processamento e manuseamento, apresenta um custo elevado de equipamentos, tem associado custos energéticos elevados e os produtos devem ser devidamente embalados para não haver risco de reidratação. Também devido à sua longa duração, o colapso do produto pode ocorrer, resultando por vezes na perda de aroma e num produto com baixa capacidade de reidratação (do Vale Morais *et al.*, 2016; Maisnam *et al.*, 2017).

A sua aplicação deve assim ser limitada a alimentos de alto valor pelos custos de investimento, operação e manutenção que acarreta face aos demais métodos. De uma

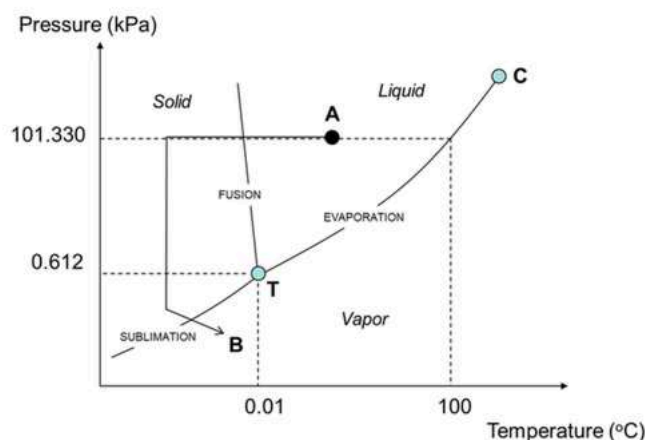
forma geral, as principais aplicações da liofilização na indústria alimentar são a alimentos como o café, o chá, a carne, frutas e vegetais e alimentação para animais (Anandharamakrishnan, 2017). Na indústria dos laticínios a liofilização é usada para preservar culturas e encapsulação de probióticos para uso como ingredientes funcionais. Também é frequentemente a liofilização de leite, queijo, iogurtes e gelados. A sua principal vantagem é operar a baixas temperaturas o que torna este método ideal para materiais termicamente sensíveis. Por exemplo a vitamina C, uma vitamina termolábil, pode ser retida no leite desidratado por liofilização mas o mesmo não se verifica no leite seco por *Spray Dryer*. Também a desnaturação proteica e as reações de *Maillard* podem ser evitadas na operação da liofilização. Os aromas e outros compostos voláteis são mais eficazmente retidos nos produtos através da liofilização comparativamente ao *Spray Dryer* ou *Drum Dryer* (Duan *et al.*, 2016). Acresce o facto dos produtos liofilizados apresentarem uma estrutura porosa o que lhes confere propriedades de solubilidade/reconstituição e paralelamente apresentam uma estrutura rígida com reduzido encolhimento, o que os torna estáveis em prateleira (Anandharamakrishnan, 2017).

#### 2.4.1 O Princípio

O princípio patente na liofilização é a sublimação, em que a água passa diretamente do estado sólido (gelo) para o estado gasoso. O produto a ser seco é primeiro congelado a muito baixas temperaturas ( $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e então submetido a alto vácuo e a calor (por condução ou radiação ou por ambos) de modo que o líquido congelado sublima deixando apenas os componentes sólidos e secos do líquido original. O gradiente de concentração de vapor de água entre a frente de secagem e o condensador é a força motriz para a remoção da água durante a liofilização. Este método é realizado abaixo do ponto triplo para permitir a conversão do gelo em vapor, sem entrar na fase líquida, consequentemente, o facto de ser realizado em condições de baixa temperatura e pressão torna-se recomendado para ser aplicado a compostos termolábeis (Nireesha *et al.*, 2013).

A Figura 2.3 esquematiza o fenómeno que ocorre na liofilização em que a água existe em três estados físicos distintos: sólido, líquido e gasoso. As três fases coexistem no ponto triplo da água, ponto T, que ocorre a  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a  $0,612\text{ Kpa}$ , o ponto C, ponto Crítico da água ocorre a  $374\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a  $22060\text{ Kpa}$ . Durante a liofilização, no processo de mudança de fase da água, se a pressão dentro da câmara de liofilização for mantida

abaixo do ponto triplo da água, o gelo do produto pode sublimar, isto é, a uma temperatura abaixo de  $0,01^{\circ}\text{C}$  e a pressões abaixo dos  $0,612\text{kPa}$  (Bhatta *et al.*, 2020b).



**Figura 2.3** – Diagrama de fases da água (T: Ponto triplo da água, C: Ponto crítico da água). A” representa o ponto inicial antes da liofilização (pressão e temperatura ambiente), “B” as condições desejadas durante a sublimação (abaixo do ponto triplo T) (Bhatta *et al.*, 2020b).

#### 2.4.2 O processo

A liofilização decorre em três etapas:

1. Congelamento
2. Secagem primária/sublimação
3. Secagem secundária/Dessorção

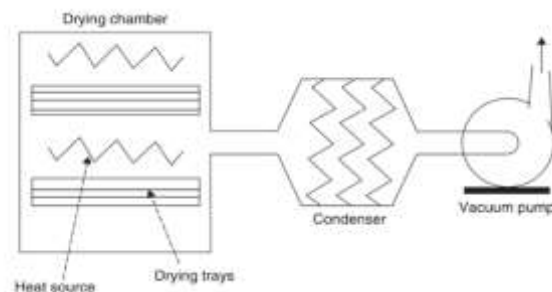
A congelação é a primeira etapa do processo de liofilização e converte 65-90% do teor da humidade do produto em gelo (Anandharamkrishnan, 2017). Esta etapa é de extrema importância pois decorre aqui a primeira modificação no produto e o seu decorrer dita o sucesso das fases que se seguem, quer no tempo necessário para secar o produto quer a qualidade final do mesmo. Nesta fase, o produto é congelado com recurso a baixas temperaturas ( $-23$  a  $-40^{\circ}\text{C}$ ) originando uma matriz sólida na qual se formam cristais de gelo (Rey, 2016). A velocidade da congelação influencia o tamanho dos cristais de gelo, verificando-se que congelações mais lentas traduzem-se na formação de cristais de gelo maiores. Consequentemente, cristais de gelo de maior dimensão parecem ser mais fáceis de sublimar otimizando desta forma a taxa da secagem primária (Ratti, 2013). O tamanho e a estrutura dos cristais de gelo formando durante a fase de congelação refletem o tamanho e a estrutura dos poros formados no produto liofilizado (Wei *et al.*, 2012). Em escala industrial esta etapa é realizada essencialmente no

liofilizador, contudo a nível laboratorial os alimentos são regularmente congelados no congelador (D. Dziki *et al.*, 2018).

A fase que se segue é a secagem primária em que o controle da temperatura do produto é fulcral para garantir o sucesso da secagem do mesmo, sendo que esta é controlada indiretamente através da temperatura da prateleira e da pressão da câmara de liofilização. Durante esta fase, a pressão da câmara é reduzida, o vácuo é aplicado (pressões de vapor de água abaixo de 0,612 kPa) a um ponto que decorre a sublimação do gelo, simultaneamente decorre um aumento gradual da temperatura da prateleira ocorrendo transferência de calor desta para o produto (Anandharamakrishnan, 2017). O processo de secagem vai depender do calor necessário para sublimar, da velocidade de transferência e da remoção do vapor. O calor necessário para a sublimação é fornecido por convecção, condução e, em menor grau, por radiação térmica. Embora o vapor de água flua do interior do produto para o exterior, a transferência de calor deve ir na direção oposta. No final desta fase é expectável uma humidade de 30% resultante de uma pressão entre  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  atmosferas e uma temperatura do produto de  $-45$  a  $-20$  °C (Nireesha *et al.*, 2013). Na secagem secundária o teor de humidade residual deve ser reduzido tanto quanto possível. Enquanto o principal objetivo da secagem primária, é sublimar o solvente da matriz, a secagem secundária tem como principal função a redução do teor de humidade residual contida no produto, para níveis que não suportarão mais reações químicas ou desenvolvimento biológico (Jennings, 1999). Esta fase inicia-se quando ainda esta a decorrer a sublimação e pode ocorrer a uma temperatura mais elevada para remover a água remanescente da secagem primária, isto é, aquela que adere por adsorção na superfície interna do produto (Patel *et al.*, 2010). Por oposição à secagem primária que usa baixa temperatura e vácuo moderado, a secagem secundária é facilitada pelo aumento da temperatura e redução da pressão da câmara. Todavia, esse aumento de temperatura deve ser moderado para não haver risco de causar a degradação proteica. No que diz respeito à duração desta etapa estima-se que seja aproximadamente um terço ou metade do tempo necessário para a secagem primária (Nireesha *et al.*, 2013). Por último, as placas do condensador de baixa temperatura removem o solvente vaporizado da câmara de vácuo, convertendo-o novamente em um sólido (gelo) (Pikal *et al.*, 1984). Mesmo que menos água seja removida durante a secagem secundária, o tempo necessário é de 30-50% inferior ao necessário para a secagem primária. O processo é dado por terminado quando a maioria da água do produto foi então removida e este tem uma água residual de 1 a 3% (Karel & technology, 1975).

### 2.4.3 O Equipamento

Um liofilizador *standard* é composto por uma câmara de secagem, por um condensador, por uma bomba de vácuo e por uma fonte de calor.



**Figura 2.4-** Componentes gerais de um liofilizador (Berk, 2008).

A etapa de congelação pode ocorrer diretamente na prateleira, num congelador fora do equipamento ou através de nitrogénio líquido. Esta etapa dita a duração das etapas seguintes, assim como tem uma influência na microestrutura do produto (Evans, 2009). A câmara de secagem deve ser hermética e apresentar prateleiras de temperatura controlada. Consoante o tipo de liofilizador, o tipo de prateleira e a fonte de calor podem ser diferentes. O calor pode ser fornecido por condução ou por radiação sendo este calor latente que irá permitir a sublimação na secagem primária (Anandharamkrishnan, 2017). Já o condensador tem a função de reter o solvente, normalmente a água, durante a secagem, sendo que a sua maioria opera a temperaturas entre os  $-55$  a  $-105^{\circ}\text{C}$  (Nireesha *et al.*, 2013). Em liofilizadores industriais o condensador pode ser colocado dentro ou fora da câmara de secagem contudo, a distância deve ser minimizada a fim de reduzir a pressão parcial na câmara de secagem (Anandharamkrishnan, 2017). A bomba de vácuo tem como função remover os gases não condensáveis da câmara de secagem e desta forma permitir que sejam atingidas condições de alto vácuo (Mellor, 1978).

### 2.4.4 Alterações nas propriedades dos alimentos

A liofilização é amplamente utilizada para se obter produtos alimentares de elevado valor, e é considerada o melhor método para secar alimentos *Plant-Based* (do Vale Morais *et al.*, 2016). Estes alimentos derivam de frutas, grãos, sementes, legumes. Quando sujeitos a liofilização podem dividir-se em alimentos sólidos e soluções/suspensões homogêneas, como sumos, purés ou bases vegetais. No caso de alimentos sólidos estes possuem características internas (estrutura e composição) que

podem representar verdadeiros desafios, mas também podem ser fatores facilitadores da liofilização. As suas propriedades mecânicas e a sua resistência estrutural podem desempenhar um papel essencial na manutenção da integridade do produto, evitando o colapso durante a secagem primária/secundária e durante o armazenamento. Na liofilização das soluções líquidas a composição da amostra pode afetar a operação de liofilização pela sua composição e também pela concentração total de sólidos (Bhatta *et al.*, 2020b). No que diz respeito às alterações nas propriedades do alimento sabe-se também que, de um modo geral, a perda de compostos nutricionais é superior em matrizes com maior atividade de água devido à sua menor viscosidade, o que permite uma maior mobilidade de compostos e conseqüentemente um aumento de reações químicas (Harguindeguy & Fissore, 2020) .

Durante a fase de congelamento, estudos têm vindo a verificar que existe uma perda de compostos voláteis, contudo após a fase de congelação essa perda é expectável que diminuía. Também durante o congelamento outras propriedades ficam comprometidas, como é o caso da perda de Vitamina C e dos compostos fenólicos. Estudos realizados nas últimas duas décadas demonstraram perdas significativas de vitamina C (3%-70%) e de compostos fenólicos mas também de carotenoides e de vitamina E (Marques *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2019). Quando a liofilização é feita sob vácuo, as reações de degradação dependentes de oxigénio são limitadas uma vez que este não existe no meio, esta questão é vantajosa até porque as vias de degradação anaeróbica da vitamina C têm taxas mais lentas do que em meios aeróbicos (Harguindeguy & Fissore, 2020; Sheraz *et al.*, 2015).

Nesse seguimento, embora seja um excelente método de conservação para este tipo de alimentos de base vegetal, a liofilização pode comprometer o seu conteúdo fitoquímico. Ainda assim, quando comparada com outras técnicas de secagem, a liofilização continua a ser, de uma forma geral, uma tecnologia de secagem superior (Asami *et al.*, 2003; do Vale Morais *et al.*, 2016). No que diz respeito à preservação de  $\beta$ -caroteno, licopeno, gorduras saturadas e outros compostos oxidáveis, parece que a liofilização e o posterior armazenamento são merecedores de atenção pois a baixa atividade de água muito baixa promove a ocorrência de reações oxidativas (do Vale Morais *et al.*, 2016).

#### 2.4.5 Pré-tratamentos

A integridade macroscópica do produto liofilizado é fulcral, este não deve apresentar retração ou colapso. A sua reidratação deve ser feita lentamente devido ao seu estado seco pois a adição rápida de água pode mesmo romper com a estrutura porosa, levando a um colapso da matriz e comprometendo consequentemente a qualidade do produto (Schaffazick *et al.*, 2003). Para minimizar os efeitos da liofilização, potenciar a qualidade dos produtos e minimizar custos, são muitas vezes implementados pré-tratamentos que visam essencialmente promover o transporte de água durante a secagem (Feng *et al.*, 2020). No caso dos alimentos sólidos os pré-tratamentos envolvem o aumento da área da superfície de alimento através do corte ou da trituração. No caso de produtos líquidos, os pré-tratamentos podem passar pela concentração do produto para reduzir o tempo da liofilização e melhorar a densidade aparente do produto final, ou pela adição de agentes estabilizantes (Anandharamakrishnan, 2017).

Um exemplo de um pré-tratamentos mais antigos aplicado é a redução do tamanho dos alimentos através do corte/trituração. Esta ação mecânica permitirá aumentar a área de superfície de secagem do material e consequentemente acelerar a taxa de secagem (Rudy *et al.*, 2015; Venkatachalapathy & Raghavan, 2000). Também o branqueamento é um método aplicado, principalmente em frutas e vegetais. O principal objetivo passa por inativar as enzimas, mas permite simultaneamente remover resíduos de pesticidas e substancias toxicas presentes nos alimentos (Bonnechère *et al.*, 2012).

A desidratação osmótica (DO) refere-se ao processo de remoção de água aumentando o teor de solutos nos alimentos. O principal objetivo da DO é melhorar a qualidade nutricional e sensorial do produto. Consoante o tipo de produto são usados diferentes agentes osmóticos (por exemplo maltodextrina, maltose, frutose, sacarose, etc.) (Dziki, 2020; Khan, 2012). É expectável que após a DO a atividade da água do produto seja reduzida para cerca de 0,9, sendo que a de uma alimento seco deve ser inferior a 0,6 (de Bruijn *et al.*, 2016).

O método do campo elétrico pulsado (PEF) é usado na permeabilização das células das membranas através de pulsos elétricos, num curto espaço de tempo. Enquanto pré-tratamento, parece melhorar a qualidade final do produto liofilizado, permite simultaneamente reduzir o tempo de secagem e ainda aumentar a capacidade de

reidratação do produto final (Barba *et al.*, 2015; Rybak *et al.*, 2020; Yamada *et al.*, 2020).

A tecnologia ultrassons (US) é usualmente aplicada para aumentar a taxa de secagem. O seu efeito é principalmente mecânico e não térmico, esta aplica tensões na superfície que desencadeia a formação de microcanais que favorecem a perda de água do alimento (Dziki, 2020; Kowalski *et al.*, 2017). Todavia o US pode ser usado de forma isolada como um método de secagem, especialmente no caso de alimentos crus e sensíveis ao calor (De la Fuente-Blanco *et al.*, 2006).

Estando explicitas as múltiplas vantagens dos pré-tratamentos anteriormente descritos é importantes ajustá-los às matérias-primas em causa e estar ciente de que alguns deles, US e o PEF por exemplo, são processos caros (Dziki, 2020).

#### 2.4.6 O Mercado de alimentos liofilizados

O mercado dos alimentos Liofilizados parece mesmo estar a conquistar os consumidores. Segundo o relatório "Freeze Dried Food Market- Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025)" é expectável que o mercado global de alimentos liofilizados tenha uma Taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR) de 9,98% entre 2020 e 2025. Apesar do crescimento ser global, é atribuído especial destaque para o interesse da Europa e da América do Norte (GlobeNewswire, 2020). Esta procura advém de um estilo de vida mais agitado e mais ocupado dos consumidores que os leva a procurar alimentos prontos a comer. Os alimentos liofilizados são soluções fáceis de preparar e também de armazenar, a vida útil é prolongada e os consumidores não encontram comprometimento organolético nos produtos. Alimentos como cereais, bebidas, produtos de pastelaria, snacks de fruta e vegetais, refeições prontas a comer, parecem ser os mais procurados no mercado dos liofilizados (Intelligence, 2021).

Têm sido ressaltados nichos de negócio que veem na liofilização uma oportunidade de crescimento, como é o caso das rações para animais que possibilita ao consumidor comprar grandes quantidades sem se preocupar com o tempo de armazenamento. Também o maior interesse do consumidor pela saúde e bem estar, a pratica de exercício físico associada, bem como atividades ao ar livre , “abrem portas” para o aumento da venda de alimentos liofilizados (GlobeNewswire, 2020). Algo que também veio destacar e contribuir para o mercado dos produtos liofilizados foi a pandemia COVID-19. Durante o pico pandémico, a preocupação do consumidor com os abastecimentos dos domicílios, em paralelo com o bloqueio das cadeias alimentares,

fez com que os consumidores procurassem produtos com longos tempos de vida útil. Consequentemente, esta procura contribuiu para um crescimento repentino, em particular, durante esses meses dos alimentos liofilizados (Intelligence, 2021).

O mercado dos Liofilizados é um mercado competitivo e tem como principais *players*: Nestlé SA, European Freeze Dry, Ajinomoto Co. Inc., Asahi Group Holdings Ltd e Harmony House Foods Inc. A European Freeze Dry, por exemplo, está a vocacionar-se no desenvolvimento de refeições pré-cozinhadas liofilizadas para desportista/caminheiros, como estratégia de crescimento, lançando em 2017 a sua marca de refeições “Summit To Eat”. Esta postura proactiva ajuda-a a manter-se na linha da frente comparativamente aos restantes *players* (GlobeNewswire, 2020).



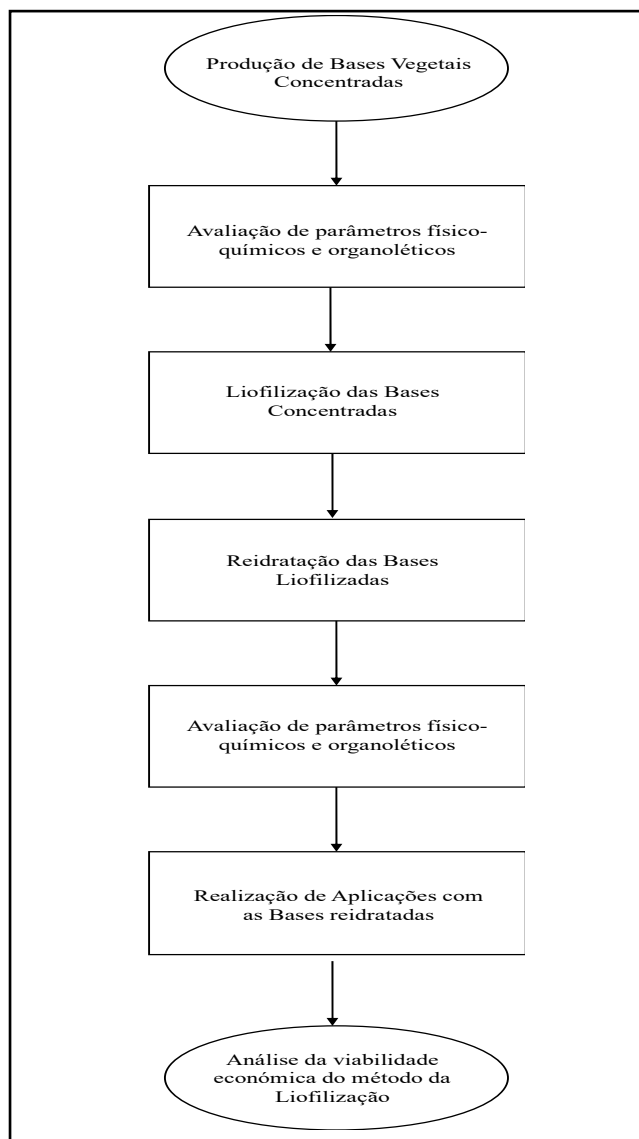
**Figura 2.5-** Resumo do mercado dos alimentos Liofilizados durante o período de estudo 2016-2026 (Intelligence, 2021).

Neste enquadramento de estado da arte, o objetivo principal do trabalho de investigação aqui apresentado é estudar o impacto da liofilização nas características físico-químicas e propriedades organoléticas de diferentes Bases Vegetais Concentradas e estabelecer uma análise comparativa entre as mesmas. É sobre este que os próximos capítulos se debruçarão.

## Capítulo 3 - Materiais e métodos

### 3.1 Desenho do estudo

Tendo por base o objetivo geral anteriormente mencionado a estruturação da presente investigação foi feita em sete momentos distintos de acordo com o fluxograma representado na Figura 3.1.



**Figura 3.1-** Fluxograma da estruturação do trabalho.

Numa primeira etapa foi estudado o efeito do tipo de cereal, do teor de açúcar e do local de produção na produção de bases vegetais. Assim, foram produzidas Bases Vegetais Concentradas provenientes de 3 cereais – Aveia (farelo e farinha), arroz e espelta, nas versões *Low Sugar* (baixo teor em açúcar) e *High Sugar* (elevado teor em açúcar). e em dois contextos distintos, Laboratório e Fábrica, respetivamente. Após

produção, procedeu-se à parametrização de todas as Bases a nível físico-químico e organolético, com o intuito de ter uma linha de base para fins comparativos. Seguidamente, todas as amostras foram submetidas ao método de secagem, por liofilização, e os pós resultantes foram armazenados por oito semanas em recipientes fechados à temperatura ambiente. A cada semana de armazenamento eram retiradas 3 amostras (3 réplicas de uma amostra) de cada base e estas eram reidratadas. Em paralelo, descongelavam-se 3 amostras testemunho, que tinham sido congeladas imediatamente após a confeção da Base, e denominadas de Base Mãe. As bases reidratadas e descongeladas eram analisadas e comparadas em termos físico-químicos e organoléticos, com o intuito de analisar se a Base liofilizada e reidratada se aproximava da Base Mãe descongelada. Esta análise comparativa ao longo de oito semanas, permitiu avaliar a ocorrência de algum tipo de deterioração ao longo do armazenamento da Base Liofilizada. Numa segunda etapa procedeu-se à realização de aplicações: bebida vegetal, tipo-iogurte e gelado vegetal. Estas foram concretizadas apenas com uma Base Concentrada, sendo que para cada aplicação foram desenvolvidos dois exemplares, um a partir da Base Liofilizada e outro com a Base Original. Após a execução procedeu-se à comparação físico-química e organolética, com o intuito de perceber se existem diferenças significativas da aplicação desenvolvida a partir de uma Base Liofilizada em comparação com a base original sem processamento adicional de secagem. Por último, a terceira etapa envolveu, com base na literatura, a realização de uma análise económica do processo para compreender a viabilidade do mesmo.

### 3.1.1 Produção de Bases Vegetais Concentradas

Para a presente investigação foram desenvolvidas Bases Vegetais provenientes de 3 cereais: Aveia (farinha e farelo), Arroz e Espelta. A sua produção decorreu em contexto laboratorial e industrial, sendo que o processo de produção é patenteado e confidencial. A nível industrial, a produção é da responsabilidade dos colaboradores da unidade sendo um processo bastante automatizado. É sobre a produção a nível laboratorial que a metodologia que se segue se debruça. A ingredientação das Bases Concentradas é transversal a todas as receitas, e esta consiste em água, cereal e enzimas, cujas quantidades oscilam de acordo com as características físico-químicas, organoléticas e nutricionais que se vise obter.

No que diz respeito à sua confeção (anexo I), o cereal foi adicionado à água quente e homogeneizado com auxílio de uma varinha mágica. A temperatura deveria

permitir a cozedura do cereal, sendo controlada durante todo o processo com recurso a um termómetro. Com a adição gradual do cereal à água quente ocorre a gelatinização dos amidos, que com a adição de enzimas a temperaturas ótimas de funcionamento, permite a liquefação deste, seguindo-se um processo de sacarificação (degradação dos amidos presentes em açúcares). Após o processo de cozedura estar completo, a base concentrada era submetida a uma centrifugação a 4000 rpm, à temperatura de 20°C ao longo de 10 minutos para que ocorresse a sedimentação dos componentes sólidos da base (Fig.3.2 A). Por fim, o sobrenadante era retirado e separado do *pellet*, sendo posteriormente homogeneizado com recurso a uma varinha mágica. Para terminar, a Base concentrada era submetida a um processo térmico de esterilização com o intuito de inativar enzimas utilizadas durante a sua execução e eliminar possíveis microrganismos patogénicos presentes. Nesse seguimento, o produto era colocado em garrafas de autoclave 2L, que posteriormente eram colocadas em autoclave (Fig.3.2 B) com um binómio de 115°C, com 20 minutos. Quando terminado, as Bases eram armazenadas no frio.



A



B

**Figura 3.2** – (A) Centrífuga utilizada nas instalações da OATVITA; (B) Autoclave utilizado nas instalações da OATVITA.

### 3.1.2 Avaliação das Bases Concentradas

A avaliação das Bases Concentradas residiu na sua análise físico-química e organoléticas das Bases Concentradas. Este procedimento foi concretizado em 2 momentos distintos do trabalho, após a produção das Bases Concentradas e aquando da reidratação das mesmas.

### 3.1.2.1 Avaliação Físico-Química

A nível físico-químico foram avaliados: (i) o pH com recurso a um potenciómetro (Fig.3.3 A), para especificar a acidez ou basicidade das amostras; (ii) o grau Brix, medido através de um refratómetro (Fig.3.3 B) com o intuito de determinar a quantidade de sólidos solúveis; (iii) o Teor de Sólidos Totais (TST) das amostras foi medido com recurso a uma Balança de determinação da % de humidade, por sua vez certificada por uma empresa externa (Fig.3.3 C); e (iv) o teor de glucose foi medido com recurso a um espectrofotómetro (Fig 3.8 D).



**Figura 3.3.** - Equipamentos usados para a determinação dos diferentes parâmetros físico-químicos– (A) Potenciómetro; (B) Refratómetro; (C) Balança de determinação % humidade; (D) Espectrofotómetro.

### 3.2.1.2 Avaliação Organolética

A avaliação organolética consistiu na análise dos seguintes atributos sensoriais, cor, odor, textura e paladar, sendo que para cada um foram inicialmente definidos descritores (Tabela 3.1). As provas foram realizadas internamente por elementos da equipa OATVITA, contudo apenas foi possível contar com 4 provadores por prova uma vez que se vivia num contexto pandémico provocado pelo vírus SARS-CoV-2 e o teletrabalho era de carácter obrigatório, obrigando a que apenas 50% da equipa estava presente nas instalações. Em cada prova os participantes escolhiam para cada atributo sensorial, os descritores mais ajustados dentro da lista disponibilizada. No final, uma vez que foi uma prova realizada com poucos provadores, não foi possível realizar nenhuma análise estatística dos resultados. O parâmetro cor foi analisado de duas formas distintas, nomeadamente em tijoleira branca (Figura 3.4 A) e com recurso a um Colorímetro (Figura 3.4 B), os valores obtidos no colorímetro  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (coordenada vermelho/verde),  $b^*$  (coordenada amarelo/azul) foram posteriormente

introduzidos no conversor *online* disponibilizado no site <http://colorizer.org/> que possibilitava a conversão de dados CIELab em RGB e HEX. O passo seguinte passava por colocar o código HEX obtido no site <http://www.color-hex.com/> e a partir daí era obtido o padrão de cor correspondente à amostra em análise.

**Tabela 3.1** – Lista de descritores definidos para análise sensorial das Bases Concentradas.

Sabor	Odor	Cor	Textura
Cereal	Cereal	Bege	Cremosa
Casca de noz	Inodoro	Dourado	Aguada
Doce	Frutado	Camel	Fibrosa
Adstringente		Castanho	Macia
Amargo		Marfim	Encorpada
Azedo		Caramelo	
Ranço		Café com leite	
Ácido		Branco	
Metálico			
Velho			
Frutado			
Cartão			
Fruto seco			
Torrado			



**A**



**B**

**Figura 3.4** - Métodos utilizados na avaliação da cor (A) Via tijoleira; (B) Via colorímetro.

### 3.1.3 Liofilização das Bases Concentradas

#### 3.1.3.1 Preparação das amostras

Antes de iniciar a liofilização as amostras foram submetidas a uma preparação prévia. Em primeiro lugar a Base Concentrada foi retirada da garrafa de autoclave e homogeneizada com recurso a uma varinha mágica. Seguidamente, foram pesadas 1000g de Base e essa quantidade foi distribuída por 20 copos de amostra, 50g cada. Posteriormente, os copos foram fechados com película aderente e colocados a congelar durante 48 horas, num congelador a  $-40^{\circ}\text{C}$ . Imediatamente antes de colocar os copos no liofilizador a película aderente era perfurada com a finalidade de facilitar a sublimação da água das amostras durante a liofilização

#### 3.1.3.2 Liofilização

Para a secagem das Bases Vegetais, utilizou-se um Liofilizador *Scan Vac Freeze Dryers da Labogene*, com capacidade de 9 Litros, pertencente ao laboratório da OATVITA (Figura 3.5A). A sua utilização seguiu as boas práticas de operacionalização desde a ligação da bomba de vácuo 20-30 minutos antes de iniciar o processo, a ativação do condensador até  $-45/-50^{\circ}\text{C}$ , a distribuição das amostras previamente congeladas pelas três prateleiras, a colocação do acrílico, o fecho das torneiras e válvulas e por fim a ativação do vácuo, dando então início ao processo. A água sublimada, na forma de vapor, era eliminada na forma de gelo pela ação do condensador. As bases vegetais foram liofilizadas por um período de 5 dias, ao fim do qual foram retiradas do liofilizador (Figura 3.5B) e devidamente acondicionadas.

**A****B**

**Figura 3.5** – (A) Amostras a Liofilizar; (B) Base concentrada pós-liofilização.

### 3.1.3.3 Acondicionamento das amostras

As Bases Concentradas liofilizadas foram submetidas a um processo de trituração para obtenção de um pó homogêneo. As bases em pó eram depois colocadas em embalagens devidamente higienizadas e fechadas. Cada Base Concentrada era dividida por 8 embalagens de plástico (250ml cada), para posterior amostragem semanal. Durante todo o processo as embalagens eram armazenadas numa caixa com sílica para se evitar a presença de humidade nas amostras (Figura 3.6).



**Figura 3.6** - Armazenamento das Bases Concentradas liofilizadas na caixa com sílica.

### 3.1.4 Reidratação das Bases Vegetais Concentradas

Para se efetuar a reconstituição das Bases Concentradas era necessário saber a % TST da Base antes da Liofilização e a % humidade do pó obtido após a Liofilização. Com esses dados, procedia-se à reidratação das Bases e realizava-se a homogeneização dos ingredientes com recurso a uma varinha mágica. Ainda nesta etapa era pesado o total de produto extraído do liofilizador, valor importante para determinar o rendimento do processo, bem como a eficiência do mesmo.

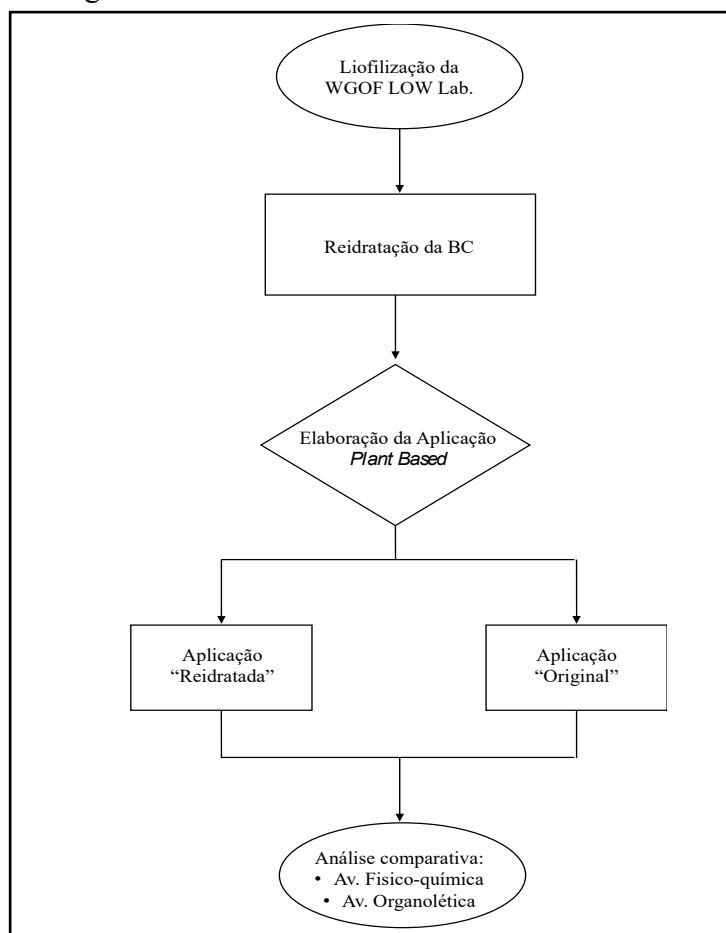
$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Massa do pó extraído do Liofilizador}}{\text{Massa da amostra colocada a Liofilizar}} \times 100 \quad \text{Eq 1}$$

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Massa do pó extraído do Liofilizador} - \% \text{Humidade do pó Liofilizado}}{\text{Massa da amostra colocada a Liofilizar} \times \% \text{TST}} \quad \text{Eq 2}$$

### 3.1.5 Aplicações

O objetivo desta etapa foi desenvolver aplicações através de Bases Liofilizadas e comparar com a mesma aplicação desenvolvida através de Bases que não tenham sofrido secagem. O resultado esperado era que as aplicações se assemelhassem tanto

quanto possível, não havendo diferenças físico-químicas e organoléticas significativas entre as mesmas. Nesse seguimento, foram realizadas 3 aplicações: bebidas vegetais, tipo-iogurtes e gelados vegetais. Todas foram desenvolvidas com a mesma Base Concentrada, WGOF *Low Sugar* produzida em laboratório. A sua concretização seguiu os passos ilustrados na Figura 3.7:



**Figura 3.7** – Fluxograma seguido para a elaboração das Aplicações.

### 3.1.5.1 Bebida Vegetal

As bebidas vegetais são usualmente produzidas na unidade através de um método de produção confidencial. No que diz respeito à oferta deste segmento, podem ser produzidos bebidas baristas, *creamers* e *cereal drink*. Estas bebidas podem ser elaboradas com diferentes Bases Vegetais, podem ser conjugadas com preparados de fruta, ou mesmo aromatizadas e nutricionalmente podem ser enriquecidas com proteína, fibra ou vitaminas. Para este trabalho foi produzida uma bebida barista cujos ingredientes consistiram essencialmente na Base Concentrada WGOF *Low Sugar*, água, gordura (óleo de côco), emulsionante e sais. Relativamente à sua preparação, a Base Concentrada foi inicialmente aquecida com a gordura, seguida de uma breve emulsão.

Posteriormente, foi adicionado um agente emulsionante e cerca de 1/3 da água total do processo, dando-se continuidade ao processo de emulsão. Em último foram adicionados os sais minerais diluídos em 1/4 da água e devidamente homogeneizados com recurso a uma varinha mágica. A temperatura da mistura foi de seguida elevada a 60°C de forma a ser possível realizar o processo de homogeneização industrial de 2 estágios (50/200Bar). Por fim, a bebida foi submetida a uma pasteurização (95°C/15minutos), com o intuito de garantir a qualidade e segurança alimentar da mesma. O fluxograma que esquematiza o seu processo de execução encontra-se disponível no anexo I.

A mesma bebida foi preparada com Base Original e Base Liofilizada devidamente reidratada, conforme descrito anteriormente. As bebidas resultantes foram analisadas em termos dos parâmetros físico-químicos e organoléticos anteriormente descritos. Uma vez que se tratavam de bebidas barista, outro ponto de comparação passou pela avaliação da estabilidade da espuma. Deste modo, com recurso a uma máquina especializada para baristas, bateu-se um volume fixo destas bebidas com o intuito de gerar espuma. Finalizado este passo, verteu-se as duas bebidas para duas provetas de 100ml e analisou-se a estabilidade da espuma ao T0'min., T5'min e T10'min.

### 3.1.5.2 Tipo-Iogurte

Relativamente ao processo de produção dos tipo-iogurtes de base vegetal este obedece à mesma confidencialidade que todas as aplicações realizadas dentro da unidade. Nesta gama de produtos podem ser produzidos Iogurtes provenientes de diferentes Bases Concentradas, com diferentes aromas, com preparados de fruta, com diferentes texturas (sólidos ou líquidos) ou ainda iogurtes híbridos que incorporaram Leite na sua composição. Para este trabalho foi produzido um tipo-iogurte sólido com Base Concentrada *WGOF Low Sugar*, cuja receita já se encontrava pré-definida na unidade. No que diz respeito aos ingredientes este foi constituído por Base, água, gordura (óleo de côco), texturizantes e sais minerais. O processo de execução encontra-se detalhado no anexo II do presente trabalho. Foram produzidos dois exemplares de tipo-iogurtes de base vegetal, um com Base Concentrada original e outro com a Base Liofilizada e posteriormente reidratada. Uma vez mais, os tipo-iogurtes resultantes foram comparados em termos das suas características organoléticas e físico-químicas.. No caso desta aplicação em particular foi medida a Viscosidade com recurso a um Viscosímetro rotacional – *Brookfield modelo: D 220 DV-II+Pro*. Este viscosímetro

funciona por rotação e mede a força de torque necessária para fazer rodar o *Spindle*, que está submerso no fluido sobre o qual se pretende determinar a viscosidade. A força de torque é medida em %. Para esta determinação, as amostras foram analisadas à temperatura ambiente ( $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ), com um *Spindle 5*, a 20, 60 e 100 RPM (rotações por minuto), durante 60 segundos.

### 3.1.5.3 Gelado vegetal

Os gelados vegetais são também uma das múltiplas aplicações concretizadas na unidade. Provenientes de diferentes Bases Vegetais, combinados com diferentes aromas, múltiplas são as ofertas resultantes das combinações existentes. Na mesma linha que as aplicações anteriores, os gelados (Original e Liofilizado) foram desenvolvidos com Base Concentrada WGOF *Low Sugar*. Os restantes ingredientes consistiram em espessantes, sais, aromas, emulsionante e gordura (óleo de côco). Após a mistura homogénea dos ingredientes foi realizada uma pasteurização, elevando a mistura até  $95^{\circ}\text{C}$ , por 5 min. A mistura pasteurizada foi colocada na refrigeração durante 24h para que ocorresse a maturação e estabilização de todos os ingredientes. Após a maturação, o preparado foi colocado na extrusora de gelados durante 30 min para provocar a cristalização, uma vez que a extrusora é revestida por um sistema de refrigeração. O produto final foi colocado numa cuvete e de seguida colocado na congelação a  $-30^{\circ}\text{C}$ . No anexo III é possível consultar o fluxograma que esquematiza os diferentes passos de produção de uma gelado vegetal. Os produtos finais (obtidos a partir da base vegetal original e da base vegetal base liofilizada) foram comparados em termos de parâmetros físico-químicos e organoléticos.

### 3.1.5 Análise da Viabilidade Económica

No que concerne à análise da viabilidade económica do processo, esta foi estruturada em primeiro lugar numa pesquisa bibliográfica da literatura disponível sobre esta temática. As palavras-chave aplicadas para a pesquisa em causa foram: *Freeze-drying*; *Lyophilization*; *Cost analysis*; *Economic Analysis*. Numa segunda parte, procedeu-se à avaliação da viabilidade da liofilização enquanto método de secagem de 8 Bases Vegetais Concentradas e, por último, estabeleceu-se contacto com alguns *players* do mercado que praticam diferentes métodos de secagem, com o intuito de

enviar as mesma Bases Concentradas estudadas no presente trabalho e analisar a viabilidade económica de 3 metodologias.

## Capítulo 4 - Resultados e Discussão

### 4.1 Bases Concentradas

As dez bases vegetais concentradas foram produzidas à escala laboratório e à escala industrial, consoante disponibilidade, e posteriormente liofilizadas. Após produção, e ao longo de um período de 8 semanas de armazenamento as bases foram analisadas em termos de parâmetros físico-químicos e organoléticos. No que concerne as bases vegetais de fábrica, não foi possível obter todas as Bases inicialmente delineadas uma vez que, a sua disponibilidade estava dependente de pedidos de produção para clientes. Nesse sentido, durante o período de estudo não houve produção de Base de Arroz (*Low e High Sugar*), Espelta (*Low e High Sugar*) e WGOF *High Sugar*, não sendo deste modo possível liofilizá-las. No que concerne às Bases de Laboratório foram produzidas todas as Bases Concentradas delineadas inicialmente todavia, a Base Concentrada Arroz *High Sugar* apesar de duas tentativas, não foi de todo possível liofilizá-la. Esta Base após a liofilização, apresentava uma textura caramelizada, com melaço, não sendo possível triturá-la para a obtenção de pó (Figura 4.1). Esta base apresentar uma percentagem superior de açúcar face aos demais sólidos (fibra, proteína, etc.), sendo que o açúcar forma uma rede cristalina que dificulta a saída da água. Esta composição não se verifica nas Bases de Aveia e Espelta assim, esta pode ser uma possível explicação para a incapacidade de liofilizar a Base de Arroz *High Sugar*.



**Figura 4.1** – Base Concentrada Arroz *High Sugar* pós-liofilização.

Ao longo do período de estudo foram analisadas 3 variáveis: Tipologia de Base/Cereal; Local de produção – laboratório ou fábrica; Teor de açúcar da Base – *Low Sugar* e *High Sugar*. Os resultados foram divididos em dados físico-químicos e dados

organoléticos e foram agrupados por Tipologia de Cereal. A Tabela 4.1 apresenta todas as variáveis em estudo (integrando somente as Bases que foram possíveis Liofilizar):

**Tabela 4.1** – Variáveis em estudo: Tipologia de cereal, Teor de açúcar e Local de produção.

		Teor de açúcar			
		Low Sugar		High Sugar	
Local de produção	Laboratório	Arroz farinha	Espelta farinha	Aveia farinha	Espelta farinha
		Aveia farinha	Aveia farelo	Aveia farelo	
	Fábrica	Aveia farinha	Aveia farelo	Aveia farelo	

#### 4.1.1 Parâmetros Físico-químicos

Os resultados obtidos foram estruturados em tabela onde consta a média e o respetivo desvio padrão das 3 amostras. Posteriormente esses dados foram transpostos para gráficos de dispersão, sendo que foi criado um gráfico por parâmetro físico-químico, com a finalidade de analisar o seu comportamento individual (por tipologia de cereal) ao longo das 8 semanas. Os gráficos de dispersão encontram-se disponíveis nos anexos V-VIII.

De uma forma geral, as Bases liofilizadas após reidratação parecem estar bastante equivalentes às Bases Originais nos múltiplos parâmetros analisados. Este resultado permite concluir que a liofilização pode ser aplicada a estas Bases, pois não se traduz em alterações físico-químicas e organoléticas que as diferencie explicitamente das Bases Originais. Outro ponto positivo, foi o facto de nenhuma das Bases liofilizadas, após sucessivas reidratações e medições de parâmetros, ter apresentado oscilações significativas dos mesmo. Esta constância, pode ser um possível indicador de ausência de degradação do produto seco (na forma de pó) pela estabilidade físico-química e organolética obtida. Contudo, é de ressaltar que não tendo sido estudada a estabilidade microbiológica deste produto, não é possível concluir sobre a ausência de degradação ou sobre a sua segurança microbiológica.

Analisando os resultados de acordo com as variáveis em estudo e começando pelo teor de açúcar das mesmas, pode concluir-se que as Bases *Low Sugar* têm uma melhor resposta à liofilização que as Bases *High Sugar*. A presença de um maior teor de açúcar na matriz da Base torna-a mais desafiante para liofilizar na medida em que o

açúcar forma uma rede cristalina que impede a saída da água. Nesse sentido, todas as Bases *Low Sugar* apresentam uma % de humidade inferior, sejam produzidas em laboratório ou em fábrica (anexo IX).

Relativamente ao local de produção, foi unânime que as Bases liofilizadas produzidas em laboratório apresentam sempre uma % de humidade inferior às produzidas em fábrica (anexo IX). Este resultado pode ser justificado pelo facto das Bases de fábrica sofrerem um processo de separação mais eficaz no separador industrial, o que leva à obtenção de Bases com %TST inferiores e consequentemente origina matrizes com maior teor de humidade. O oposto acontece no laboratório, o processo de centrifugação das Bases com recurso a uma centrífuga não tem a mesma eficácia de separação, logo as Bases vão apresentar uma %TST superiores às obtidas a nível industrial, o que por sua vez originará matrizes com percentagens de humidade inferiores, pois a rede porosa formada por os diferentes sólidos facilita a saída da água. Curiosamente de todas as Bases produzidas, aquela que apresentou menor percentagem de humidade foi a Base Arroz *Low Sugar*. Este resultado poderá ser explicado pela composição da matriz desta Base. A Base Arroz *Low Sugar* tem uma composição essencialmente água e hidratos de carbono (25%) todavia, menos de 6,5% são açúcares. Os restantes hidratos de carbono são essencialmente polióis e amido, que por sua vez é degradado em dextrinas. Nesse sentido, os açúcares que são dificultadores do processo de liofilização estão em quantidades ínfimas nesta Base. Para potenciar os resultados, existe ainda a presença de dextrinas que em muitos estudos são usadas como adjuvantes tecnológicos para aumentar o Teor de Sólidos dos produtos e consequentemente otimizar os resultados da liofilização.

No que diz respeito à tipologia de Cereal, de todas as Bases Liofilizadas aquelas que apresentaram resultados mais promissores foram as Bases WGOF *Low Sugar* e OB *Low Sugar* produzidas em laboratório, sendo que a Base WGOF *Low Sugar* foi aquela que das duas reuniu mais pontos positivos. Apesar das duas Bases terem apresentado resultados mais similares e constantes ao longo do tempo (comparação de Base Original e Base Liofilizada), a Base WGOF *Low Sugar* laboratório apresenta uma humidade inferior e um rendimento e eficiência de processo superiores (anexo IX). Já a versão *High Sugar* destas duas Bases apresentou um comportamento distinto. Ao longo das 8 semanas os resultados não se assemelharam tanto entre as versões Originais e Liofilizadas, bem como a sua constância ao longo do período de estudo não foi a mesma. Estas conclusões podem estar relacionadas com o facto das Bases *High Sugar* serem de

maior dificuldade de liofilizar e conseqüentemente as amostras apresentarem % de humidade superiores. Ao serem distribuídas por diferentes embalagens, não houve garantia que em todas foi colocada uma porção uniforme da amostra, o que pode ter originado embalagens com percentagens de humidade superiores e conseqüentemente traduziu-se nestas irregularidades de resultados ao longo do período de estudo. Adicionalmente, a Base OB *Low Sugar* apresenta mais proximidade de valores entre as Bases de Laboratório e Fábrica do que a Base WGOF *Low Sugar*.

A Base de Farelo de Aveia foi a única para a qual foi possível fazer o estudo completo das duas versões de teor de açúcar e dos dois locais de produção. Analisando os resultados pelo teor de açúcar, a Base OB *Low Sugar* foi a que apresentou resultados mais constantes ao longo das 8 semanas e foi aquela que apresentou maior proximidade de valores entre a Base Original e a Base Liofilizada. Quando comparados os resultados deste cereal face ao local de produção constata-se que existe maior proximidade de resultados entre os dados de laboratório e fábrica na Base *Low Sugar* do que na Base *High Sugar*, com exceção do parâmetro glucose onde existe uma disparidade de valores. A Tabela 4.2 apresenta os resultados da Base de farelo de Aveia *Low* e *High Sugar* ao longo das 8 semanas de armazenamento.

No que concerne à Farinha de Aveia, apenas houve produção industrial da versão *Low Sugar*. Avaliando os resultados, as versões *Low Sugar* demonstraram uma proximidade de resultados superior entre as Bases Originais e Liofilizadas face à Base *High Sugar*. As Bases *Low Sugar*, particularmente a produzida em laboratório, foi a que apresentou valores mais constantes ao longo das 8 semanas. Porém, apesar da Base WGOF *Low Sugar* de laboratório ser considerada a Base com resultados físico-químicos mais promissores, apresenta uma diferença ainda considerável entre os valores de laboratório e fábrica. Esta discrepância poderá ser uma desvantagem, na medida em que os valores obtidos em contexto laboratorial poderão não ser totalmente reprodutíveis em fábrica, tendo esta diferença impacto no produto final. A Tabela 4.3, compila os resultados obtidos das Bases de Farinha de Aveia *Low* e *High Sugar* ao longo do período de estudo.

No caso da Base de Espelta apenas foi possível estudar as versões produzidas em laboratório visto não ter havido produção industrial durante as 8 semanas. Avaliando os resultados, constatou-se que as Bases de Espelta são as menos eficientes e com menor valor de rendimento. Curiosamente, ao contrário dos resultados obtidos com as restantes

Bases, a versão *High Sugar* foi aquela que obteve resultados mais estáveis ao longo das 8 semanas e que por sua vez apresentou uma similaridade ligeiramente superior entre a Base Original e Liofilizada. A Base Original apresentou valores ligeiramente superiores em todos os parâmetros, face à Base Reidratada. Os resultados dos parâmetros físico-químicos da Base de Espelta estão apresentados na Tabela 4.4.

Para a Base de Arroz apenas foi possível estudar a Base *Low Sugar* produzida em laboratório, uma vez que a Base *High Sugar* de laboratório não foi exequível de liofilizar, como mencionado anteriormente. A ausência da produção em fábrica da Base de Arroz impossibilitou a sua inclusão no estudo da liofilização. A Base de Arroz *Low Sugar*, apesar de ter sido aquela que apresentou menor percentagem de humidade e maior eficiência de processo, a seguir às Bases de Aveia, apresentou algumas disparidades de resultados entre as Bases Originais e as Bases liofilizadas, particularmente no pH, Brix e %TST. Esta Base também apresentou algumas irregularidades de resultados ao longo das 8 semanas, dando sinais de maior instabilidade face às demais Bases. No entanto, este resultado pode ser fruto de erros associados ao processo de reidratação semanal (feita com base na % de humidade inicial), aos equipamentos ou ao investigador. A Tabela 4.5 compila os resultados físico-químicos da Base de Arroz ao longo do período de estudo.

Tabela 4.2 – Parâmetros físico-químicos da Base de Farelo de Aveia *Low e High Sugar*.

		AVEIA FARELO (OB 30%)																
		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		
		REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	
LOW	LABORATÓRIO	pH	6,75 ± 0,00	6,62 ± 0,01	6,74 ± 0,01	6,64 ± 0,01	6,74 ± 0,01	6,62 ± 0,02	6,75 ± 0,01	6,70 ± 0,01	6,73 ± 0,01	6,62 ± 0,01	6,68 ± 0,01	6,64 ± 0,01	6,69 ± 0,01	6,63 ± 0,01	6,71 ± 0,01	6,68 ± 0,01
		Brix°	20,27 ± 0,12	21,6 ± 0,10	20,6 ± 0,10	21,70 ± 0,10	20,37 ± 0,06	21,70 ± 0,10	20,50 ± 0,00	21,57 ± 0,06	20,43 ± 0,12	20,40 ± 0,10	20,40 ± 0,10	21,70 ± 0,10	20,40 ± 0,10	20,90 ± 0,10	20,70 ± 0,10	21,33 ± 0,06
		Sólidos (%)	20,07% ± 0,00	19,26% ± 0,00	21,79% ± 0,00	21,05% ± 0,00	20,76% ± 0,00	20,38% ± 0,00	20,19% ± 0,00	23,09% ± 0,00	20,19 ± 0,00	19,61 ± 0,00	19,43% ± 0,00	21,57% ± 0,00	19,70% ± 0,00	19,61 ± 0,00	20,19% ± 0,01	18,82% ± 0,00
	FÁBRICA	glucose (g/L)	0,97 ± 0,01	0,92 ± 0,01	0,99 ± 0,01	0,92 ± 0,01	1,04 ± 0,06	1,05 ± 0,05	1,01 ± 0,01	0,95 ± 0,02	0,98 ± 0,01	0,94 ± 0,01	0,97 ± 0,01	1,01 ± 0,01	1,02 ± 0,02	0,99 ± 0,01	1,05 ± 0,01	1,01 ± 0,01
		pH	6,51 ± 0,01	6,56 ± 0,01	6,57 ± 0,01	6,59 ± 0,01	6,20 ± 0,01	6,62 ± 0,02	6,52 ± 0,01	6,54 ± 0,01	6,52 ± 0,01	6,51 ± 0,01	6,53 ± 0,01	6,61 ± 0,01	6,56 ± 0,01	6,54 ± 0,01	6,54 ± 0,01	6,53 ± 0,01
		Brix°	24,13 ± 0,15	22,13 ± 0,06	21,10 ± 0,10	24,67 ± 0,15	23,90 ± 0,10	24,73 ± 0,06	24,40 ± 0,00	24,47 ± 0,06	24,80 ± 0,10	25,17 ± 0,06	24,70 ± 0,10	24,73 ± 0,06	24,43 ± 0,21	24,57 ± 0,00	24,60 ± 0,01	24,60 ± 0,10
	Sólidos (%)	22,43% ± 0,00	22,77% ± 0,00	23,39% ± 0,00	23,10% ± 0,00	26,46% ± 0,00	23,17% ± 0,00	22,57% ± 0,00	23,32% ± 0,00	19,27% ± 0,00	23,54% ± 0,00	21,71% ± 0,00	22,91% ± 0,00	21,78% ± 0,00	21,57% ± 0,00	23,42% ± 0,01	24,79% ± 0,01	
	glucose (g/L)	3,94 ± 0,01	2,94 ± 0,01	3,71 ± 0,01	2,96 ± 0,06	3,98 ± 0,01	3,87 ± 0,01	3,98 ± 0,01	3,92 ± 0,02	4,01 ± 0,02	3,83 ± 0,01	3,99 ± 0,01	3,10 ± 0,10	3,96 ± 0,01	4,01 ± 0,03	3,96 ± 0,01	2,92 ± 0,01	

		AVEIA FARELO (OB 30%)																
		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		
		REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	
HIGH	LABORATÓRIO	pH	6,75±0,01	6,65 ± 0,01	6,73±0,01	6,62 ± 0,01	6,74±0,01	6,62 ± 0,02	6,75±0,01	6,70 ± 0,01	6,72±0,01	6,74 ± 0,01	6,67±0,01	6,63 ± 0,01	6,69±0,01	6,64 ± 0,01	6,71±0,01	6,64 ± 0,01
		Brix°	20,27±0,12	23,47 ± 0,06	20,6±0,1	23,43 ± 0,06	20,37±0,06	23,30 ± 0,10	20,5±0	23,30 ± 0,10	20,43±0,12	23,80 ± 0,20	20,4±0,1	23,30 ± 0,10	20,4±0,1	23,17 ± 0,06	20,7±0,1	23,43 ± 0,06
		Sólidos (%)	20,07% ± 0,00	20,75% ± 0,00	21,79% ± 0,00	22,55% ± 0,00	20,76% ± 0,00	22,53% ± 0,00	20,19 ± 0,00	27,45% ± 0,00	20,19% ± 0,00	19,83 ± 0,00	19,43% ± 0,00	22,44% ± 0,00	19,70% ± 0,00	22,34% ± 0,00	20,19% ± 0,00	20,39% ± 0,00
	FÁBRICA	glucose (g/L)	0,97±0,01	115,48 ± 0,02	0,99±0,01	108,48 ± 0,02	1,04±0,06	107,53 ± 0,01	1,01±0,01	102,16 ± 0,04	0,98±0,01	109,09 ± 0,01	0,97±0,01	109,20 ± 0,01	1,02±0,02	108,83 ± 0,01	1,05±0,01	108,25 ± 0,13
		pH	6,51±0,01	6,42 ± 0,01	6,57±0,01	6,44 ± 0,01	6,19±0,01	6,54 ± 0,01	6,52±0,01	6,45 ± 0,01	6,51±0,01	6,36 ± 0,01	6,53±0,01	6,47 ± 0,01	6,56±0,01	6,39 ± 0,01	6,54±0,01	6,42 ± 0,02
		Brix°	24,13±0,15	27,10 ± 0,10	21,1±0,1	27,30 ± 0,10	23,9±0,1	27,13 ± 0,06	24,4±0	27,27 ± 0,12	24,8±0,1	27,27 ± 0,06	24,7±0,1	27,20 ± 0,10	24,43±0,21	27,10 ± 0,10	24,6±0,01	27,10 ± 0,10
	Sólidos (%)	22,43% ± 0,00	25,13% 0,00	24,39% ± 0,00	24,52% ± 0,00	26,46% ± 0,00	24,25% ± 0,00	22,57% ± 0,00	23,55% ± 0,00	19,27% ± 0,00	25,05% ± 0,00	21,71% ± 0,00	20,07% ± 0,00	21,78% ± 0,00	24,51% ± 0,00	23,42% ± 0,02	24,52% ± 0,00	
	glucose (g/L)	3,94±0,01	154,50 ± 0,01	3,71±0,01	140,48 ± 0,02	3,99±0,01	152,7 ± 0,06	3,98±0,01	154,75 ± 0,05	4,01±0,02	157,54 ± 0,01	3,99±0,01	156,04 ± 0,05	3,96±0,01	152,11 ± 0,01	3,96±0,01	151,63 ± 0,01	

Tabela 4.3 – Parâmetros físico-químicos da Base de Farinha de Aveia *Low e High Sugar*.

		AVEIA - FARINHA (WGOF 40%)																
		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		
		REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	
LOW	LABORATÓRIO	pH	7,01±0,01	6,92±0,01	6,79±0,01	6,88±0,01	7,29±0,01	7,00 ± 0,00	7,1±0,01	6,88 ± 0,01	7,17±0,01	6,98 ± 0,01	7,16±0,01	6,87 ± 0,01	7,32±0,01	6,94 ± 0,01	7,28±0,01	6,98 ± 0,01
		Brix°	31,4±0,1	31,8±0,1	30,9±0,1	31,40±0,10	32,91±0,06	32,03 ± 0,06	32,54±0	32,13 ± 0,06	32,03±0	31,63 ± 0,12	32,47±0,06	32,03 ± 0,06	32,37±0,06	31,73 ± 0,06	32,5±0,06	32,07 ± 0,06
		Sólidos (%)	31,74%±0,00	39,68±0,00	31,97%±0,00	31,95%±0,00	40,52%±0,00	31,88% ± 0,00	40,13%±0,00	32,33% ± 0,00	39,61±0,00	32,06% ± 0,00	40,00%±0,00	32,12% ± 0,00	39,92%±0,00	31,20% ± 0,00	32,00%±0,00	32,12 % 0,00
	FÁBRICA	glucose (g/L)	8,22±0,01	8,56±0,01	8,55±0,02	8,62±0,02	10,11±0,01	8,77 ± 0,01	9,37±0,01	8,44 ± 0,01	9,61±0,01	9,08 ± 0,01	9,55±0,01	8,56 ± 0,01	9,64±0,01	8,51 ± 0,01	9,72±0	8,72 ± 0,01
		pH	7,13±0,01	7,17±0,01	6,99±0,01	7,12 ± 0,00	7,15±0,01	6,97 ± 0,01	7,29±0,01	6,97 ± 0,01	7,36±0,01	7,06 ± 0,01	7,31±0,03	7,08 ± 0,01	7,31±0,01	7,02 ± 0,03	7,34±0,01	7,05 ± 0,01
		Brix°	35,3±0,1	35,1±0,1	34,47±0,06	34,90 ± 0,10	35,6±0,1	35,37 ± 0,12	35,43±0,06	35,0 ± 0,06	35,84±0,06	35,33 ± 0,06	35,63±0,06	35,23 ± 0,06	35,56±0,06	35,30 ± 0,10	35,63±0,06	35,00 ± 0,10
	Sólidos (%)	35,89%±0,00	35,54% ± 0,00	35,81%±0,00	36,11% ± 0,00	44,45%±0,00	35,90% ± 0,00	44,69%±0,00	35,95% ± 0,00	44,70%±0,00	35,90% ± 0,00	44,87%±0,00	36,01 % ± 0,00	43,88%±0,01	35,64% ± 0,00	44,86%±0,00	35,96% ± 0,00	
	glucose (g/L)	16,12±0,01	15,98±0,01	16,11±0,01	16,23 ± 0,01	18,51±0	16,48 ± 0,01	19,19±0,01	17,02 ± 0,01	19,08±0,01	16,82 ± 0,01	18,97±0,01	16,52 ± 0,57	18,89±0,01	16,73 ± 0,01	18,79±0,01	16,72 ± 0,01	

		AVEIA - FARINHA (WGOF 40%)																
		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		
		REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	
High	LABORATÓRIO	pH	7,1±0,01	6,70 ± 0,01	7,14±0,58	6,88 ± 0,01	6,51±0,01	6,45 ± 0,07	7,09±0,01	6,85 ± 0,01	7,07±0,01	6,74 ± 0,01	7,06±0,01	6,62 ± 0,001	7,06±0,01	6,63 ± 0,01	7,13±0,01	6,99 ± 0,01
		Brix°	35,6±0,11	33,20 ± 0,10	34,37±0	33,17 ± 0,06	32,66±0,11	32,80 ± 0,10	31,64±0,06	32,15 ± 0,01	31,61±0,11	30,43 ± 0,06	35,14±0,06	33,20 ± 0,10	35,81±0,11	33,40 ± 0,1	31,71±0,11	32,50 ± 0,10
		Sólidos (%)	35,63%±0,00	34,62% ± 0,00%	37,04%±0,00	34,56% ± 0,00	35,65%±0,00	33,34% ± 0,00	33,24%±0,00	34,36% ± 0,00	32,79%±0,02	32,27% ± 0,00	0,36±0	31,83% ± 0,00	35,60%±0,00	31,79% 0,00	35,21%±0,00	33,21%±0,00
		glucose (g/L)	142,59±0,01	136,99 ± 0,01	133,17±0	136,23 ± 0,01	147,62±0,02	137,09 ± 0,01	142,75±0,02	142,87 ± 0,06	150,06±0,01	143,16 ± 0,01	151,62±0,01	144,48 ± 0,01	165,01±0,01	143,75 ± 0,01	149,07±0,01	153,36 ± 0,01

Tabela 4.4 – Parâmetros físico-químicos da Base de Espelta de *Low e High Sugar*.

		ESPELTA																
		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		
		REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	
LABORATÓRIO	HIGH	pH	6,19 ± 0,01	6,19 ± 0,01	6,17 ± 0,01	6,22 ± 0,00	6,19 ± 0,01	6,23 ± 0,01	6,01 ± 0,01	6,21 ± 0,01	6,10 ± 0,01	6,17 ± 0,01	6,19 ± 0,04	6,13 ± 0,01	6,18 ± 0,01	6,11 ± 0,01	6,03 ± 0,01	6,11 ± 0,01
		Brix	26,45 ± 0,05	32,13 ± 0,06	26,20 ± 0,12	32,03 ± 0,15	26,39 ± 0,08	32,00 ± 0,10	26,1 ± 0,08	30,73 ± 0,15	26,23 ± 0,08	31,90 ± 0,10	25,67 ± 0,10	33,0 ± 0,10	26,15 ± 0,08	32,03 ± 0,06	26,42 ± 0,05	32,03 ± 0,06
		Sólidos (%)	30,91% ± 0,00	31,94 % ± 0,00	28,63%±0,00	31,09% 0,00	30,36% ± 0,01	32,68% ± 0,00	30,37% ± 0,00	31,16% ± 0,00	30,82% ± 0,05	31,89% ± 0,00	29,87% ± 0,01	32,39% ± 0,00	30,86% ± 0,00	32,45% ± 0,00	30,46% ± 0,00	32,45% ± 0,00
		glucose (g/L)	12,66 ± 0,01	11,70 ± 0,01	11,13 ± 0,01	9,85 ± 0,07	13,45 ± 0,03	10,75 ± 0,02	14,44 ± 0,03	205,37 ± 0,01	13,51 ± 0,01	12,72 ± 0,02	14,27 ± 0,01	11,55 ± 0,01	13,60 ± 0,01	12,50 ± 0,01	13,67 ± 0,01	12,50 ± 0,01
	LOW	pH	6,08 ± 0,01	6,12 ± 0,00	6,13 ± 0,01	6,10 ± 0,01	6,08 ± 0,01	6,17 ± 0,01	6,13 ± 0,01	6,21 ± 0,01	6,08 ± 0,01	6,12 ± 0,01	6,08 ± 0,01	6,14 ± 0,01	6,08 ± 0,01	6,12 ± 0,00	6,08 ± 0,01	6,12 ± 0,00
		Brix	26,98 ± 0,21	31,00 ± 0,10	26,07 ± 0,10	30,90 ± 0,10	26,26 ± 0,10	31,00 ± 0,10	26,30 ± 0,06	30,73 ± 0,15	27,05 ± 0,26	31,00 ± 0,10	30,22 ± 0,06	29,93 ± 0,06	29,89 ± 0,10	30,47 ± 0,06	29,37 ± 0,06	30,47 ± 0,06
		Sólidos (%)	26,35% ± 0,00	31,07% ± 0,00	27,48% ± 0,00	28,14% ± 0,00	30,13% ± 0,00	31,51% ± 0,00	28,35% ± 0,00	31,16% ± 0,00	29,07% 0,00	30,12% ± 0,00	29,80% ± 0,00	30,25% ± 0,00	30,28 ± 0,00	30,30% ± 0,00	30,31% ± 0,00	30,30% ± 0,00
		glucose (g/L)	166,86 ± 0,01	205,07 ± 0,06	174,22 ± 0,02	206,62 ± 0,03	177,94 ± 0,02	207,14 ± 0,15	175,61 ± 0,15	205,37 ± 0,01	183,63 ± 0,06	206,22 ± 0,01	181,63 ± 0,06	204,13 ± 0,03	187,71 ± 0,02	143,45 ± 0,01	181,72 ± 0,01	205,11 ± 0,01

Tabela 4.5 – Parâmetros físico-químicos da Base de Arroz *Low Sugar*.

		ARROZ (WGROF)																
		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		
		REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	REIDRATADA	MÆ	
Low	LABORATÓRIO	pH	6,86 ± 0,03	7,02 ± 0,01	6,95 ± 0,01	7,12 ± 0,02	6,94 ± 0,02	7,12 ± 0,01	6,96 ± 0,03	7,02 ± 0,01	7,16 ± 0,01	7,16 ± 0,01	6,97 ± 0,01	7,05 ± 0,01	7,05 ± 0,01	7,79 ± 0,01	6,98 ± 0,05	7,72 ± 0,05
		Brix°	24,78. ± 0,10	26,13 ± 0,06	24,36 ± 0,30	25,77 ± 0,21	25,03 ± 0,06	25,63 ± 0,25	24,64±0,16	25,67 ± 0,25	23,57 ± 0,21	25,57 ± 0,21	24,33 ± 0,16	25,13 ± 0,74	24,57 ± 0,11	24,57 ± 0,11	24,57 ± 0,11	24,57± 0,11
		Sólidos (%)	26,67% ± 0,00	25,24 % ± 0,00	30,02% ± 0,00	25,23% ± 0,00	28,60% ± 0,00	23,92% ± 0,00	23,59% ± 0,00	26,62% ± 0,00	27,09% ± 0,00	27,09% ± 0,00	26,55% ± 0,00	21,58 ± 0,00	25,95% ± 0,00	25,95% ± 0,00	29,92 ± 0,00	29,92% ± 0,00
		glucose (g/L)	7,06 ± 0,08	7,71 ± 0,01	7,56 ± 0,02	7,01 ± 0,01	7,59 ± 0,01	6,14 ± 0,06	6,52 ± 0,03	6,79 ± 0,03	6,97 ± 0,01	6,97 ± 0,01	6,66 ± 0,01	6,71 ± 0,02	6,44 ± 0,02	6,05 ± 0,03	5,87 ± 0,03	5,87 ± 0,03

#### 4.1.2 Avaliação Organolética

A avaliação Organolética das diferentes Bases foi feita com um número mínimo de provadores uma vez que, o presente estudo se desenvolveu num contexto empresarial e durante uma crise pandémica, o que comprometeu seriamente a realização adequada das provas. Porém, não descurando esta parametrização, procedeu-se à realização de provas com 4 provadores. Perante esta limitação, estabeleceu-se a regra das proporções no número total de provadores. Partiu-se do pressuposto que se a frequência de resposta fosse superior ou igual a 2 então o descritor era passível de descrever a amostra. O mesmo princípio foi aplicado ao longo das 8 semanas, se o descritor tivesse uma frequência superior ou igual a 4 então o mesmo era passível de descrever a amostra. Os resultados estão descritos em Tabela e encontram-se disponíveis em anexo (X-XIII).

Em consonância com os resultados obtidos nos parâmetros Físico-químicos, a Base WGOF *Low Sugar* foi aquela que, independentemente do local de produção, a Base Liofilizada se igualou em todos os descritores selecionados para cada parâmetro, à Base Original. Nesse sentido, a Base WGOF *Low Sugar* foi a que mais positivamente se destacou nesta prova pelo grau de semelhança identificado pelos provadores entres as duas Bases. A mesma similaridade não foi encontrada nas provas da Base WGOF *High Sugar*. As discrepâncias dos descritores selecionados para caracterizar as duas Bases foram evidentes, o que já pode estar relacionado com as diferenças apresentadas nos parâmetros físico-químicos, fruto de uma maior dificuldade de liofilização destas Bases que apresentam maior quantidade de açúcares na sua composição.

A Base de Arroz *Low Sugar* também apresentou resultados interessantes nesta prova na medida em que todos os descritores elegidos se igualaram para a Base Original e Liofilizada à exceção da textura, em que a Base Liofilizada se apresentou mais aguada. Este comportamento na textura foi transversal a outras Bases, o que pode ser justificado pela presença frequente de uma menor % de TST na Base Liofilizada.

Também a Base de Espelta teve semelhanças organoléticas ao longo do período de estudo. Todos os descritores selecionados para caracterizar a Base Original e Liofilizada foram os mesmos, à exceção da cor. A Base Original foi passível de ser descrita como “castanha” e a Base Liofilizada como “camel”.

Por último, a Base OB *Low, Sugar* contrariamente aos resultados mais promissores que obteve na avaliação físico-química, na prova organolética os resultados não se apresentaram tão positivos. Independentemente do local de produção, os

descritores selecionados para descrever as amostras diferiram na sua maioria. As Bases OB *High Sugar* também apresentaram estas diferenças de resultados, porém a Base OB *High Sugar* produzida em fábrica ainda foi aquela cuja Base Original e Base fábrica mais se igualaram.

No que diz respeito à avaliação do cor com recurso a um colorímetro, esta permitiu ter uma ideia mais concreta de evolução deste parâmetro ao longo do período de estudo, ajudando a perceber se existiu alguma alteração considerável que se possa associar a uma degradação das Bases e ainda se existiram diferenças consideráveis entre as Bases Originais e Liofilizadas. Os resultados encontram-se disponíveis nos anexos XIV até ao XX e estão estruturados por Tipologia de Cereal. De uma forma genérica, a cor, entre as Bases Originais e Liofilizadas, manteve ao longo das 8 semanas um grau de similaridade e não existiram alterações consideráveis durante o período de estudo. - Neste sentido, a análise da cor foi mais uma parametrização que serviu para sustentar a proximidade de resultados entre as Bases Originais e Liofilizadas.

## 4.2 Aplicações

As três aplicações desenvolvidas foram todas elaboradas com a mesma Base Concentrada – a Base WGOF Low Sugar produzida em Laboratório. Esta seleção resultou do facto desta Base Concentrada ter sido aquela que, das 10 Bases Liofilizadas, apresentou resultados mais promissores, conforme descrito anteriormente. Nesse seguimento, foi transversal para todas as aplicações que o primeiro momento consistiu na produção da Base Concentrada, seguida da liofilização da mesma. Os parâmetros físico-químicos da Base foram determinados após a sua produção e após a reidratação, para avaliar se a liofilização da Base e o processo de reidratação tinham decorrido em conformidade.

No que diz respeito à aplicação tipo-iogurte, procedeu-se então à parametrização das Bases Original e Reidratada antes da elaboração da aplicação (Tabela 4.6). As duas Bases apresentaram resultados semelhantes para todos os parâmetros, com exceção da %TST que foi inferior na Base Reidratada. Esta diferença pode estar relacionada com ganhos de humidade da Base Liofilizada antes da reidratação ou pode ser consequência de erro de medição, ou mesmo do operador durante o manuseio.

**Tabela 4.6** – Parâmetros Físico-químicos da Base Original e Liofilizado WGOF Low Sugar.

		WGOF Low Sugar	
		Base Original	Base Liofilizada
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH	7,12	7,36
	°Brix	31,8	31,1
	TST % (m/v)	31,4	29,3
	Glucose (g/L)	8,9	8,4

Estas diferenças existentes entre as duas Bases Concentradas foram atenuadas na aplicação. A nível físico-químico os dois produtos tipo-iogurte resultantes apresentaram parâmetros muito semelhantes, inclusive a mesma %TST, como se pode verificar na Tabela 4.7. O único parâmetro a apresentar ligeiras diferenças foi a Viscosidade *Brookfield* (Tabela 4.8). Aos 20 e 60 RPM o tipo-iogurte Original apresentou sempre uma viscosidade superior. Esta diferença pode estar relacionada com o facto do tipo-iogurte Liofilizado, apesar de ter a mesma %TST que o Original, necessitar de mais tempo de estabilização para as fibras solúveis ( $\beta$ -glucanas) funcionalizarem. Isto pode ser indicador da necessidade de trabalhar a textura da versão liofilizada e eventualmente recorrer à adição de amidos. Aos 100RPM essa diferença anula-se uma vez que a *Shear force* aplicada no iogurte é suficiente para igualar a viscosidade das duas aplicações.

Organolepticamente não existiram diferenças significativas, e os dois produtos tipo-iogurte apresentaram uma textura cremosa e consistente, um sabor não muito doce e até com uma ligeira acidez, sendo impercetível o facto de serem produtos provenientes de Bases sujeitas a processos distintos. A cor dos dois produtos também foi bastante similar (Tabela 4.9 e Figura 4.5). Deste modo, foi possível concluir que de uma forma geral a mesma aplicação pode ser realizada quer a partir da Base Original quer a partir de uma Base Liofilizada uma vez que o produto final tipo-iogurte não apresenta diferenças físico-químicas e organolépticas significativas, com exceção da textura que pode ser necessário ser trabalhada.



**Tabela 4.7** – Parâmetros Físico-químicos do tipo-iogurte preparado a partir da Base Original e da Base Liofilizada.

		WGOF Low Sugar	
		Iogurte Original	Iogurte Liofilizado
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH	4,24	4,23
	Brix°	11,4	11,8
	TST % (m/v)	16,2	16,2
	Glucose (g/L)	1,4	1,3

**Tabela 4.8** – Viscosidade *Brookfield* do tipo-iogurte Original e Reidratado.

	Iogurte Liofilizado				Iogurte Original			
	RPM	%Torque	Cp	Spindle	RPM	%Torque	Cp	Spindle
V I S C O S I D A D E	20	14,3%	5720	5	20	18,9%	7560	5
	60	19,4%	1587	5	60	21,8%	2907	5
	100	22,80%	1824	5	100	22%	1760	5

**Tabela 4.9** – Avaliação da cor do tipo-iogurte com recurso a um colorímetro.

C O L O R Í M E T R O		Iogurte Liofilizado	Iogurte Original
	L	82,11	81,59
	a	-0,79	-0,79
	b	10,16	10,49
	c	10,19	10,52
	H	94,44	94,33
COR			

\*L -Luminosidade; a - Coordenada (vermelho/verde); b – Coordenada amarelo/azul; c – Cromo; h- Ângulo da tonalidade



**Figura 4.4** – Produto final Tipo Iogurte Original (esquerda) e Liofilizado (direita).

A aplicação bebida barista seguiu a mesma metodologia que a aplicação anterior. Para esta foi realizada nova Base Concentrada, a qual foi caracterizada em termos dos parâmetros físico-químicos antes e após a liofilização. Como se pode constatar na Tabela 4.10, a Base Reidratada está bastante equivalente em termos de parâmetros face à Base Original, a principal diferença mais uma vez prende-se com a %TST que pode estar relacionado com os motivos já referidos anteriormente.

**Tabela 4.10** – Parâmetros Físico-químicos da Base Original e Liofilizada WGOF Low Sugar



		WGOF Low Sugar	
		Base Original	Base Liofilizada
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH	6,94	7,20
	Brix°	32,4	31,7
	TST % (m/v)	31,4	29,3
	Glucose (g/L)	7,1	8,4

Quando comparada a aplicação final bebida barista desenvolvida a partir das duas Bases Original vs Liofilizada, constatou-se que a semelhança manteve-se, agora ainda mais acentuada (Tabela 4.11). Organolepticamente, as duas bebidas apresentaram ser muito similares, ambas líquidas mas de textura macia e algo cremosa, sendo que a diferença na %TST não era perceptível em boca. O sabor apresentou-se como sendo muito neutro a cereal, sendo que as duas bebidas eram pouco doces e a cor muito equiparável. No entanto, quando medida instrumentalmente com recurso a um colorímetro a cor revelou alguma diferença. A bebida barista proveniente da Base Original apresentava uma tonalidade ligeiramente mais escura, talvez explicado pela %TST superior (Tabela 4.12). Da análise da estabilidade da espuma das duas bebidas, constatou-se a existência de diferenças significativas. O resultado do ensaio em proveta demonstrou que a bebida proveniente da Base Liofilizada era menos estável que a bebida preparada a partir da Base Original (anexo XXI). Este resultado pode dever-se ao facto da bebida proveniente da Base Liofilizada ter perdido sólidos totais; tendo em conta essa premissa poderá ser necessário acrescentar mais fosfato dipotássico neste produto com o intuito de aumentar a estabilidade da espuma.

**Tabela 4.11** – Parâmetros Físico-químicos da Bebida Barista Liofilizada e Original.

		WGOF Low Sugar	
		Bebida Barista Original	Bebida Barista Liofilizada
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH	7,92	7,92
	Brix°	11,8	11,2
	TST % (m/v)	11,4	11,2
	Glucose (g/L)	1	0,9

**Tabela 4.12**– Avaliação da Cor das Bebidas Baristas com recurso a um Colorímetro.

		Bebida Barista Original	Bebida Barista Liofilizada
COLORÍMETRO	L	76,55	81,29
	a	-0,48	-0,72
	b	7,09	8,19
	c	7,1	8,22
	H	93,85	95,06
	COR		

\*L -Luminosidade; a - Coordenada (vermelho/verde); b – Coordenada amarelo/azul; c – Cromo; h- Ângulo da tonalidade

A última aplicação realizada foi o gelado, preparado a partir da mesma Base Concentrada Liofilizada que a bebida barista (Tabela 4.10). Uma vez mais constatou-se que a aplicação proveniente da Base Concentrada Liofilizada apresentou uma %TST ligeiramente inferior (Tabela 4.13). Todavia, a diferença é mínima e pode ser derivada a erros associado aos equipamentos, ao próprio erro humano ou a ganhos de humidade do pó não contabilizados durante o processo de reidratação. Em termos organoléticos, a aplicação gelado foi aquela em que o produto resultante mais se igualou entre aquele preparado a partir da Base Original ou a partir da Base Reidratada. As diferenças em boca eram impercetíveis entre os dois gelados. Ambos eram doces, cremosos e com trau a baunilha. Em termos de cor as duas aplicações eram equivalentes (Tabela 4.14 e Figura 4.6).

**Tabela 4.13** – Parâmetros Físico-químicos do Gelado Vegetal Original e Reidratada.

		Gelado Base Original	Gelado Base Liofilizada
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH	6,61	6,60
	Brix°	41,4	41,4
	Sólidos % (m/v)	49,7	48,7
	Glucose (g/L)	44,8	43,3

**Tabela 4.14** – Avaliação da Cor dos Gelados com recurso a um Colorímetro.

		Gelado Base Reidratada	Gelado Base Original
COLORÍMETRO		64,38	64,38
		1,91	1,91
		19,5	17,67
		19,59	17,77
		84,41	83,84
			

\*L -Luminosidade; a - Coordenada (vermelho/verde); b – Coordenada amarelo/azul; c – Croma; h- Ângulo da tonalidade

**Figura 4.5** – Gelado Original e Liofilizado.

Em geral, as três aplicações realizadas a partir de Bases Concentradas Liofilizadas apresentaram-se, a nível físico-químico e organolético, muito semelhantes às aplicações habitualmente desenvolvidas com a Base Concentrada Original. É transversal, às três aplicações, que a Base Concentrada Liofilizada apresenta sempre uma %TST inferior face à Base Concentrada Original, que pela reduzida diferença, pode ser derivada ao erro associado aos equipamentos, ou ao erro humano ou a ganhos de humidade do pó. Já nas aplicações finais essa diferença atenua-se. Nesse sentido, com a consciência que há sempre parâmetros a otimizar, pode-se concluir que é possível

realizar estas aplicações a partir de uma Base em pó. Pensando numa perspetiva económica, esta possibilidade acarreta inúmeras vantagens na medida em que enviar as Bases Concentradas em pó para clientes para o desenvolvimento de aplicações, é significativamente mais barato pois o pó é mais leve de transportar e nesse seguimento é possível enviar maiores quantidades pelo mesmo preço. Para acrescer a este facto, a Base em pó tem um tempo de vida útil superior face ao seu estado líquido. Assim, foi importante saber se para além das Bases Concentradas se consegue transpor este processo para as aplicações com igual sucesso.

#### 4.3 Viabilidade económica

A liofilização é desde sempre classificada como um dos métodos de secagem mais dispendiosos, sendo que a sua escolha deve apenas prevalecer quando estamos perante alimentos termicamente instáveis ou quando o valor do produto final justifica os gastos (Ahmed & Rahman, 2012). Apesar das vantagens inequívocas, este método é o mais exigente a nível financeiro pelo elevado consumo energético, pelos custos de operação e também de manutenção. A energia necessária para remover 1Kg de água é o dobro na liofilização, face aos demais métodos convencionais (Liu *et al.*, 2008; Ratti, 2001). Comparativamente à secagem ao ar, os seus custos são 4/8 vezes superiores (Ratti, 2001).

Analisando a literatura disponível sobre temática, não são muitos os dados acessíveis sobre a análise económica da liofilização. A informação concentra-se apenas numa das etapas do processo (congelamento ou secagem), ou quando aborda o processo num todo, direciona-se para a eficiência do processo e não tem em conta os aspetos económicos como o custo capital do aparelho (Stratta *et al.*, 2020b). A literatura científica parece indicar que o principal custo deste método não está relacionado com o uso efetivo do liofilizador, mas sim com o investimento inicial no equipamento e nas matérias-primas (Stratta *et al.*, 2020a). Comparando os Custos Operacionais (CO) com os Custo de Capital (CC) do processo, os últimos apresentam-se sempre superiores, representando 91/95% dos Custos Totais (CT), quer em contexto laboratorial, quer em contexto industrial. No que diz respeito aos CO em contexto laboratorial, 67% dizem respeito à secagem primária, 20% à secagem secundária e 12% ao congelamento. Estas percentagens assemelham-se à liofilização em contexto industrial, com exceção da etapa de descongelação que em contexto laboratorial a sua percentagem é desprezível

(1%), mas em contexto industrial representa 5% dos CO (Stratta *et al.*, 2020a). Durante as 3 etapas da liofilização ocorrem 4 operações principais: congelamento, vácuo, sublimação e condensação. É a sublimação que consome quase metade da energia total do processo, já o vácuo e a condensação representam partes iguais do consumo, 25%. Desta forma, parece sensato que os esforços para reduzir os custos associados passem por otimizar a sublimação através da melhoria da transferência de calor, reduzir a necessidade de vácuo e evitar os condensadores (Ratti, 2001). A figura seguinte apresenta os CO vs CC em escala laboratorial e industrial (Stratta *et al.*, 2020a):

Freeze-Dryer	OC, €/cycle	CC, €/cycle	Total Cost, €/cycle	Total Cost, €/dose
Laboratory	3.28	29.76	33.04	0.041
Industrial	107.27	585.24	702.51	0.007

**Figura 4.6** - CO vs CC em escala laboratorial e industrial.

Embora os CT por ciclo sejam consideravelmente superiores em contexto industrial, quando analisado o preço por dose do produto liofilizado este apresenta-se inferior. Esta situação decorre do aumento de produtividade em contexto industrial, pois na verdade esse é o objetivo do *scale-up*, reduzir custos e aumentar a produtividade. Já os custos associados à manutenção destes equipamentos estão pouco documentados na literatura, sendo nesse sentido difícil fazer uma estimativa do mesmo. Os custos de manutenção oscilaram consoante a estratégia específica de cada empresa, existem indústrias em que variam entre o 15-40% dos Custos Totais de Produção e em alguns casos podem atingir os 70% (Bevilacqua *et al.*, 2000; Vishnu & Regikumar, 2016). Face aos números anteriores a otimização económica do ciclo de liofilização é o objetivo primordial, visando reduzir a duração do processo sem repercussões na qualidade do produto. A redução do tempo pode ser conseguida através da maximização da transferência de calor e massa, mas assegurando que a temperatura do produto esteja abaixo da temperatura de colapso. Todavia, esta estratégia implica que a temperatura do produto seja mantida o mais próximo possível do seu limite superior, correndo assim o risco de causar distúrbios no produto. Desta forma, esta decisão deve ser devidamente ponderada pelos riscos associados. Apesar dos inúmeros esforços para tentar reduzir os custos associados a este processo, não se encontrou uma solução capaz de reduzir drasticamente os gastos financeiros sem comprometer a qualidade do produto (Duan *et al.*, 2016). Ainda assim, existem algumas alternativas propostas para reduzir os custos associados entre as quais a liofilização assistida por micro-ondas, em que as micro-

ondas são usadas como fonte de calor melhorando a eficiência de secagem. Todavia, apesar de serem eficazes na redução do tempo de secagem existem alguns problemas associados à sua utilização que ainda estão a ser estudados e torna ainda impeditivo a sua utilização a nível industrial, como é o caso da distribuição não uniforme da temperatura (Chua *et al.*, 2003; Duan *et al.*, 2016). Também a secagem assistida por ultrassom tem vindo a ser proposta como uma técnica capaz de reduzir custos, na medida em que a remoção de água com assistência de ondas ultrassónicas pode ocorrer a temperaturas mais baixas e em períodos mais reduzidos (Pisano *et al.*, 2014).

No presente trabalho, testou-se a viabilidade da liofilização enquanto método de secagem para 11 Bases Vegetais Concentradas. Nesse seguimento concluiu-se que, apesar da liofilização se ter demonstrado eficaz para a secagem da maioria das Bases, não é um método que pode ser aplicado de forma transversal a todos os cereais. É de notar que esta conclusão foi retirada face a receitas que estão fechadas e que em nada foram ajustadas para otimizar os resultados. Nesse sentido, tendo em conta os custos associados a esta metodologia e pensando num investimento para uma escala industrial, é importante perceber se não existirá outro método ainda mais eficaz que a liofilização e menos dispendioso economicamente.

No que diz respeito aos contactos estabelecidos com outras empresas, o intuito foi procurar outras metodologias de secagem para secar as mesmas Bases Concentradas e fazer uma análise económica dos diferentes resultados obtidos, na tentativa de encontrar a melhor solução preço/qualidade. O nome das empresas em causa é confidencial, à exceção da parceria estabelecida com a Escola Superior de Biotecnologia do Porto (ESB). O primeiro contacto foi estabelecido com uma empresa (A) Francesa que criaram a sua própria metodologia de secagem, que na prática se assemelha à liofilização mas sem a etapa de congelação, o que torna esta metodologia menos dispendiosa. Para esta empresa foi apenas enviada a Base WGOF *Low Sugar*, a Base com melhores resultados na liofilização. Os resultados obtidos denotam uma percentagem de humidade superior (7,40%) à obtida na liofilização na OATVITA, e um rendimento (27%) e uma eficiência (71%) inferiores. Todavia, pelo facto de não necessitar da fase de congelação, torna este método consideravelmente mais económico. Nesse sentido, apesar dos valores serem ligeiramente menos favoráveis, são valores considerados ainda ótimos, com a vantagem de terem custos inferiores associados. Assim, seria uma tecnologia a ponderar para testar a eficácia nas restantes bases e caso apresentasse resultados similares aos obtidos com a Base WGOF *Low Sugar*, seria uma

metodologia em que a qualidade/preço se sobrepunha. O segundo contacto foi efetuado com a ESB com o intuito de aplicar a técnica de secagem *Spray Dryer* a algumas Bases, nomeadamente a Base WGOF Low Sugar e OB *Low Sugar*. Os resultados não foram os mais satisfatórios, uma vez que com a Base WGOF *Low Sugar* não se conseguiu secar o produto e com a Base OB *Low Sugar* colocou-se 1800g de Base a secar e retirou-se apenas 4,64g de produto seco, o que corresponde a um rendimento de 0,26% e uma eficiência de 0,96%. O terceiro contacto foi estabelecido com uma empresa na Alemanha (B), cuja técnica empregue era também *Spray Dryer* contudo com recurso a uma tecnologia mais sofisticada. As Bases enviadas foram Base WGOF *Low Sugar*, WGOF *High Sugar* e OB *High Sugar*. No que concerne aos resultados obtidos, todas as Bases foram eficazmente secas, com exceção das Bases *High Sugar* que só foram possíveis secar com auxílio de maltodextrina. O preço proposto pela empresa é 1,80 euro por Kg de produto por secar mais limpeza do equipamento incluída. Por último, foi efetuado o contacto com uma empresa (C) no Canadá, cuja tecnologia de secagem é um método patenteado REV<sup>TM</sup> (Radiant Energy Vacuum) que consiste numa secagem a vácuo assistida por microondas e que decorre a baixas temperaturas. Porém, das Bases enviadas, as Bases OB *Low Sugar* e WGOF *High Sugar*, nenhuma conseguiu ser seca com esta metodologia.

Em suma, de todas as metodologias testadas conclui-se que o *Spray Dryer* da ESB e o REV<sup>TM</sup> não são métodos eficazes para secar estas Bases e nesse seguimento não apresentam viabilidade económica. A liofilização, é segundo a literatura o método mais dispendioso financeiramente e tem ainda a desvantagem, de neste caso não resultar com todas as Bases. Todavia, seria interessante perceber se usar algum tipo de adjuvante tecnológico surtia melhores resultados. Já a empresa Francesa apresenta uma tecnologia bastante inovadora que seria de experimentar nas restantes Bases, pois caso resultasse poder-se-ia investir numa escala de produção industrial, tendo em conta que é uma metodologia mais barata de Secagem que a liofilização. Por último, o *Spray Dryer* da empresa Alemã também parece bastante promissor, embora os valores de secagem (humidade e rendimento) não sejam tão aliantes como os da liofilização, os resultados foram eficazes com as Bases enviadas e os preços são mais baratos que os da liofilização. No momento aguarda-se um teste industrial com uma bebida *creamer* da unidade OATVITA.

## Capítulo 5 - Conclusões e Perspetivas Futuras

A liofilização é já um método de secagem amplamente usado em diferentes alimentos. Independentemente do seu demorado tempo de processamento e dos altos custos associados, a elevada qualidade do produto final faz deste um dos métodos de eleição para produtos *Plant-Based*. No presente trabalho, este método demonstrou-se de uma forma geral igualmente eficaz na secagem de diferentes Bases Vegetais Concentradas. Percebeu-se que para além de ser possível secar Bases com diferentes características, à exceção da Base de Arroz *High Sugar*, as Bases liofilizadas quando reidratadas apresentam parâmetros físico-químicos e organoléticos semelhantes aos das Bases Originais que não sofreram qualquer processo de secagem. Foi possível também concluir que ao longo das 8 semanas, as Bases não apresentaram alterações a nível físico-químico e organolético que possam indicar algum tipo de deterioração do produto em pó. Este resultado permite concluir que, pelo menos durante 8 semanas, as Bases secas mantêm a sua estabilidade físico-química e organolética. Todavia, seria importante analisar igualmente a estabilidade microbiológica das diferentes Bases em pó. Neste caso, o tempo de estudo era limitado e uma vez que a investigação estava inserida num contexto empresarial, existiram limitações que nem sempre permitiram dar resposta a todos os objetivos. Outra situação que também seria interessante estudar e que durante o período de estudo não foi possível, é o impacto da liofilização na composição nutricional das diferentes Bases Concentradas. Segundo a literatura a liofilização é o método que melhor preserva estas propriedades, no entanto ainda existem perdas que são sempre relatadas e nesse sentido era interessante perceber o impacto neste produto em concreto.

A similaridade existente entre as Bases Liofilizadas e Originais manteve-se quando as mesmas foram usadas para o desenvolvimento de aplicações e as potenciais diferenças registadas foram ainda mais atenuadas. Mais uma vez pelo limite de tempo, não foi possível analisar se este comportamento teria reprodutibilidade com todas as Bases Concentradas. Ainda assim, os resultados obtidos permitiram concluir que as Bases Concentradas podem ser comercializadas na forma seca o que acarreta múltiplas vantagens comerciais. Em primeiro lugar o tempo de vida útil do produto aumenta, de duas semanas para as Bases no estado líquido para pelo menos 8 semanas para as Bases no estado seco. Sendo muitos dos transportes destes produtos transatlânticos, o produto no estado seco é mais estável de transportar. Outra vantagem passa pelo facto de pelo

mesmo preço, ser possível transportar mais produto no estado seco uma vez que o pó é muito mais leve do que as Bases no seu estado líquido. No entanto, é sabido que a liofilização é dos métodos de secagem mais dispendiosos deste modo, é importante saber se não haverá outra metodologia que seja igualmente eficaz em termos de resultados e que a nível económico não acarrete gastos tão elevados. A análise da viabilidade económica é sempre uma componente densa, neste estudo apenas foi possível uma contextualização com base na literatura científica e o início do contacto com alguns *players* do mercado que dispõem de outras tecnologias de secagem, com o intuito de estudar a resposta de algumas Bases a outras técnicas. Aqui ficou uma porta aberta para um caminho que será necessário desbravar com mais estudos neste sentido.

Em suma, apesar dos resultados promissores para as questões em análise, existe ainda a necessidade de estudar outros parâmetros que ficaram por analisar e que só seria possível através de um estudo mais aprofundado sobre o impacto da liofilização nas diferentes Bases Concentradas. Assim, mais estudos serão necessários neste sentido na certeza de que o estudo aqui apresentado é um bom ponto de partida.

## Cap. 6 - Bibliografia

- Ahmed, J., & Rahman, M. S. (2012). *Handbook of Food Process Design, 2 Volume Set*: John Wiley & Sons.
- Ahmed, N., Singh, J., Chauhan, H., Anjum, P. G. A., Kour, H. J. I. J. o. f. n., & safety. (2013). Different drying methods: their applications and recent advances. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 4(1), 34-42.
- Anandharamakrishnan, C. (2017). *Handbook of Drying for Dairy Products*: John Wiley & Sons.
- Arora, N. K., & Mishra, I. (2019). United Nations Sustainable Development Goals 2030 and environmental sustainability: race against time. In: Springer.
- Asami, D. K., Hong, Y.-J., Barrett, D. M., Mitchell, A. E. J. J. o. a., & chemistry, f. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1237-1241.
- Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P., Perez-Cueto, F. J. J. C. R. i. F. S., & Nutrition. (2020). Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-10.
- Aschemann-Witzel, J., Grunert, K. G., van Trijp, H. C., Bialkova, S., Raats, M. M., Hodgkins, C., Koenigstorfer, J. J. A. (2013). Effects of nutrition label format and product assortment on the healthfulness of food choice. *Appetite*, 71, 63-74.
- Aschemann, J., Hamm, U., Naspetti, S., & Zanolli, R. J. O. f. A. i. h. (2007). The organic market. *Organic farming: An international history*, 123-151.
- Asioli, D., Varela, P., Hersleth, M., Almli, V. L., Olsen, N. V., Naes, T. J. F. Q., & Preference. (2017). A discussion of recent methodologies for combining sensory and extrinsic product properties in consumer studies. *Food Quality and Preference*, 56, 266-273.
- Association, P. B. F. (2021). Plant-based food sales surpass \$7 billion, sales up 27% in 2020. Retrieved from <https://www.plantbasedfoods.org/retail-sales-data/>
- Augustin, M. A., Riley, M., Stockmann, R., Bennett, L., Kahl, A., Lockett, T., . . . Technology. (2016). Role of food processing in food and nutrition security. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 115-125.

- Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., . . . Witrowa-Rajchert, D. J. F. R. I. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77, 773-798.
- Benzie, I. F., Choi, S.-W. J. A. i. f., & research, n. (2014). Antioxidants in food: content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs. *Advances in Food and Nutrition Research*, 71, 1-53.
- Berk, Z. (2008). *Food process engineering and technology*: Academic press.
- Bevilacqua, M., Braglia, M. J. R. E., & Safety, S. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71-83.
- Bhatta, S., Stevanovic Janezic, T., & Ratti, C. (2020a). Freeze-Drying of Plant-Based Foods. *Foods*, 9(1), 87.
- Bhatta, S., Stevanovic Janezic, T., & Ratti, C. J. F. (2020b). Freeze-drying of plant-based foods. *Foods*, 9(1), 87.
- Bonnechère, A., Hanot, V., Jolie, R., Hendrickx, M., Bragard, C., Bedoret, T., & Van Loco, J. J. F. C. (2012). Effect of household and industrial processing on levels of five pesticide residues and two degradation products in spinach. *Food Control*, 25(1), 397-406.
- Business, N. (2020). 10 Key Trends in Food, Nutrition & Health 2020. Retrieved from <https://www.new-nutrition.com/nnbReport/display/135>
- Chua, K., Mujumdar, A., & Chou, S. J. B. T. (2003). Intermittent drying of bioproducts—an overview. *Bioresource Technology*, 90(3), 285-295.
- Cornejo, F., Nogueira, R., & Wilberg, V. J. E. A. d. A.-D. (2003). Secagem como método de conservação de frutas. *Embrapa Agroindústria de Alimentos-Documentos (INFOTECA-E)*.
- Cummings, S., Parham, E. S., & Strain, G. W. J. J. o. t. A. D. A. (2002). Position of the American Dietetic Association weight management. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(2), 102(8), 1145-1155.
- de Bruijn, J., Rivas, F., Rodriguez, Y., Loyola, C., Flores, A., Melin, P., . . . Preservation. (2016). Effect of vacuum microwave drying on the quality and storage stability of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 1104-1115.

- De la Fuente-Blanco, S., De Sarabia, E. R.-F., Acosta-Aparicio, V., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juárez, J. J. U. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, e523-e527.
- Derbyshire, E. J. J. F. i. n. (2017). Flexitarian diets and health: a review of the evidence-based literature. *Frontiers in nutrition*, 3, 55.
- Devahastin, S., Niamnuy, C. J. I. J. o. F. S., & Technology. (2010). Invited review: modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(9), 1755-1767.
- Di Daniele, N. (2019). The Role of Preventive Nutrition in Chronic Non-Communicable Diseases. *11(5)*, 1074.
- do Vale Morais, A. R., do Nascimento Alencar, É., Júnior, F. H. X., De Oliveira, C. M., Marcelino, H. R., Barratt, G., . . . Elaissari, A. J. I. j. o. p. (2016). Freeze-drying of emulsified systems: A review. *International Journal of Pharmaceutics*, 503(1-2), 102-114.
- Duan, X., Yang, X., Ren, G., Pang, Y., Liu, L., & Liu, Y. J. D. T. (2016). Technical aspects in freeze-drying of foods. *Drying Technology*, 34(11), 1271-1285.
- Dwyer, J. T. J. T. A. j. o. c. n. (1988). Health aspects of vegetarian diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 48(3), 712-738.
- Dziki, D., Polak, R., Rudy, S., Krzykowski, A., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R., . . . Combrzyński, M. J. I. A. (2018). Simulation of the process kinetics and analysis of physicochemical properties in the freeze drying of kale. *International Agrophysics*, 32(1), 49.
- Dziki, D. J. P. (2020). Recent Trends in Pretreatment of Food before Freeze-Drying Processes, 8(12), 1661.
- e Silva, J. d. S. (1995). *Pré-processamento de produtos agrícolas*: Instituto Maria.
- EUVEPRO. (2021). Retrieved from [https://euvepro.eu/library/files/INNOVA\\_2018\\_report\\_%20summary\\_-\\_THE\\_USE\\_OF\\_PLANT-BASED\\_PR](https://euvepro.eu/library/files/INNOVA_2018_report_%20summary_-_THE_USE_OF_PLANT-BASED_PR)
- Evans, J. A. (2009). *Frozen food science and technology*: John Wiley & Sons.
- FDA. (2014). Lyophilization of Parenteral (7/93). Retrieved from <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-guides/lyophilization-parenteral-793>

- Fehér, A., Gazdecki, M., Véha, M., Szakály, M., & Szakály, Z. (2020a). *A Comprehensive Review of the Benefits of and the Barriers to the Switch to a Plant-Based Diet. Sustainability*, 12(10), 4136.
- Fehér, A., Gazdecki, M., Véha, M., Szakály, M., & Szakály, Z. J. S. (2020b). A Comprehensive Review of the Benefits of and the Barriers to the Switch to a Plant-Based Diet. *Sustainability*, 12(10), 4136.
- Feng, Y., Tan, C. P., Zhou, C., Yagoub, A. E. A., Xu, B., Sun, Y., . . . Yu, X. J. F. c. (2020). Effect of freeze-thaw cycles pretreatment on the vacuum freeze-drying process and physicochemical properties of the dried garlic slices. *Sustainability*, 324, 126883.
- Foundation, A. (2015). The Plant-based Plan: new edition 2015. Retrieved from <https://www.alprofoundation.org/scientific-updates/plant-based-eating/the-plant-based-plan-book/>
- Fox, K. J. F. L. h. w. f. c. s. k. h.-w.-y.-s.-t.-b.-v.-i.-L. (2017). Here's why you should turn your business vegan in 2018. *Luettu*, 13, 2018.
- Gava, A. J., da Silva, C. A. B., & Frias, J. R. G. (2009). *Tecnologia de alimentos*: NBL Editora.
- Gerke, M., & Janssen, M. J. E. U. (2017). Vegan foods: Labelling practice. *64(3)*, 54-57.
- GlobeNewswire. (2020). Freeze Dried Food Market- Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025). Retrieved from <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/11/24/2132703/0/en/Freeze-Dried-Food-Market-Growth-Trends-and-Forecast-2020-2025.html>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., . . . Toulmin, C. J. s. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818.
- Godfray, H. C. J., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Nisbett, N., . . . Whiteley, R. (2010). The future of the global food system. In: The Royal Society.
- Grunert, K. G. (2013). Trends in food choice and nutrition. In *Consumer attitudes to food quality products* (pp. 23-30): Springer.
- Harguindeguy, M., & Fissore, D. J. D. T. (2020). On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review. *Drying Technology*, 38(7), 846-868.
- Hayashi, H. J. D. t. (1989). Drying technologies of foods-their history and future. *Drying Technology*, 7(2), 315-369.

- Intelligence, M. (2021). FREEZE-DRIED FOOD MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2021 - 2026). Retrieved from <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/freeze-dried-food-market>
- Jennings, T. A. (1999). *Lyophilization: introduction and basic principles*: CRC press.
- Jin, W., Mujumdar, A. S., Zhang, M., & Shi, W. J. F. E. R. (2018). Novel drying techniques for spices and herbs: A review. *Food Engineering Reviews*, 10(1), 34-45.
- Kahleova, H., Levin, S., & Barnard, N. J. N. (2017). Cardio-metabolic benefits of plant-based diets. *Nutrients*, 9(8), 848.
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E. B., & Scher, J. J. J. o. F. E. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32-49.
- Karel, M. J. F. d., & technology, a. f. (1975). Heat and mass transfer in freeze drying. *Freeze drying and advanced food technology*, 177-202.
- Karlström, B. E., Järvi, A. E., Byberg, L., Berglund, L. G., & Vessby, B. O. J. T. A. j. o. c. n. (2011). Fatty fish in the diet of patients with type 2 diabetes: comparison of the metabolic effects of foods rich in n-3 and n-6 fatty acids. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94(1), 26-33.
- Kearney, J. J. P. t. o. t. r. s. B. b. s. (2010). Food consumption trends and drivers. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 2793-2807.
- Keey, R. B. (2013). *Drying: principles and practice* (Vol. 13): Elsevier.
- Kevany, K. M., Baur, G., & Wang, G. C. (2018). Shifting Food Systems: Increasing Well-Being Through Plant-Based Approaches. *EXPLORE*, 14(6), 435-442.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.explore.2018.04.012>
- Khan, M. R. J. P. J. o. F. S. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2), 71-85.
- Kowalski, S., Mierzwa, D., & Stasiak, M. J. D. T. (2017). Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions. *Drying Technology*, 35(8), 939-947.
- Krokida, M., Maroulis, Z. J. D. t. i. a., & sciences, f. (2000). Quality changes during drying of food materials. *Drying technology in agriculture and food sciences*, 4(2), 61-68.
- Lachat, C., Nago, E., Verstraeten, R., Roberfroid, D., Van Camp, J., & Kolsteren, P. J. O. r. (2012). Eating out of home and its association with dietary intake: a systematic review of the evidence. *Obesity reviews*, 13(4), 329-346.
- Lantern, C. J. U. t. v. b. R. (2019). The Green Revolution. *John Wiley and Sons*, 21.

- Lea, E. J., Crawford, D., & Worsley, A. J. E. j. o. c. n. (2006). Public views of the benefits and barriers to the consumption of a plant-based diet. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60(7), 828-837.
- Leitzmann, C. J. T. A. j. o. c. n. (2014). Vegetarian nutrition: past, present, future. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100(suppl\_1), 496S-502S.
- Liu, Y., Zhao, Y., & Feng, X. J. A. T. E. (2008). Exergy analysis for a freeze-drying process. *Applied Thermal Engineering*, 28(7), 675-690.
- Live, F. M. (2021). Plant-Based Pavilion. Retrieved from <https://www.foodmatterslive.com/exhibit/plant-based-pavilion>
- Lozano, J. E., Anon, C., Barbosa-Canovas, G. V., & Parada-Arias, E. (2000). Trends in food engineering: CRC Press.
- Lusk, J. (2016). *Unnaturally delicious: How science and technology are serving up super foods to save the world*: Macmillan.
- Maisnam, D., Rasane, P., Dey, A., Kaur, S., Sarma, C. J. J. o. F. T., & Preservation. (2017). Recent advances in conventional drying of foods. *Journal of Food Technology and Preservation*, 1(1).
- Marques, L. G., Silveira, A. M., & Freire, J. T. J. D. t. (2006). Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying technology*, 24(4), 457-463.
- Mayor, L., & Sereno, A. J. J. o. f. e. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373-386.
- McCarty, M. J. M. h. (1999). Vegan proteins may reduce risk of cancer, obesity, and cardiovascular disease by promoting increased glucagon activity. *Medical hypotheses*, 53(6), 459-485.
- McManus, K. D. J. H. M. S. (2018). What is a plant-based diet and why should you try it? *Harvard Medical School*.
- Meeting, J. F. W. E. C. o. F. A., & Organization, W. H. (2013). *Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-seventh report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives (Vol. 77)*: World Health Organization.
- Melina, V., Craig, W., Levin, S. J. J. o. t. A. o. N., & Dietetics. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: vegetarian diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(12), 1970-1980.
- Mellor, J. D. (1978). *Fundamentals of freeze-drying*: Academic Press Inc.(London) Ltd.
- MELONI, P. L. S. J. F. I. F. (2003). Desidratação de frutas e hortaliças. 87.

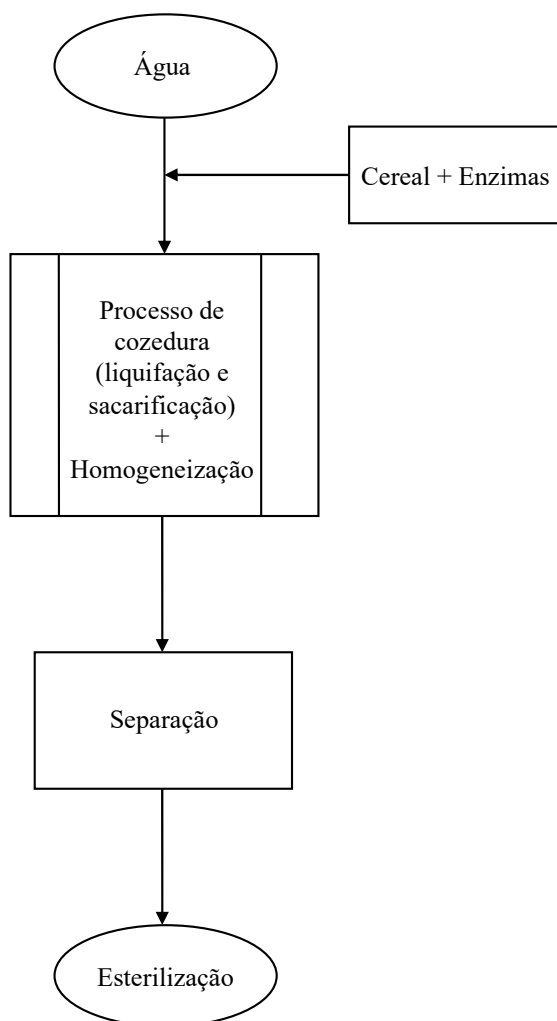
- Molina-Montes, E., Salamanca-Fernández, E., Garcia-Villanova, B., & Sánchez, M. J. J. N. (2020). The impact of plant-based dietary patterns on cancer-related outcomes: a rapid review and meta-analysis. *Nutrients*, 12(7), 2010.
- Montagnese, C., Santarpia, L., Iavarone, F., Strangio, F., Sangiovanni, B., Buonifacio, M., . . . Pasanisi, F. (2019). Food-Based Dietary Guidelines around the World: Eastern Mediterranean and Middle Eastern Countries. *Nutrients*, 11(6), 1325.
- Mujumdar, A. S., Law, C. L. J. F., & Technology, B. (2010). Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. *Food and Bioprocess Technology*, 3(6), 843-852.
- Mujumdar, A. S. J. D. T. (2004). Research and development in drying: Recent trends and future prospects. *Drying Technology*, 22(1-2), 1-26.
- Mujumdar, A. S. J. M. s. P. G. t. I. D. P., Equipment, & New Developments. Brossard, C. E. C. (2000). Classification and selection of industrial dryers. 23-36.
- Mujumdar, A. S. J. T. i. p. m. (2007). An overview of innovation in industrial drying: current status and R&D needs. *Transport in porous media*, 66(1), 3-18.
- Musielak, G., Mierzwa, D., Kroehnke, J. J. T. i. F. S., & Technology. (2016). Food drying enhancement by ultrasound—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 126-141.
- NetWork, E. D. J. (2019). Europe is going veg. Retrieved from <https://www.europeandatajournalism.eu/eng/News/Data-news/Europe-is-going-veg>
- Nireesha, G., Divya, L., Sowmya, C., Venkateshan, N., & Lavakumar, V. J. I. j. o. n. t. i. p. s. (2013). Lyophilization/freeze drying-an review. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciences*, 3(4), 87-98.
- Organization, W. H. (2019). *Preventing disease through healthy environments: exposure to highly hazardous pesticides: a major public health concern*. Retrieved from
- Patel, S. M., Doen, T., & Pikal, M. J. J. A. P. (2010). Determination of end point of primary drying in freeze-drying process control. *Aaps Pharmscitech*, 11(1), 73-84.
- PBFA. (2020). New Data Shows Plant-Based Food Outpacing Total Food Sales During COVID-19. Retrieved from <https://www.plantbasedfoods.org/plant-based-food-outpaces-total-food-sales-during-covid19/>
- Pikal, M., Roy, M., & Shah, S. J. J. o. p. s. (1984). Mass and heat transfer in vial freeze-drying of pharmaceuticals: Role of the vial. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 73(9), 1224-1237.

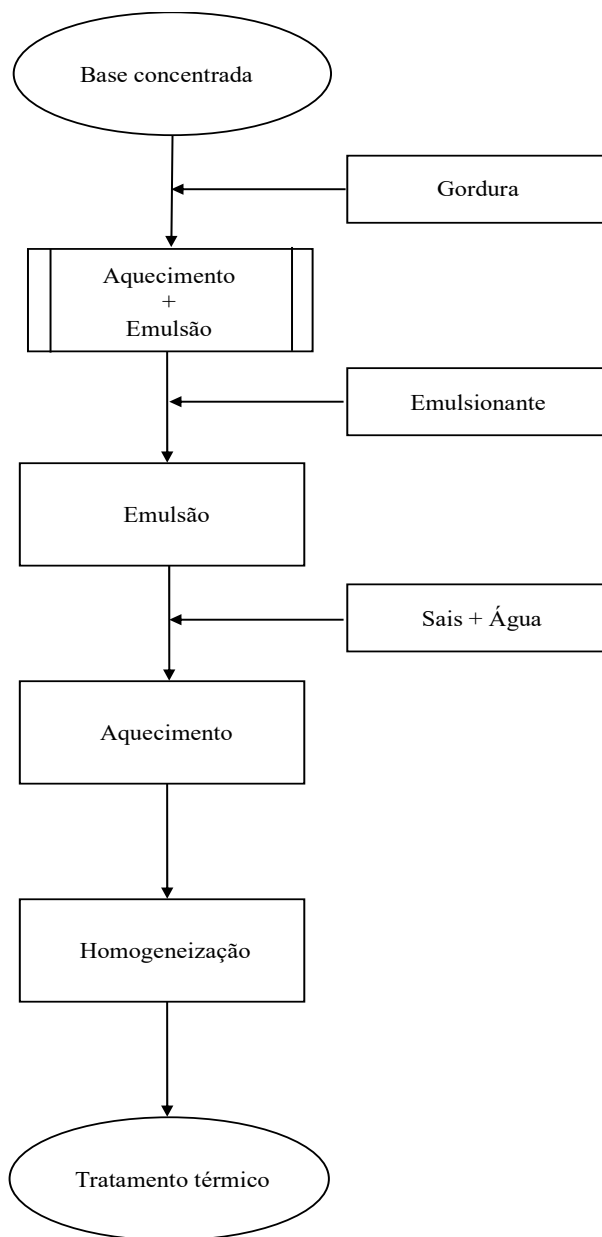
- Pimentel, D., & Pimentel, M. J. T. A. j. o. c. n. (2003). Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *78*(3), 660S-663S.
- Pisano, R., Fissore, D., & Barresi, A. A. J. M. d. t. (2014). Intensification of Freeze-Drying for the Pharmaceutical and Food Industries. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 131-161.
- Piskov, S., Timchenko, L., Grimm, W.-D., Rzhepakovsky, I., Avanesyan, S., Sizonenko, M., & Kurchenko, V. J. F. (2020). Effects of various drying methods on some physico-chemical properties and the antioxidant profile and ACE inhibition activity of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Foods*, *9*(2), 160.
- Ratti, C. (2013). Freeze drying for food powder production. In *Handbook of Food Powders* (pp. 57-84): Elsevier.
- Ratti, C. J. J. o. f. e. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, *49*(4), 311-319.
- Révillion, J. P. P., Kapp, C., Badejo, M. S., da Veiga Dias, V. J. C. d. C., & Tecnologia. (2020). O mercado de alimentos vegetarianos e veganos: características e perspectivas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, *37*(1), 26603.
- Rey, L. (2016). Glimpses into the realm of freeze-drying: classical issues and new ventures. In *Freeze-drying/lyophilization of pharmaceutical and biological products* (pp. 15-42): CRC Press.
- Rudy, S., Dziki, D., Krzykowski, A., Gawlik-Dziki, U., Polak, R., Różyło, R., . . . Technology. (2015). Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). *LWT-Food Science and Technology*, *63*(1), 497-503.
- Rybak, K., Samborska, K., Jedlinska, A., Parniakov, O., Nowacka, M., Witrowa-Rajchert, D., . . . Technologies, E. (2020). The impact of pulsed electric field pretreatment of bell pepper on the selected properties of spray dried juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *65*, 102446.
- Sagar, V., Kumar, P. S. J. J. o. f. s., & technology. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *47* (1), 15-26.
- Santos, P., & Silva, M. J. D. T. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables—A review. *Drying Technology*, *26*(12), 1421-1437.

- Schaffazick, S. R., Pohlmann, A. R., Dalla-Costa, T., Guterres, S. I. S. J. E. J. O. P., & biopharmaceutics. (2003). Freeze-drying polymeric colloidal suspensions: nanocapsules, nanospheres and nanodispersion. A comparative study. *56*(3), 501-505.
- Sheraz, M., Khan, M. F., Ahmed, S., Kazi, S. H., & Ahmad, I. J. H. P. C. T. (2015). Stability and stabilization of ascorbic acid. *Househ. Pers. Care Today*, *10*, 22-25.
- Slangen, H. J. D. T. (2000). The need for fundamental research on drying as perceived by the European chemical industry. *Drying Technology*, *18*(7), 1601-1604.
- Statista. (2020). Statistics and facts on the vegan market. Retrieved from <https://www.statista.com/topics/3377/vegan-market/>
- Stratta, L., Capozzi, L. C., Franzino, S., & Pisano, R. (2020a). Economic Analysis of a Freeze-Drying Cycle. *Processes*, *8*(11), 1399.
- Stratta, L., Capozzi, L. C., Franzino, S., & Pisano, R. J. P. (2020b). Economic analysis of a freeze-drying cycle. *Processes*, *8*(11), 1399.
- Sun, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. J. F. E. R. (2019). Berry drying: Mechanism, pretreatment, drying technology, nutrient preservation, and mathematical models. *Food Engineering Reviews*, 1-17.
- Tsotsas, E., & Mujumdar, A. S. (2011). *Modern drying technology, Volume 4: Energy savings*: John Wiley & Sons.
- Venkatachalapathy, K., & Raghavan, G. J. A. E. J. (2000). Microwave drying of whole, sliced and pureed strawberries. *Agricultural Engineering Journal*, *9*(1), 29-39.
- Vishnu, C., & Regikumar, V. J. P. T. (2016). Reliability based maintenance strategy selection in process plants: a case study. *Procedia technology*, *25*, 1080-1087.
- Weaver, C. M., Dwyer, J., Fulgoni III, V. L., King, J. C., Leveille, G. A., MacDonald, R. S., . . . Schnakenberg, D. J. T. A. J. O. C. N. (2014). Processed foods: contributions to nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *99*(6), 1525-1542.
- Wei, W., Mo, C., & Guohua, C. J. C. J. O. C. E. (2012). Issues in freeze drying of aqueous solutions. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *20*(3), 551-559.
- WHO, W. H. O. J. G. (2010). Exposure to dioxins and dioxin-like substances: a major public health concern. *Geneve: WHO*.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., . . . Wood, A. J. T. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, *393*(10170), 447-492.
- Yamada, T., Yamakage, K., Takahashi, K., Takaki, K., Orikasa, T., Kamagata, J., . . . Engineering, E. (2020). Influence of Drying Rate on Hot Air Drying Processing of

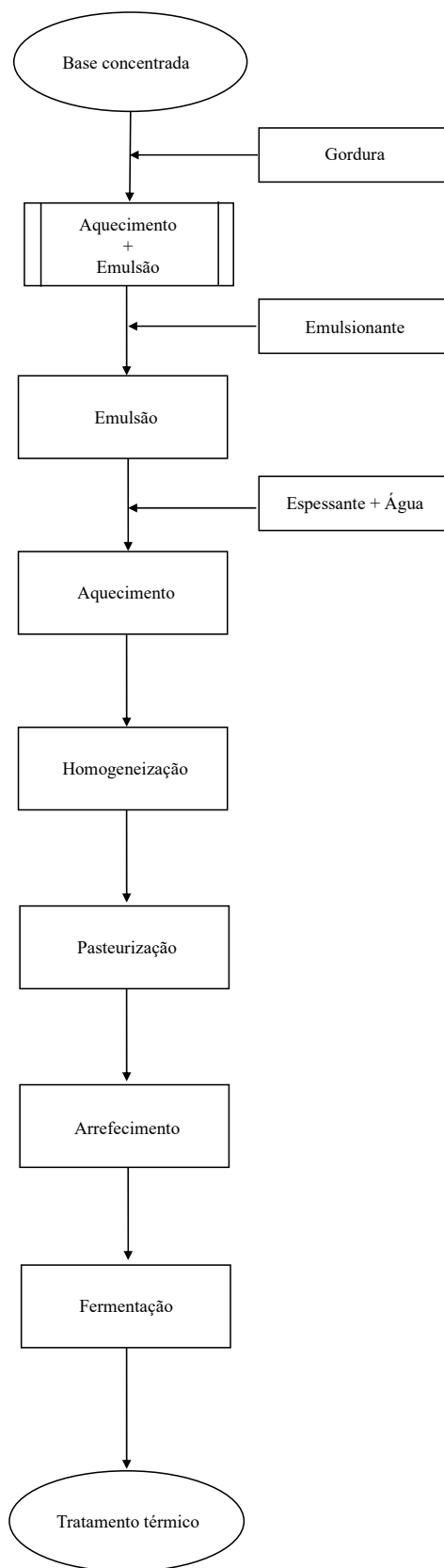
Fresh Foods Using Pulsed Electric Field. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 15(7), 1123-1125.

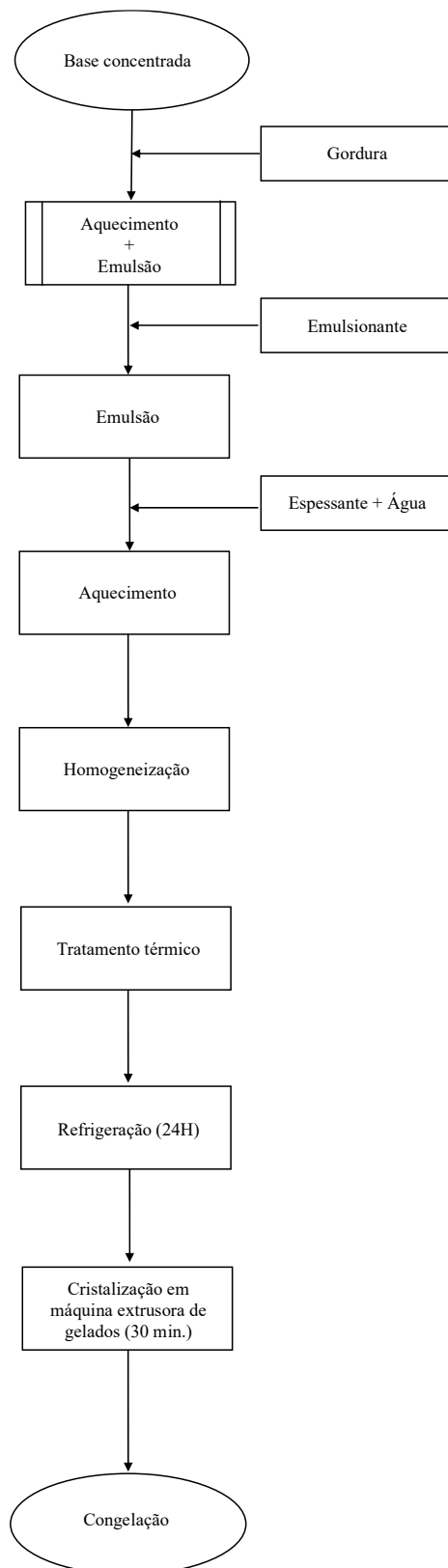
**ANEXOS**

**Anexo I – Fluxograma da produção de uma Base Concentrada Vegetal**

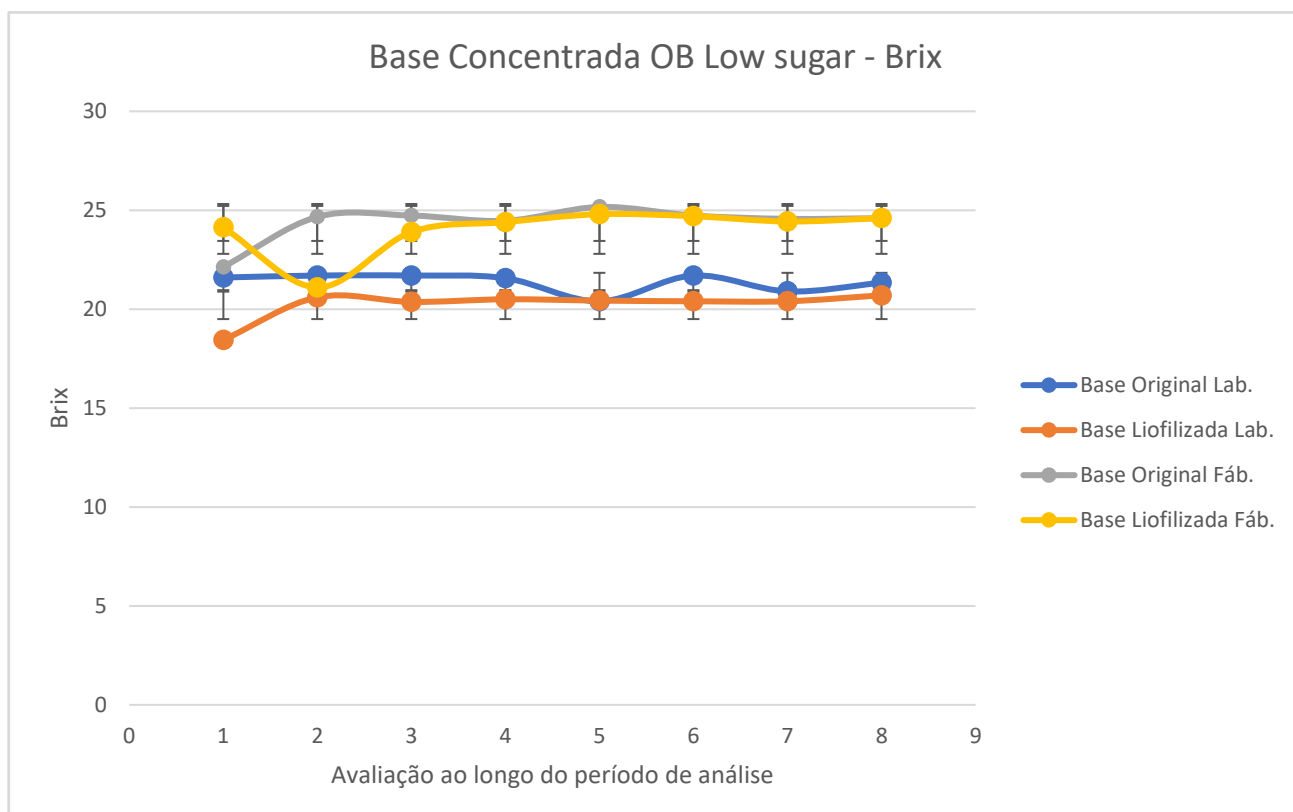
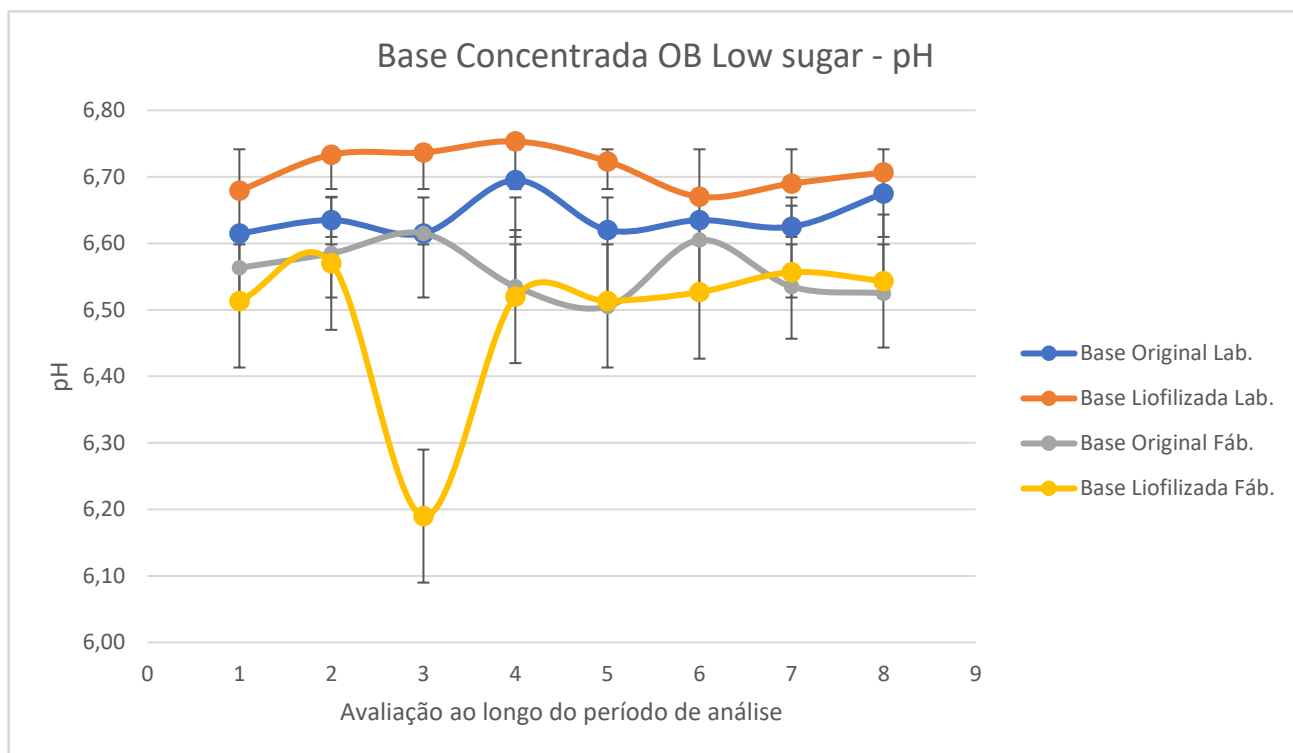
**Anexo II - Fluxograma da elaboração da Bebida Barista**

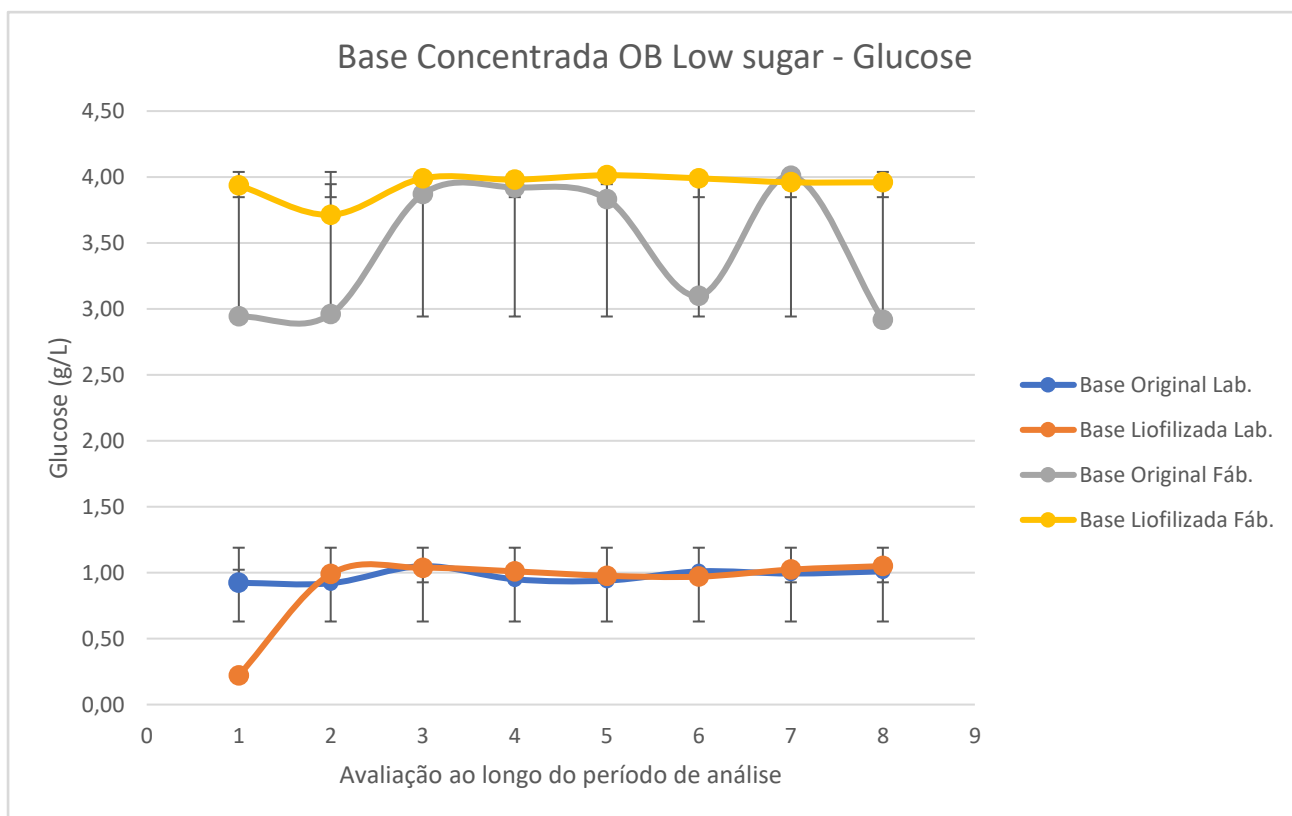
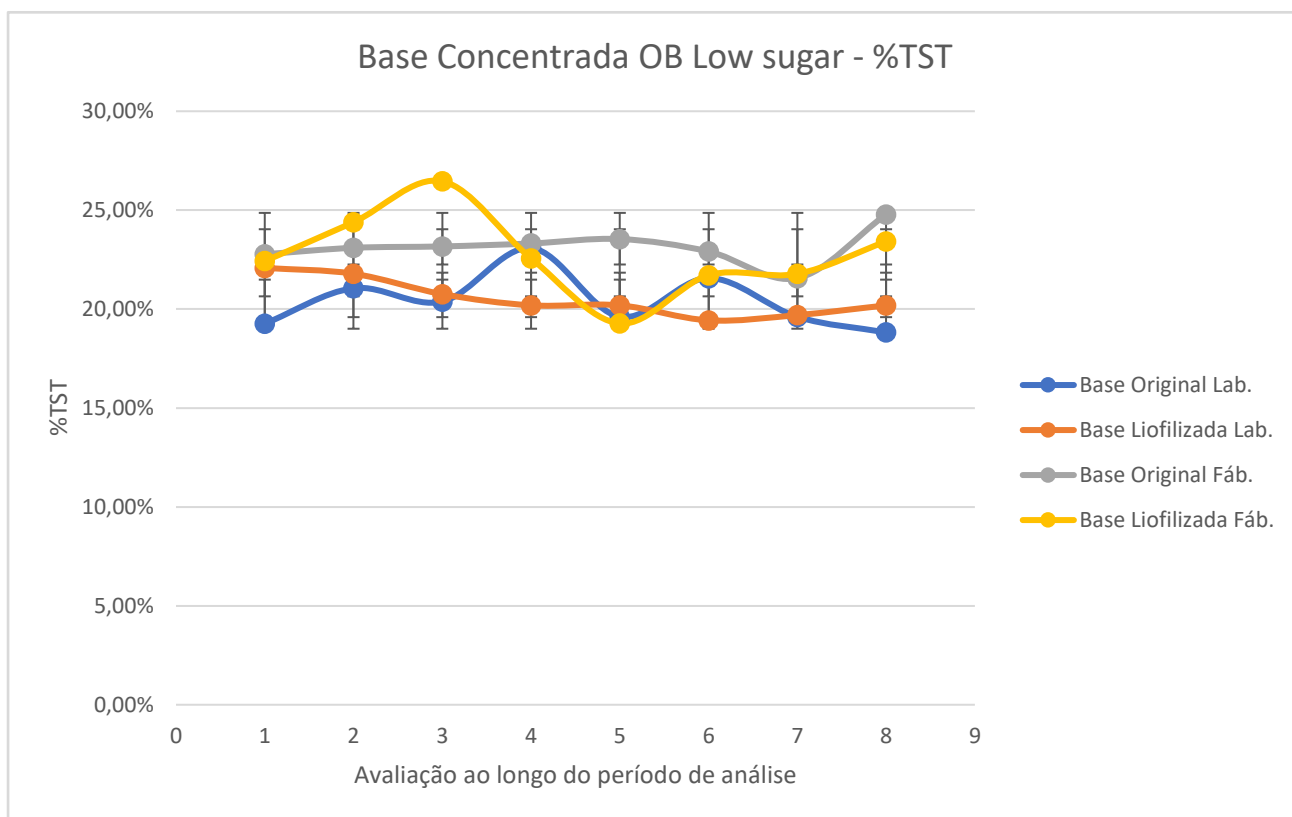
## Anexo III – Fluxograma da elaboração de um Tipo-Iogurte

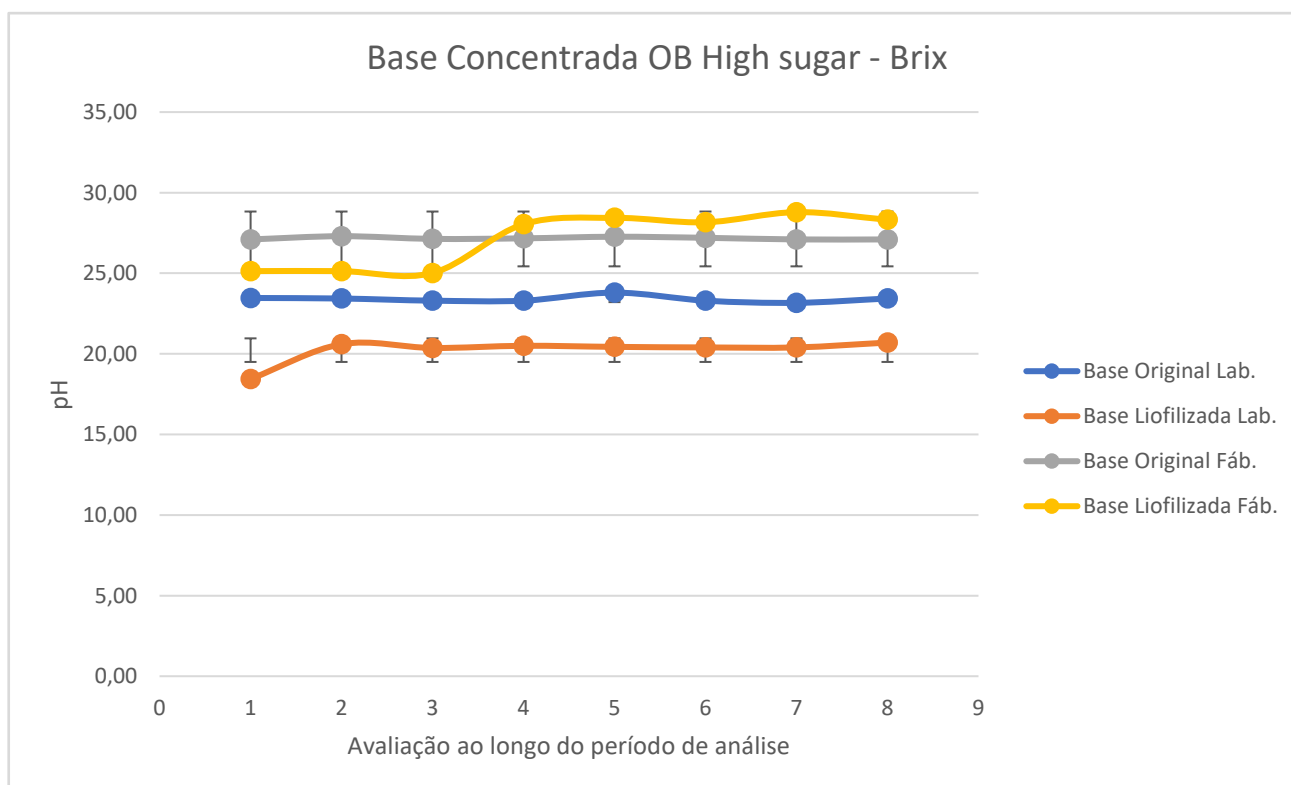
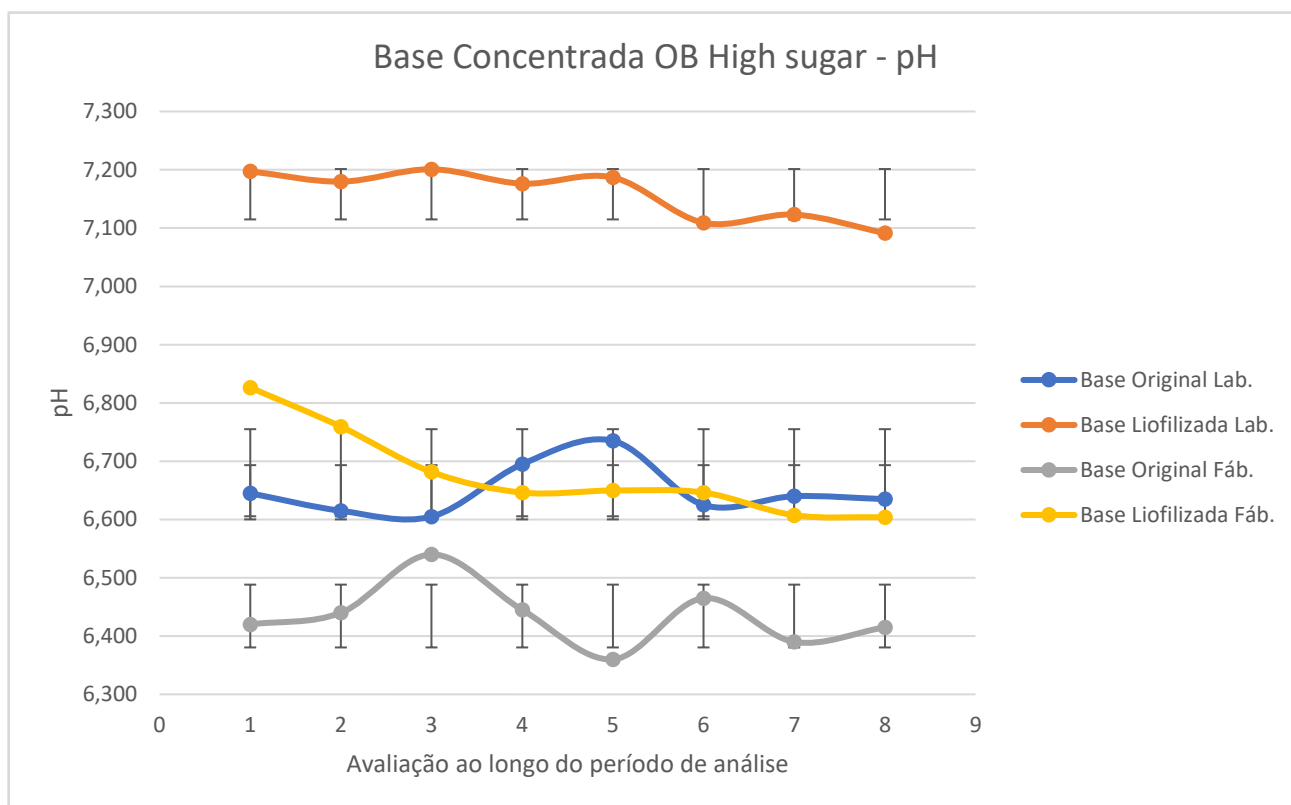


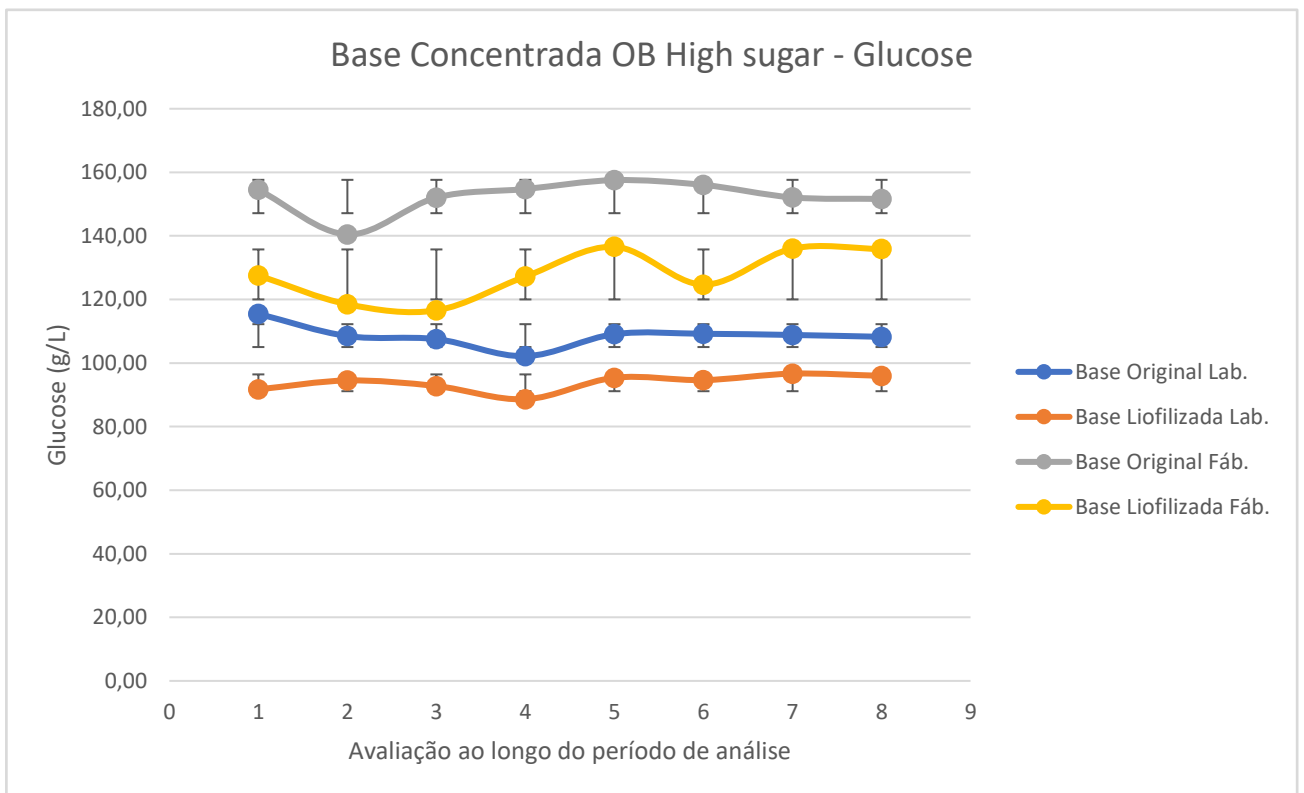
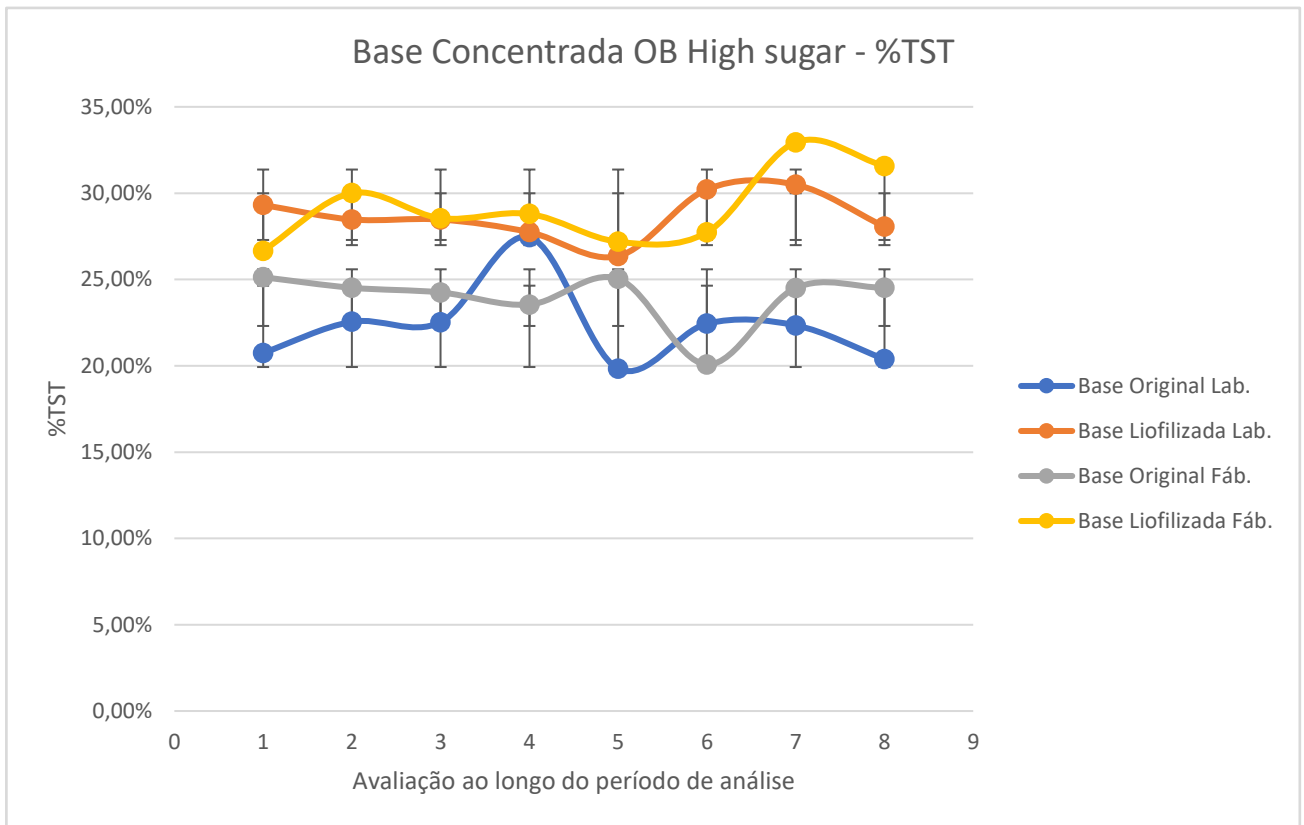
**Anexo IV – Fluxograma da elaboração de um Gelado Vegetal.**

**Anexo V – Gráficos com os Parâmetros Físico-químicos das Bases de Farelo (OB)**

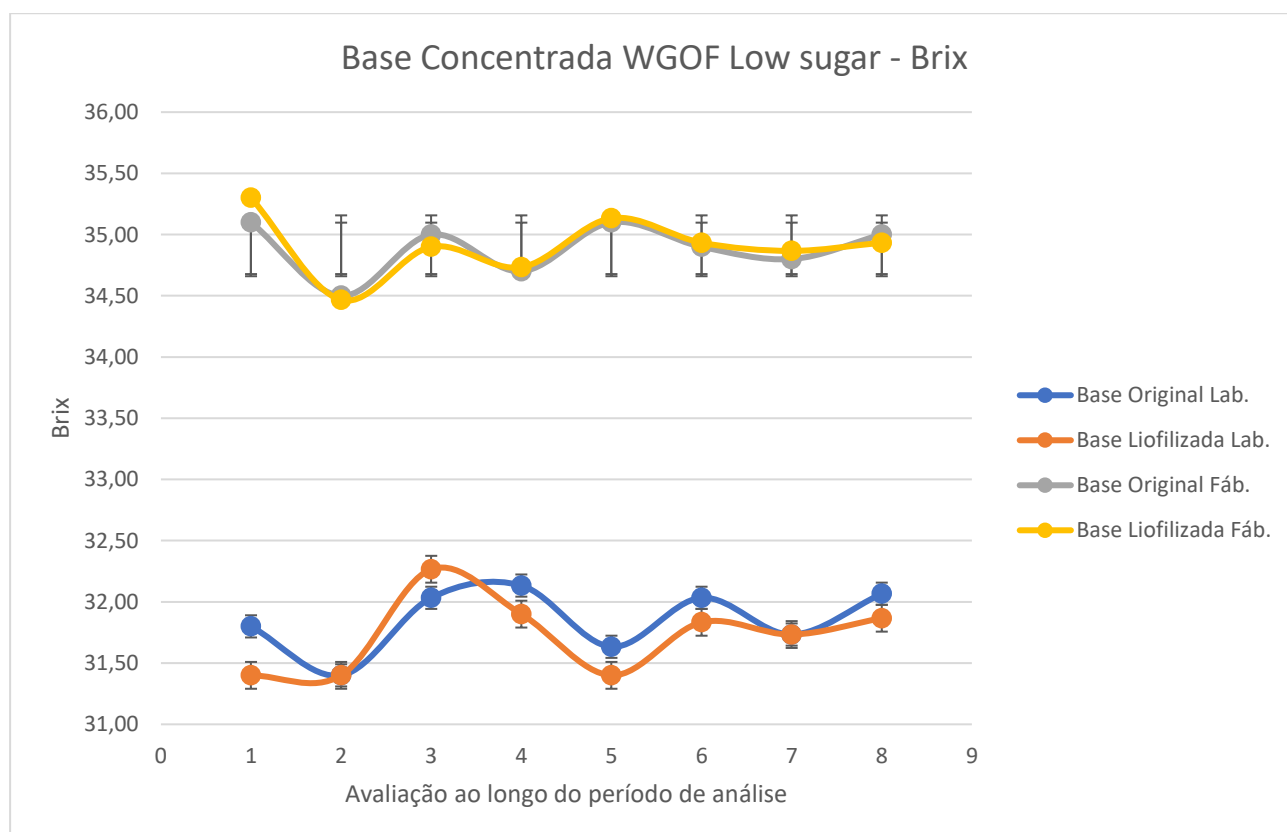
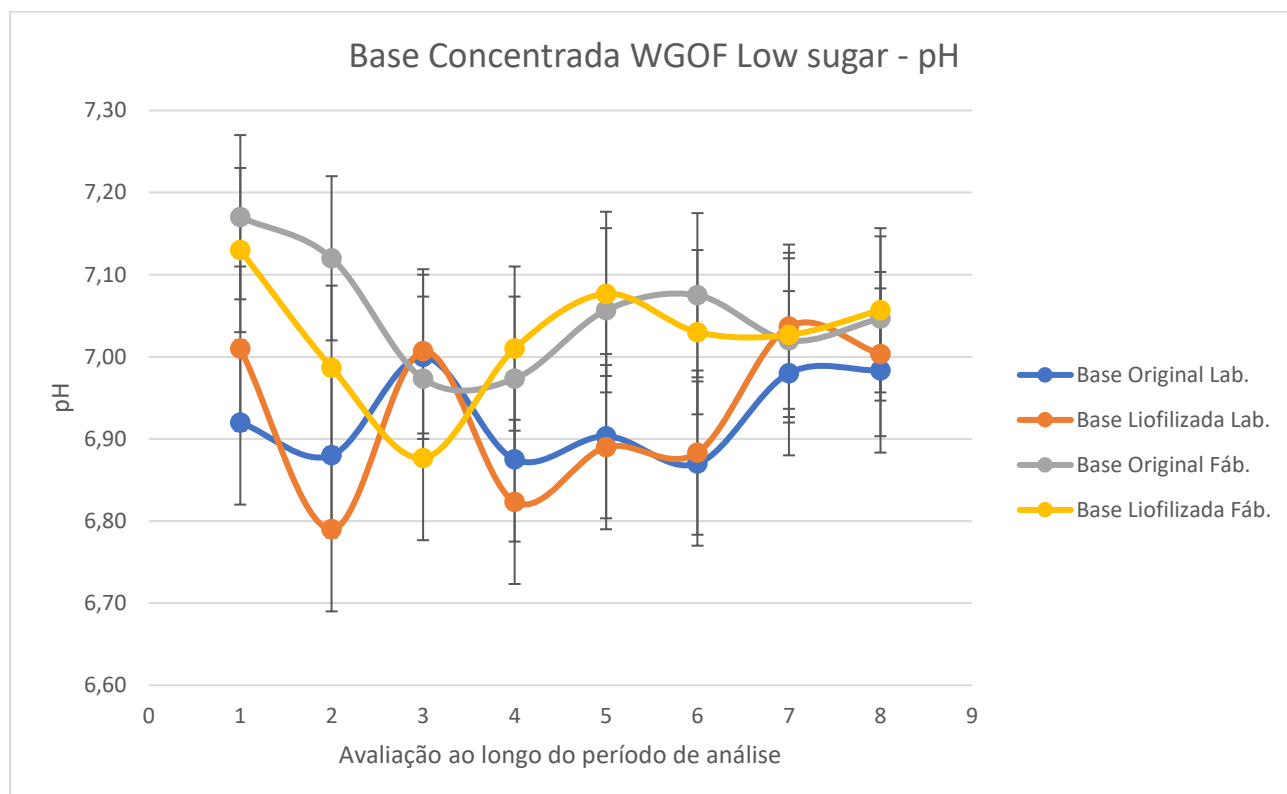


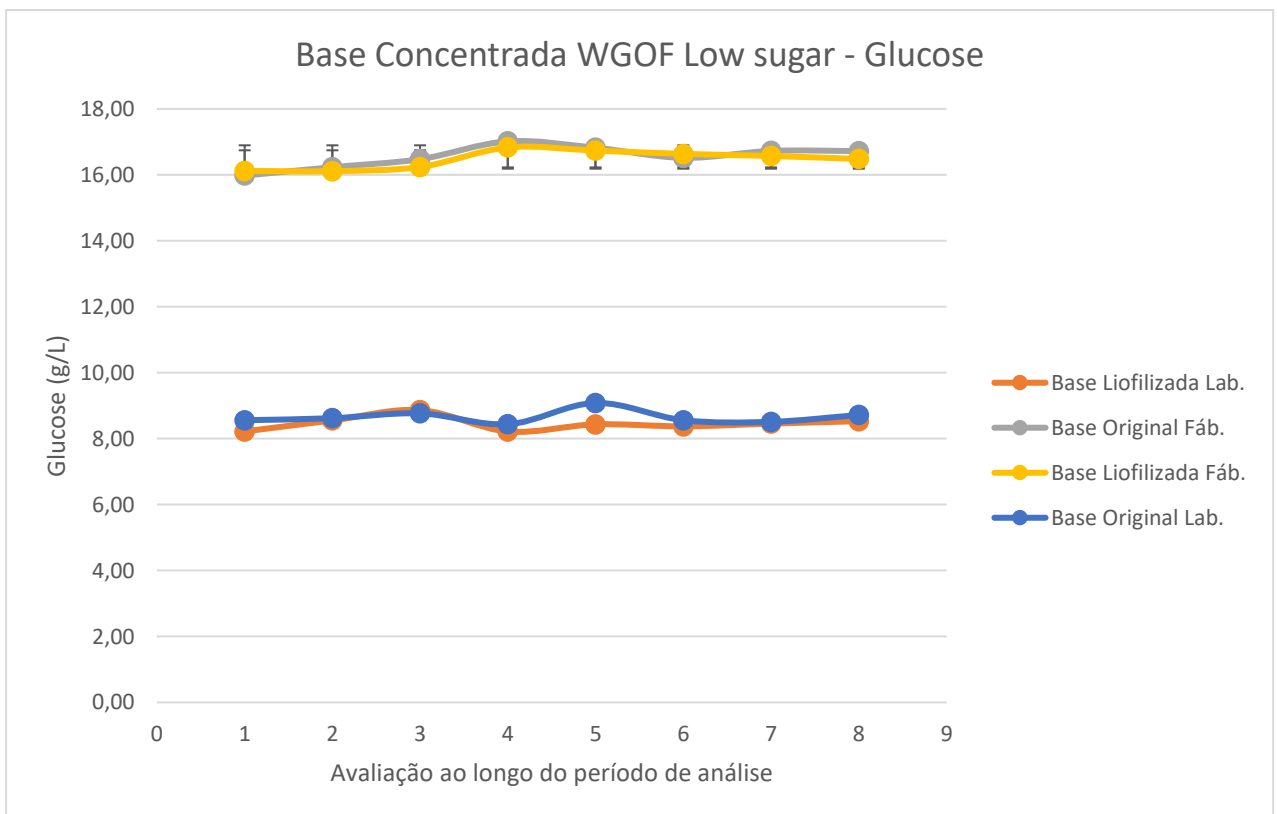
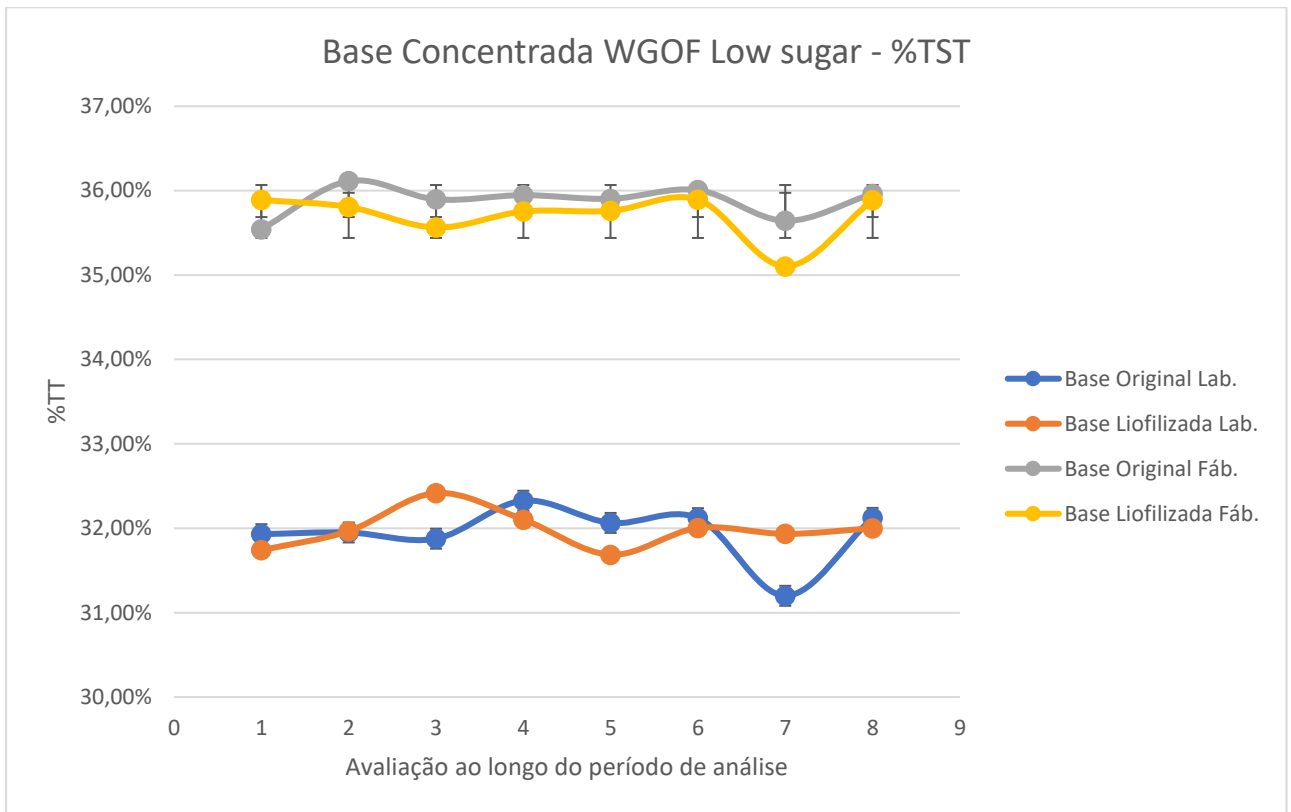


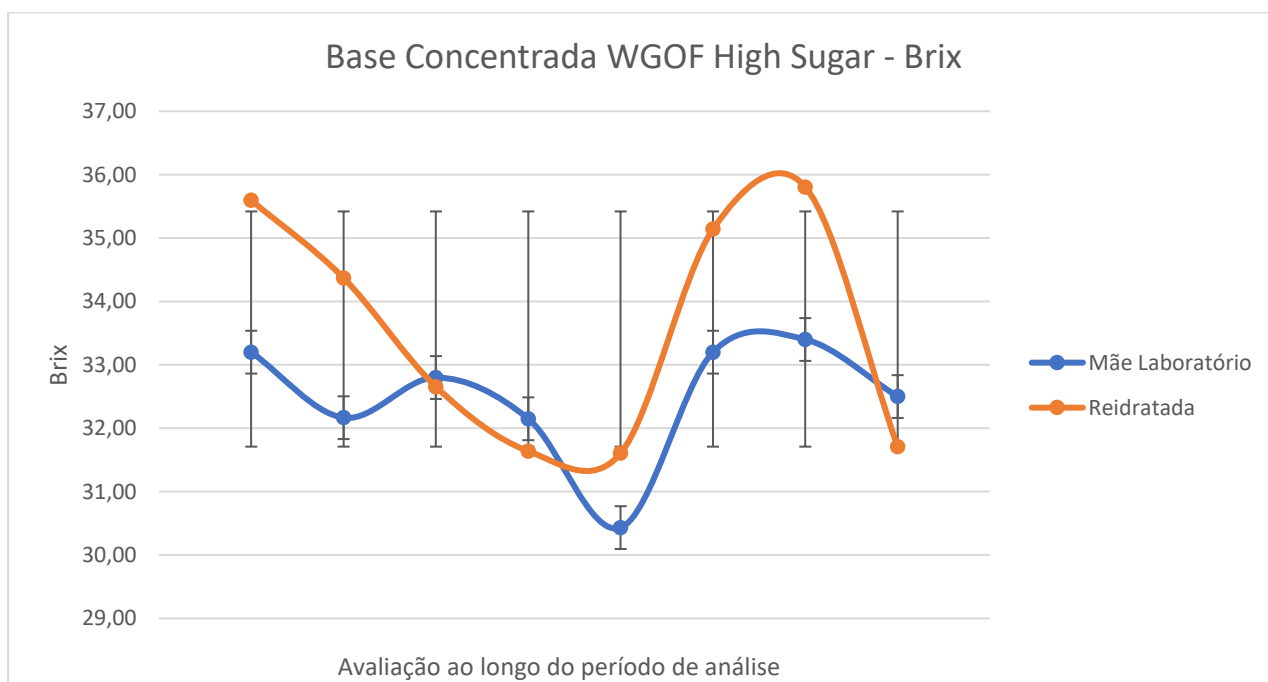
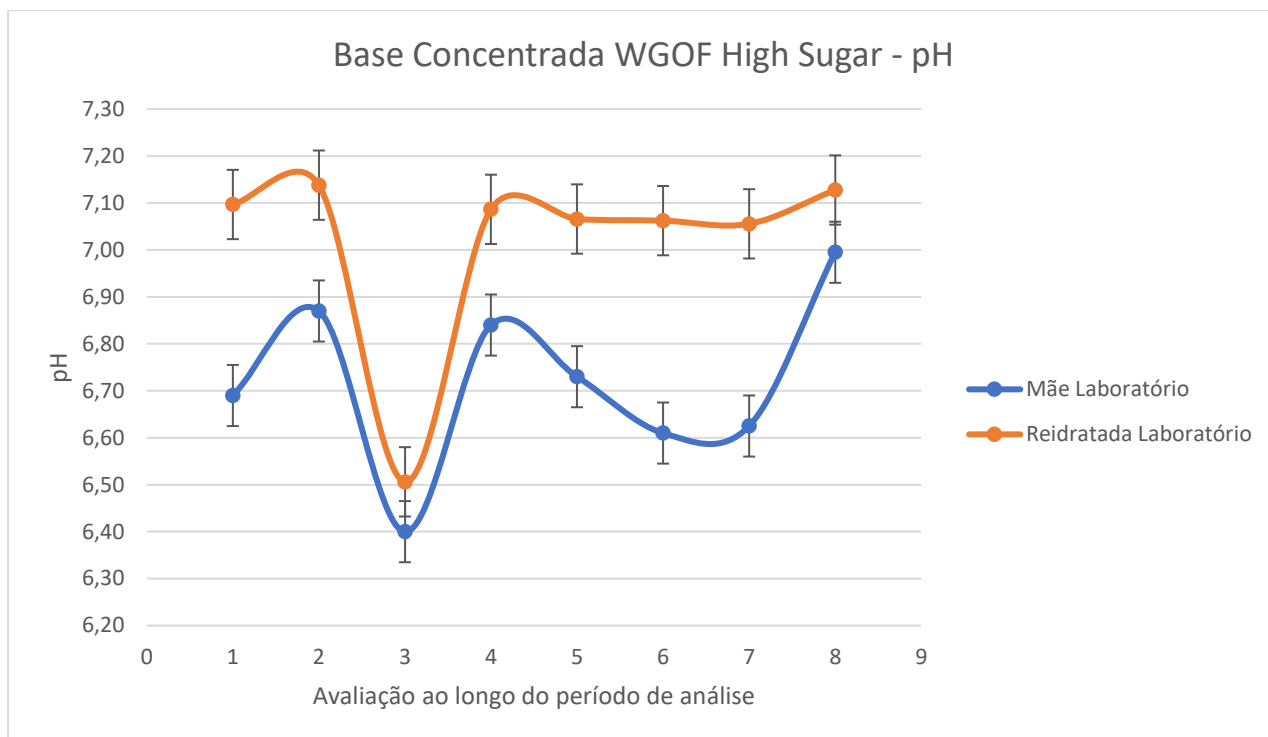


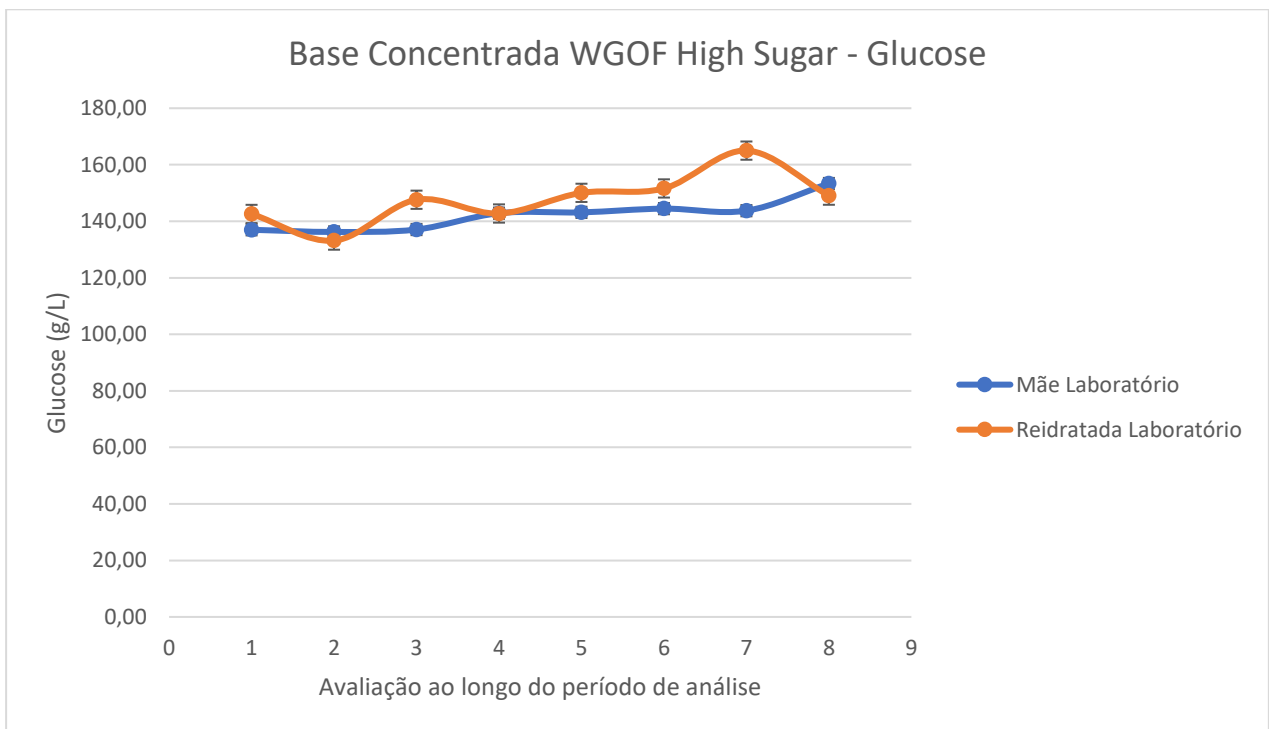
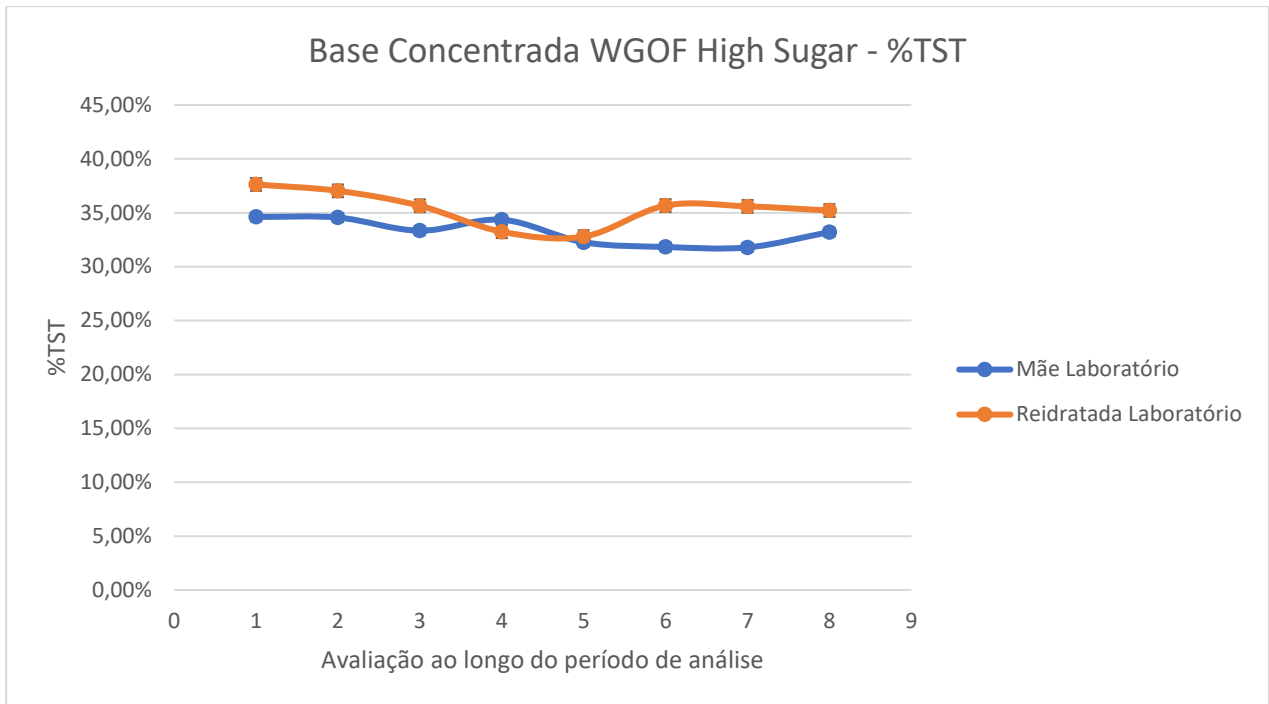


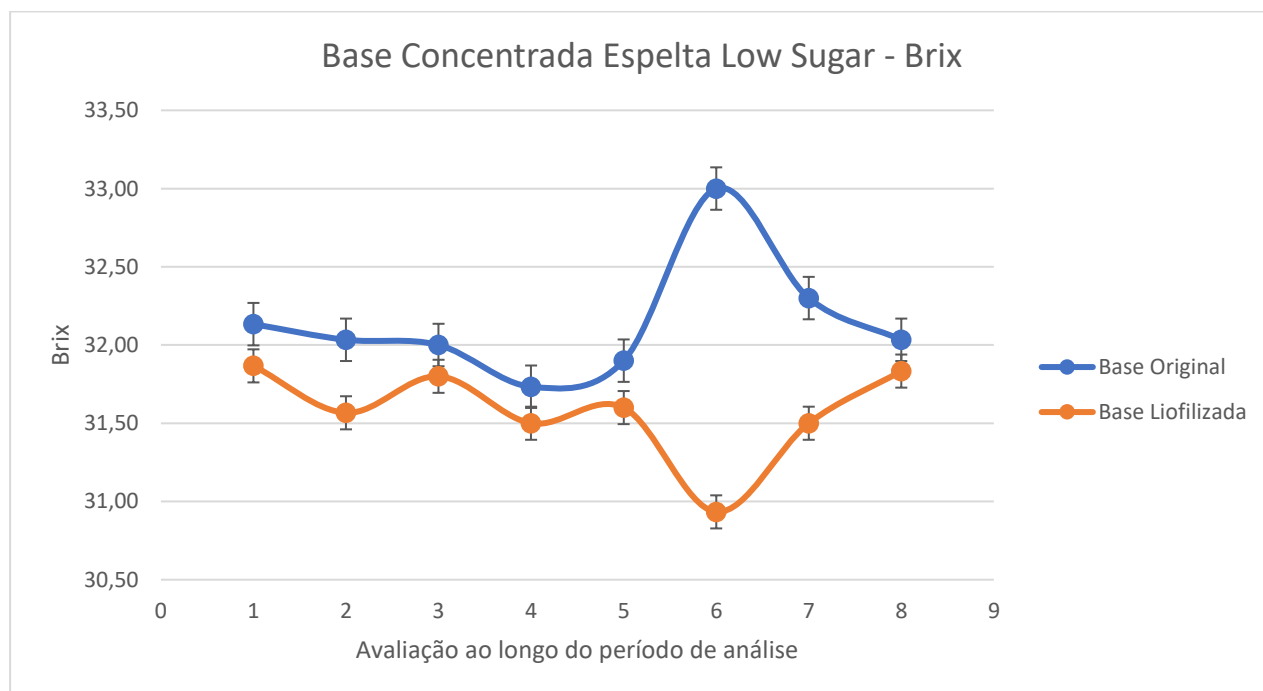
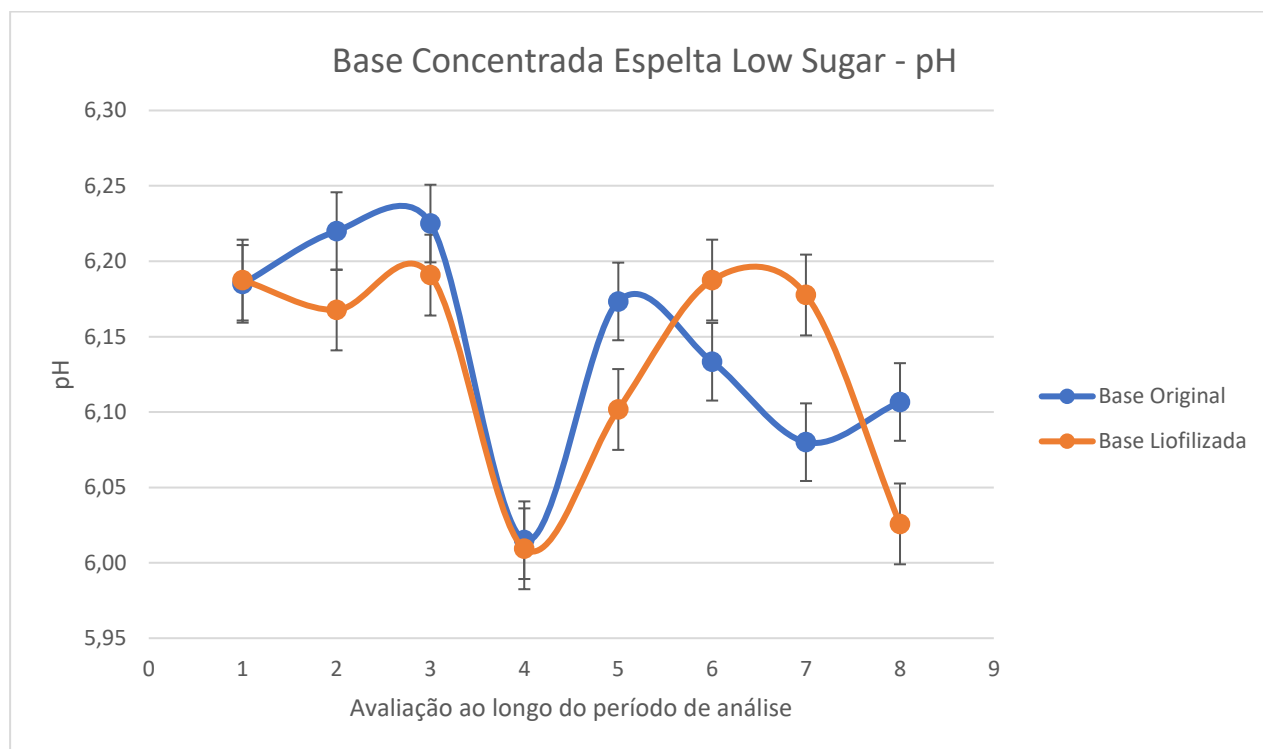
### Anexo VI – Gráficos com os Parâmetros Físico-químicos das Bases de Farelo (OB)

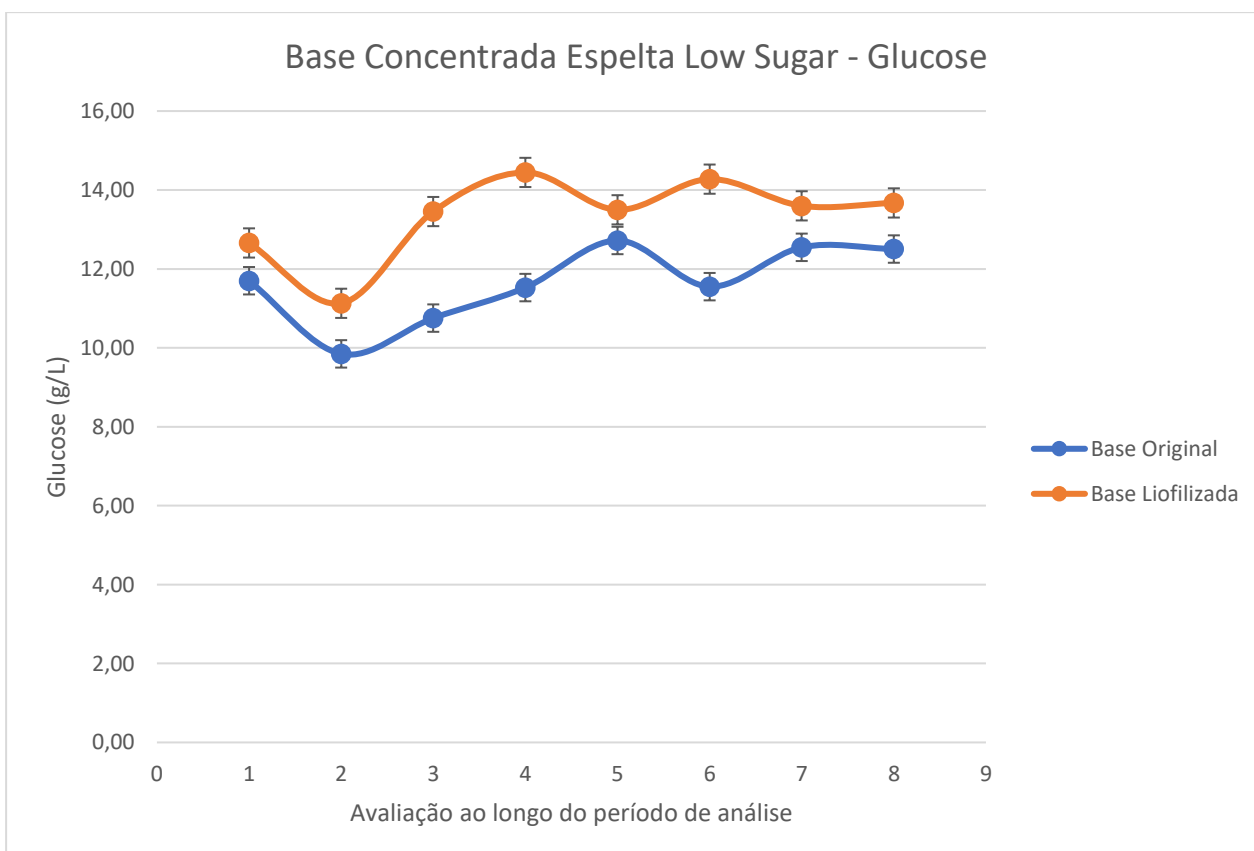
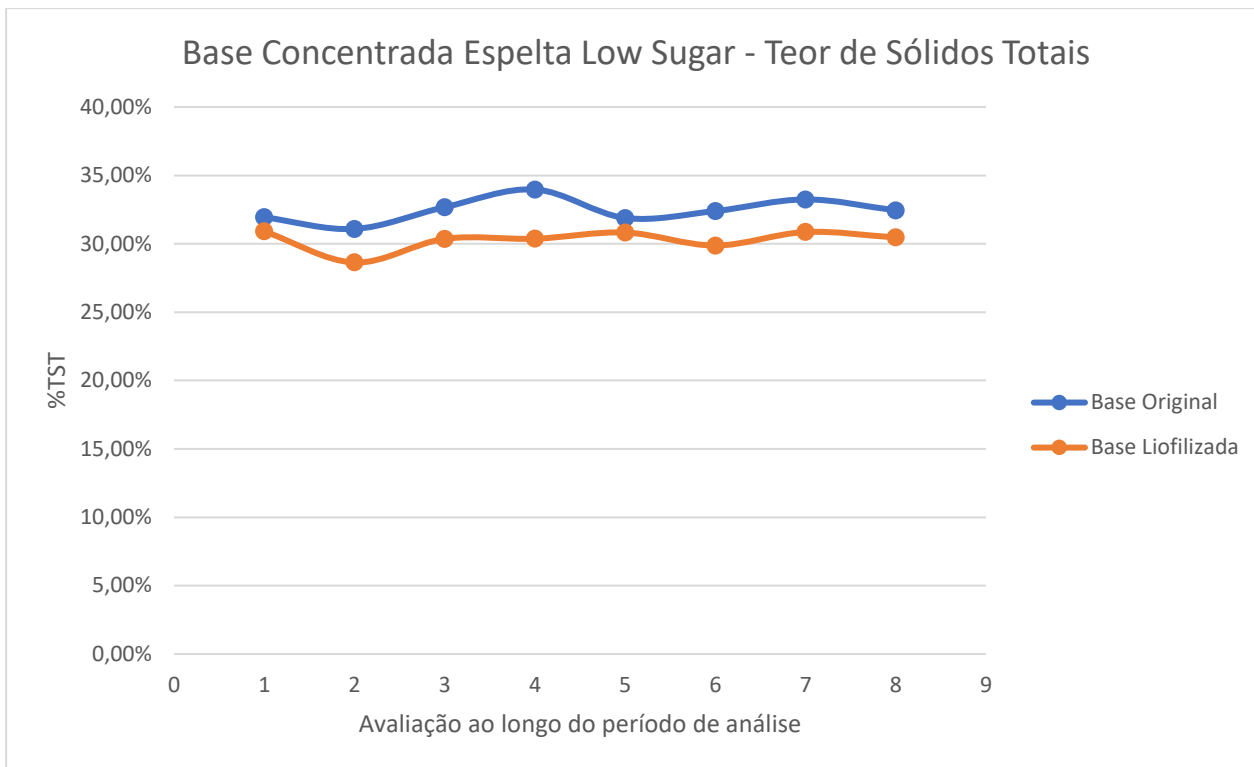


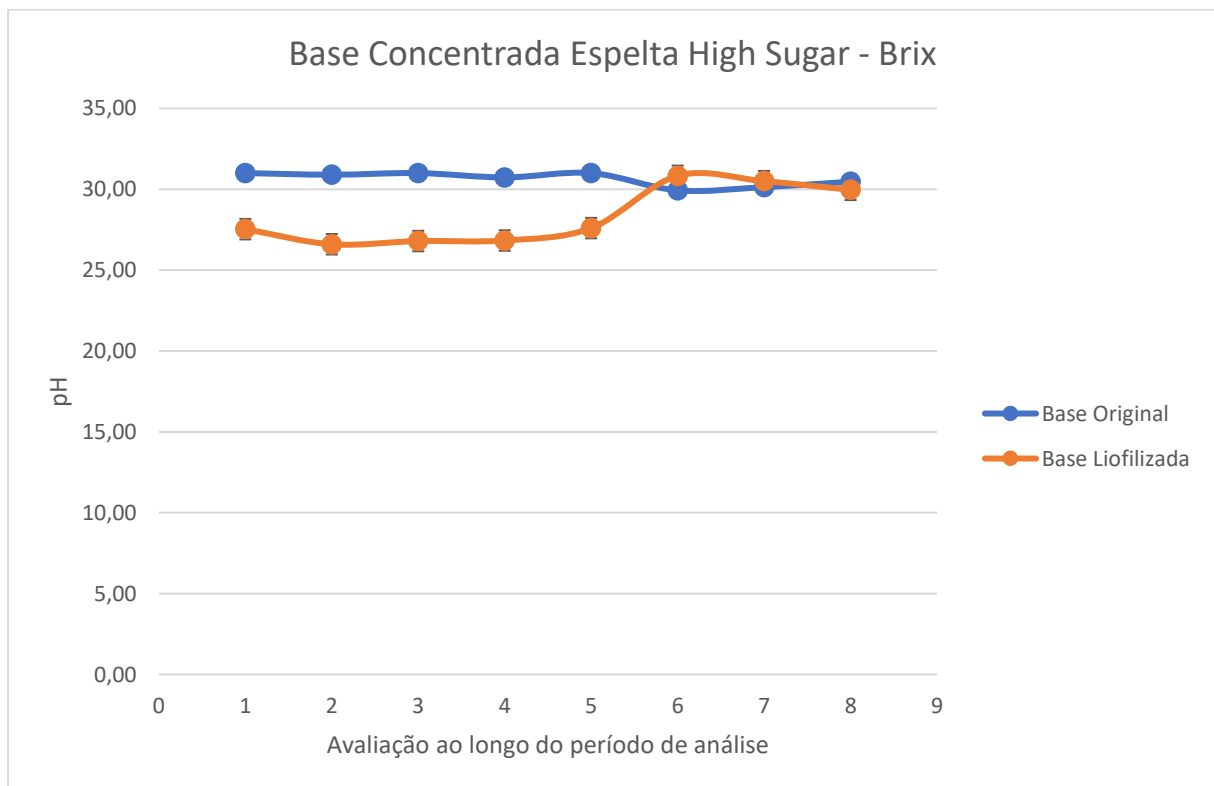
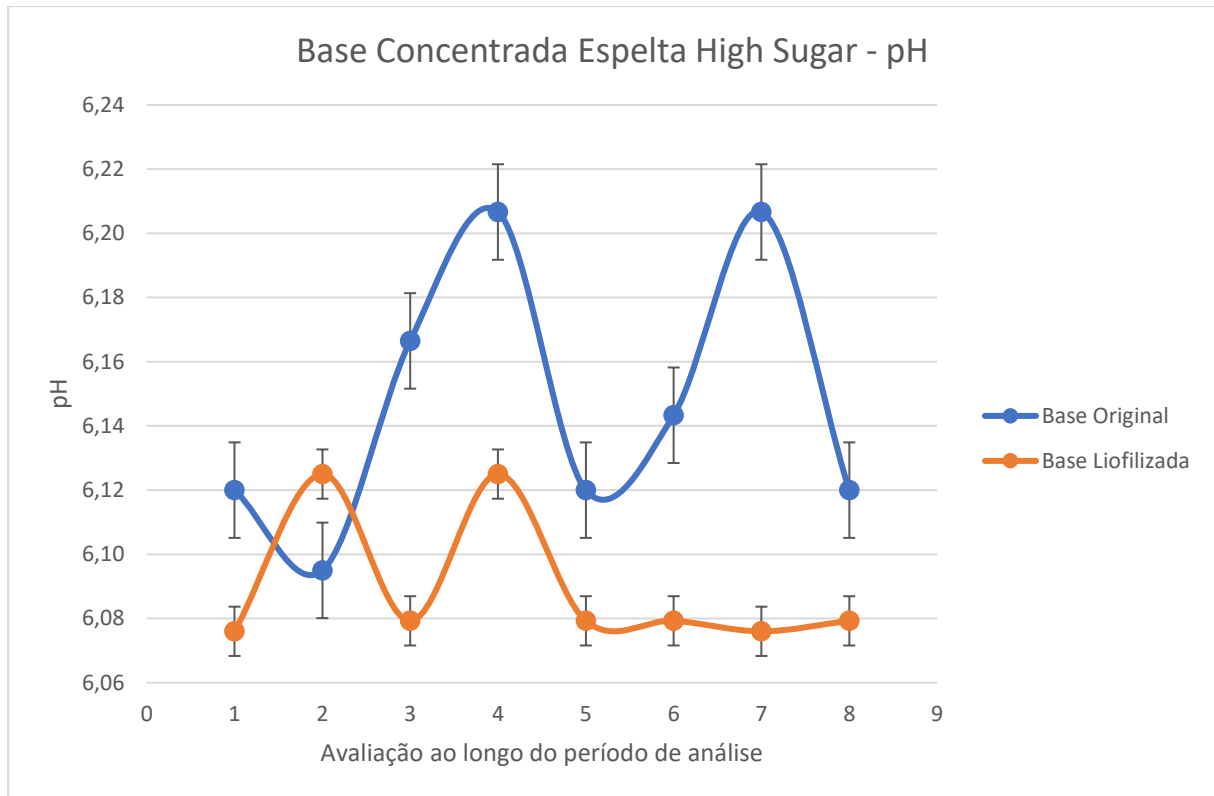


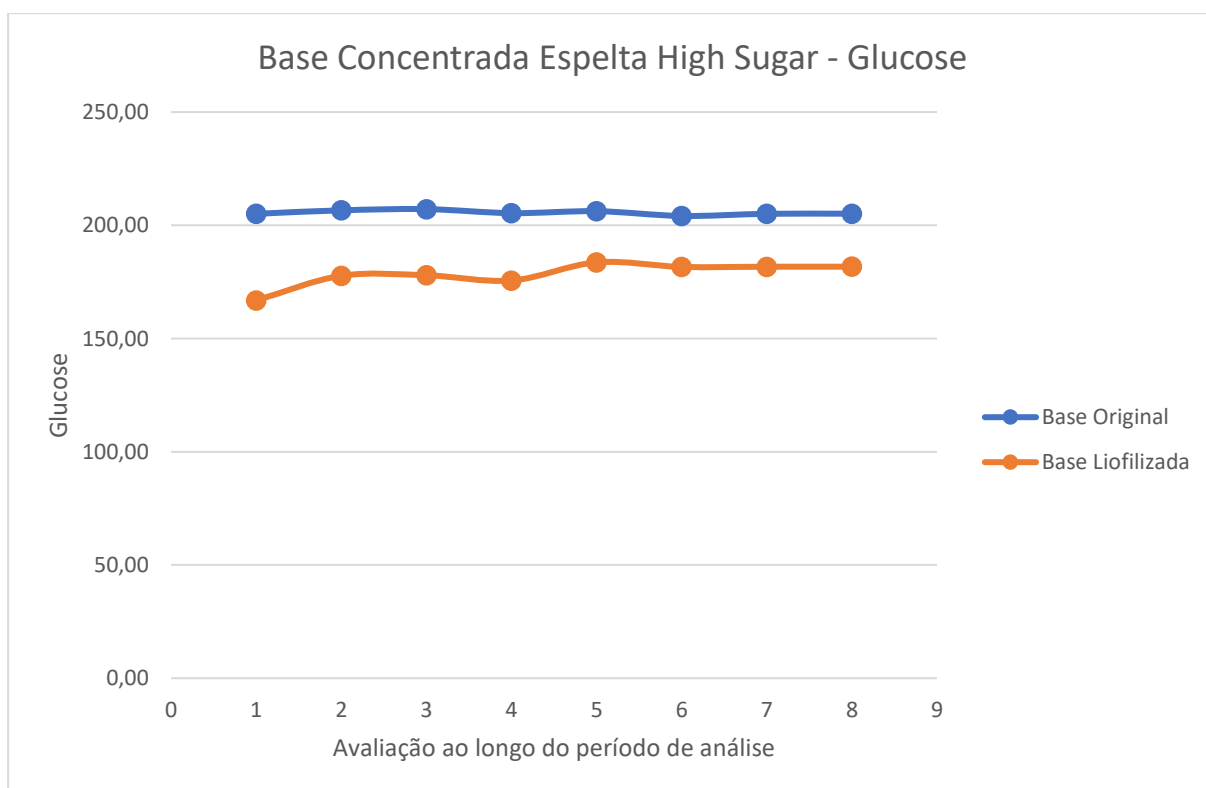
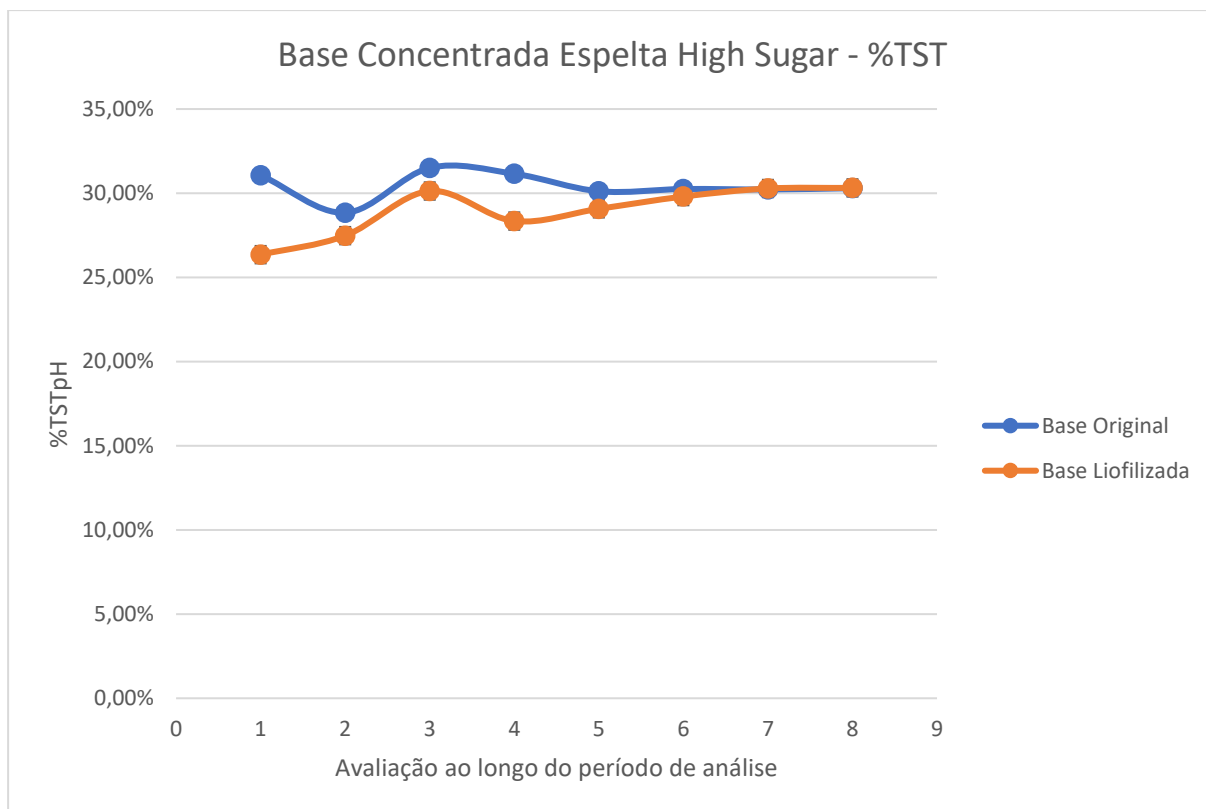


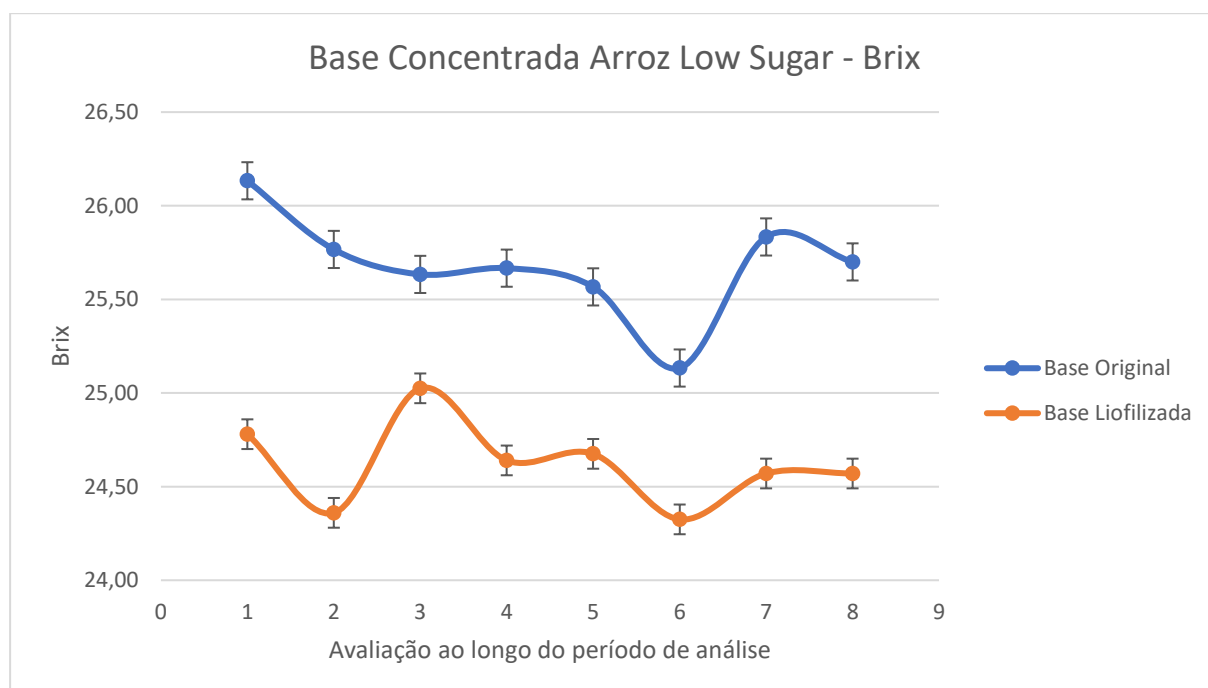
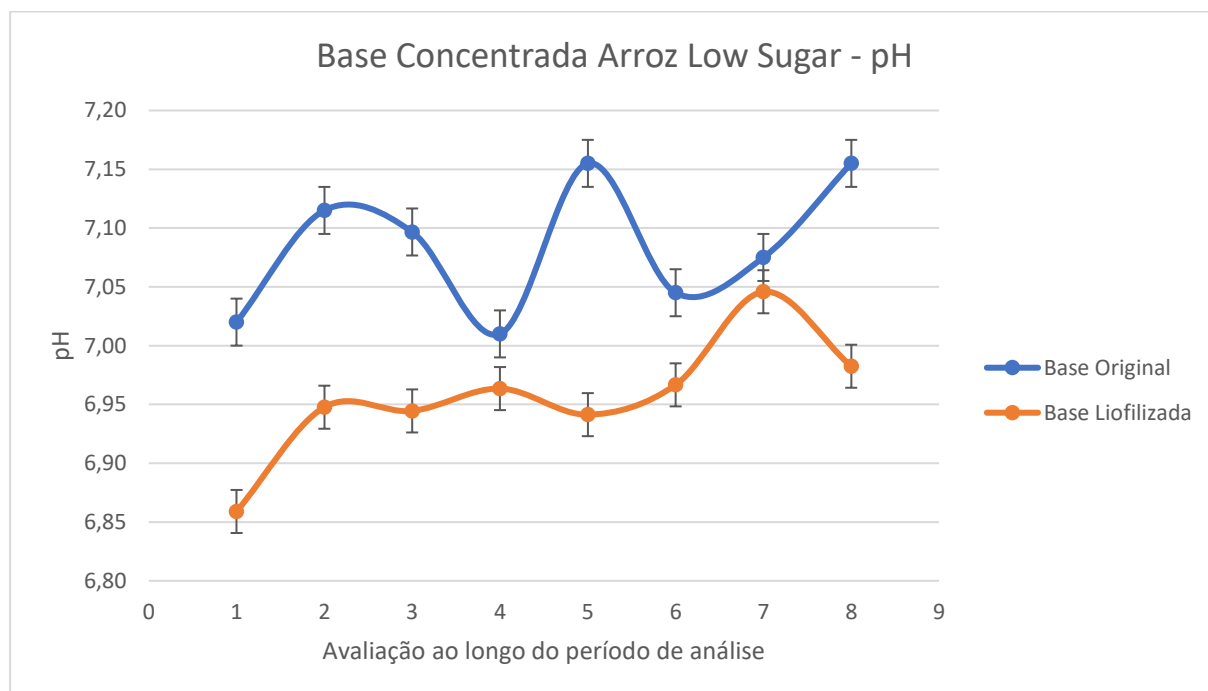


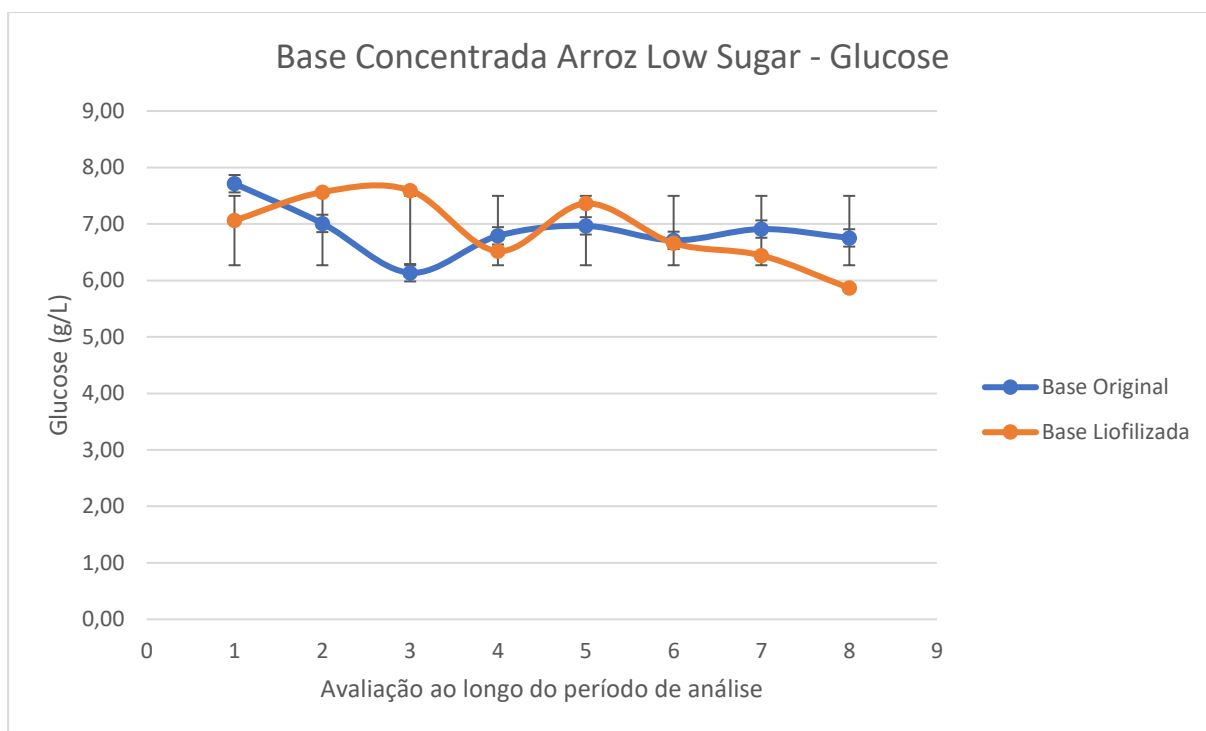
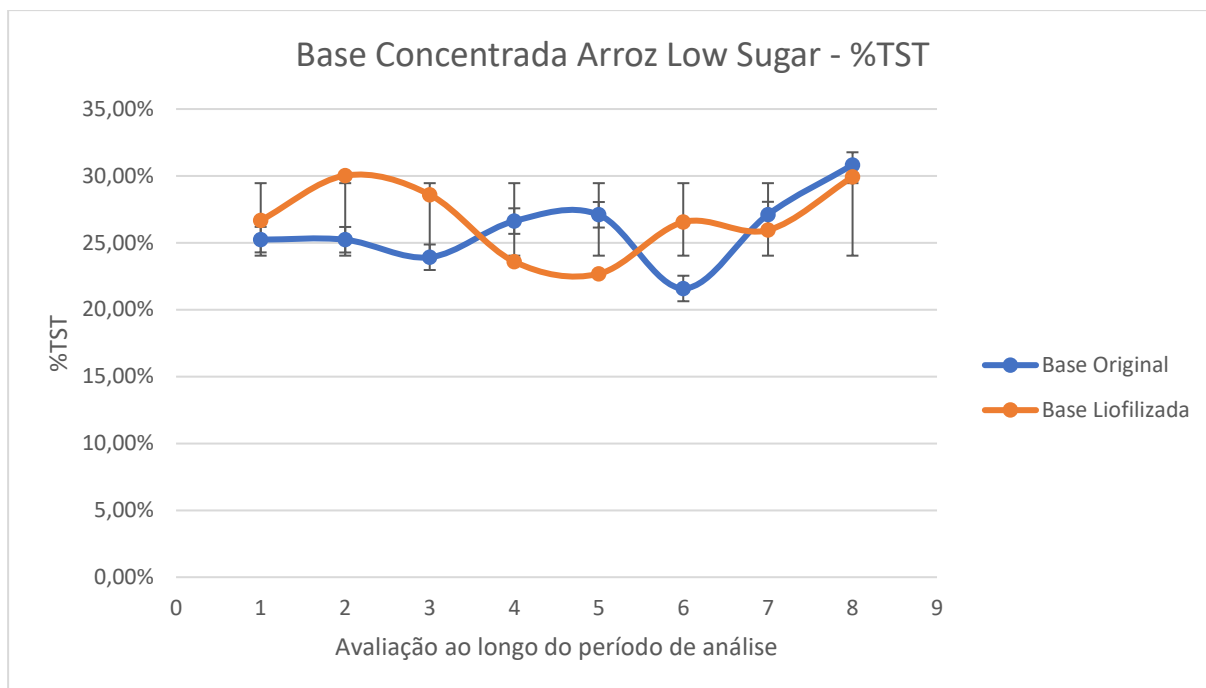
**Anexo VII – Gráficos com os Parâmetros Físico-químicos das Bases de Espelta**







**Anexo VIII – Gráficos com os Parâmetros Físico-químicos das Bases de Arroz**



**Anexo IX** – Tabela com a resposta das diferentes Bases à liofilização nos parâmetros: rendimento, eficiência e humidade

	Rendimento % (m/m)	Eficiência % (m/m)	Humidade (%)	
Bases Concentradas Vegetais	WGOF Low Sugar Lab.	31,1	95,8	1,97
	WGOF Low Sugar Fab.	34,32	91,14	4,56
	WGOF High Sugar Lab.	34,98	93,96	7,32
	OB Low Sugar Lab.	23,98	93,96	2,21
	OB Low Sugar Fab.	20,6	97,91	2,88
	OB High Sugar Lab.	21,52	87,99	4,5
	OB High Sugar Fab.	24,5	84,8	9,07
	Espelta Low Sugar Lab	20,53	59,84	1,9
	Espelta High Sugar Lab.	18,94	61,86	3,96
	Arroz Low Sgar Lab.	24,04	92,2	0,92





### Anexo XI - Resultados Prova Organolética Arroz

























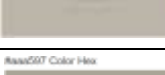







Low Sugar		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8	
		Original Laboratório	Liofilizada Laboratório	Original Laboratório	Liofilizada Laboratório	Original Laboratório	Liofilizada Laboratório	Original Laboratório	Liofilizada Laboratório	Original Laboratório	Liofilizada Laboratório	Original Laboratório	Liofilizada Laboratório	Original Laboratório	Liofilizada Laboratório	Original Laboratório	Liofilizada Laboratório
Sabor	Cereal	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável
	Doce	favorável				favorável	favorável				favorável				favorável	favorável	favorável
	Adstringente																
	Ranço																
	Metálico																
	Casca de noz																
	Amargo																
	Azedo																
	Acido																
	Velho																
	Frutado																
	Cardo																
	Fruto seco																
	Torrado																
	Inodoro			favorável		favorável		favorável		favorável	favorável	favorável			favorável		
Cereal	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável		favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	
Futado																	
Bege																	
Camel																	
Castanho																	
Café com leite																	
Branco																	
Dourado																	
Marfim	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável	favorável		
Caramelo																	
Cremosa		favorável						favorável		favorável		favorável				favorável	
Aguada	favorável		favorável			favorável		favorável		favorável		favorável		favorável		favorável	
Fibrosa																	
Encorpada																	
Macia		favorável		favorável	favorável		favorável		favorável			favorável		favorável		favorável	










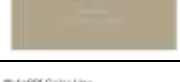










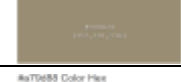

















Anexo XIV– Resultados Colorímetro Farelo *Low Sugar*

		AVEIA - FARELO		
		Base Liofilizada	Base Original	
LOW	LABORATÓRIO	SEMANA 1	#67a768 Color Hex 	#66a662 Color Hex 
		SEMANA 2	#66a78a Color Hex 	#56a680 Color Hex 
		SEMANA 3	#62a387 Color Hex 	#66a691 Color Hex 
		SEMANA 4	#66a687 Color Hex 	#66a687 Color Hex 
		SEMANA 5	#67a681 Color Hex 	#67a684 Color Hex 
		SEMANA 6	#66a691 Color Hex 	#66a691 Color Hex 
		SEMANA 7	#67a68a Color Hex 	#67a67b Color Hex 
		SEMANA 8	#63a667 Color Hex 	#67a683 Color Hex 
	FÁBRICA	SEMANA 1	#88d17f Color Hex 	#a6c667 Color Hex 
		SEMANA 2	#a6c686 Color Hex 	#a6c686 Color Hex 
		SEMANA 3	#88e996 Color Hex 	#8d9177 Color Hex 
		SEMANA 4	#66b6a6 Color Hex 	#a6c687 Color Hex 
		SEMANA 5	#a6c667 Color Hex 	#a6c699 Color Hex 
		SEMANA 6	#07c6a4 Color Hex 	#07c686 Color Hex 
		SEMANA 7	#66b6a3 Color Hex 	#a6c696 Color Hex 
		SEMANA 8	#66c6a5 Color Hex 	#a6c686 Color Hex 

















Anexo XV– Resultados Colorímetro Farelo *High Sugar*

		AVEIA - FARELO		
		Base Liofilizada	Base Original	
HIGH	LABORATÓRIO	SEMANA 1	#b3e77b Color Hex 	#c5ab56 Color Hex 
		SEMANA 2	#b3e77b Color Hex 	#b1a386 Color Hex 
		SEMANA 3	#b3e77b Color Hex 	#98a796 Color Hex 
		SEMANA 4	#b3e77b Color Hex 	#b1a386 Color Hex 
		SEMANA 5	#b7ac85 Color Hex 	#b4a68f Color Hex 
		SEMANA 6	#b4a25e Color Hex 	#b1a791 Color Hex 
		SEMANA 7	#b1a25a Color Hex 	#b4a28a Color Hex 
		SEMANA 8	#b8a093 Color Hex 	#b5a483 Color Hex 
	FÁBRICA	SEMANA 1	#96a775 Color Hex 	#96a75a Color Hex 
		SEMANA 2	#96a774 Color Hex 	#96a775 Color Hex 
		SEMANA 3	#a79688 Color Hex 	#96a772 Color Hex 
		SEMANA 4	#96a78f Color Hex 	#96a775 Color Hex 
		SEMANA 5	#a2968b Color Hex 	#96a773 Color Hex 
		SEMANA 6	#a29989 Color Hex 	#96a773 Color Hex 
		SEMANA 7	#a79c58 Color Hex 	#96a774 Color Hex 
		SEMANA 8	#988a76 Color Hex 	#96a77a Color Hex 

















Anexo XVI – Resultados Colorímetro Farinha Low Sugar

		AVEIA - FARINHA		
		Base Liofilizada	Base Original	
LOW	LABORATÓRIO	SEMANA 1		
		SEMANA 2		
		SEMANA 3		
		SEMANA 4		
		SEMANA 5		
		SEMANA 6		
		SEMANA 7		
		SEMANA 8		
	FÁBRICA	SEMANA 1		
		SEMANA 2		
		SEMANA 3		
		SEMANA 4		
		SEMANA 5		
		SEMANA 6		
		SEMANA 7		
		SEMANA 8		

















Anexo XVII – Resultados Colorímetro Farinha *High Sugar*

		AVEIA - FARINHA		
		Base Liofilizada	Base Original	
HIGH	LABORATÓRIO	SEMANA 1	#b2a28a Color Hex 	#a6977c Color Hex 
		SEMANA 2	#b7a890 Color Hex 	#a49880 Color Hex 
		SEMANA 3	#ac9778 Color Hex 	#a5997e Color Hex 
		SEMANA 4	#baab9f Color Hex 	#a39880 Color Hex 
		SEMANA 5	#a2a977d Color Hex 	#a29982 Color Hex 
		SEMANA 6	#a299a2 Color Hex 	#a59a80 Color Hex 
		SEMANA 7	#ac9a7f Color Hex 	#ac9c84 Color Hex 
		SEMANA 8	#ac9674 Color Hex 	#a59a85 Color Hex 

















Anexo XVIII – Resultados Colorímetro Espelta *Low Sugar*

		Espelta		
		Base L iofilizada	Base Original	
LOW	LABORATÓRIO	SEMANA 1	#868769 Color Hex  #868769 (132, 133, 134)	#8f7abf Color Hex  #8f7abf (142, 122, 92)
		SEMANA 2	#878789 Color Hex  #878789 (131, 133, 132)	#8a7a5f Color Hex  #8a7a5f (137, 135, 91)
		SEMANA 3	#878689 Color Hex  #878689 (131, 133, 132)	#8f7abf Color Hex  #8f7abf (142, 122, 92)
		SEMANA 4	#878788 Color Hex  #878788 (131, 133, 132)	#8a7a5f Color Hex  #8a7a5f (137, 135, 91)
		SEMANA 5	#868869 Color Hex  #868869 (132, 133, 134)	#8a7a80 Color Hex  #8a7a80 (142, 122, 92)
		SEMANA 6	#868867 Color Hex  #868867 (132, 133, 132)	#8f7a80 Color Hex  #8f7a80 (142, 122, 92)
		SEMANA 7	#878587 Color Hex  #878587 (131, 133, 132)	#8f7b5f Color Hex  #8f7b5f (142, 122, 91)
		SEMANA 8	#858587 Color Hex  #858587 (140, 133, 133)	#8f7b5f Color Hex  #8f7b5f (142, 122, 91)







Anexo XIX – Resultados Colorímetro Espelta *High Sugar*

		Espelta		
		Base L iofilizada	Base Original	
High	LABORATÓRIO	SEMANA 1		
		SEMANA 2		
		SEMANA 3		
		SEMANA 4		
		SEMANA 5		
		SEMANA 6		
		SEMANA 7		
		SEMANA 8		

Anexo XX – Resultados Colorímetro Arroz *Low Sugar*

		Arroz		
		Base Liofilizada	Base Original	
LOW	LABORATÓRIO	SEMANA 1	#a25b86 Color Hex  #a25b86 (162, 93, 134)	#a43b85 Color Hex  #a43b85 (164, 59, 133)
		SEMANA 2	#a09884 Color Hex  #a09884 (160, 152, 133)	#a59a88 Color Hex  #a59a88 (164, 156, 136)
		SEMANA 3	#a19b85 Color Hex  #a19b85 (161, 155, 133)	#a59d86 Color Hex  #a59d86 (163, 157, 133)
		SEMANA 4	#9a9884 Color Hex  #9a9884 (156, 152, 131)	#a598c Color Hex  #a598c (165, 151, 143)
		SEMANA 5	#9d9884 Color Hex  #9d9884 (157, 152, 131)	#a8a28d Color Hex  #a8a28d (168, 162, 144)
		SEMANA 6	#a09a85 Color Hex  #a09a85 (160, 154, 133)	#a8a28f Color Hex  #a8a28f (168, 162, 143)
		SEMANA 7	#9f9984 Color Hex  #9f9984 (159, 153, 132)	#afa989 Color Hex  #afa989 (170, 168, 135)
		SEMANA 8	#9f9984 Color Hex  #9f9984 (159, 153, 132)	#a5a191 Color Hex  #a5a191 (165, 161, 142)

**Anexo XXI** - Avaliação da estabilidade da espuma das Bebidas Baristas Original e Liofilizada

		Bebida Original	Bebida Liofilizada
TEMPO	T=0	0ml 	4ml 
		10ml 	20ml 
	T=5'	12ml 	24ml 
		T=10'	