

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VINICIUS RAFFLER

**ESTRATÉGIAS PARA IMPEDIR A FORMAÇÃO DE *FAT BLOOM* EM
CHOCOLATE**

FRANCISCO BELTRÃO

2021

VINICIUS RAFFLER

**ESTRATÉGIAS PARA IMPEDIR A FORMAÇÃO DE *FAT BLOOM* EM
CHOCOLATE**

Strategies to prevent fat bloom formation in chocolate

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Eder da Costa dos Santos.

FRANCISCO BELTRÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remix adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VINICIUS RAFFLER

**ESTRATÉGIAS PARA IMPEDIR A FORMAÇÃO DE *FAT BLOOM* EM
CHOCOLATE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 26/novembro/2021

Eder da Costa dos Santos
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Irede Angela Lucini Dalmolin
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cedenir Pereira de Quadros
Doutorado
Universidade Federal do Vale do São Francisco

FRANCISCO BELTRÃO

2021

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado. Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

Aos meus amigos da universidade, com quem convivi intensamente durante os últimos anos inclusive remotamente durante a pandemia, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

Ao meu orientador e outros professores mais próximos, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Por fim aos meus pais pelo apoio e pela ajuda emocional na realização do trabalho.

RESUMO

Considerado um dos doces mais apreciados no mundo, o chocolate tem grande importância e valor econômico para indústria desse segmento. Como qualquer alimento, o chocolate tende a apresentar muitos problemas até chegar às mãos do consumidor, sendo o principal deles o aparecimento de manchas brancas sobre a superfície, em barras de chocolates e bombons recheados. Esse problema industrialmente é conhecido como *fat bloom*, tendo esse nome explícito como “florescer de gordura”, devido as redes cristalinas da manteiga de cacau (principal gordura presente na composição do chocolate), se romperem e formarem essas manchas. Os três principais causadores desse efeito nos chocolates se baseiam na má temperagem do produto no ambiente industrial, armazenamento prolongados nas quais ultrapassam a vida de prateleira. E o principal deles, a fusão das gorduras por picos de temperatura, por diversos fatoriais de tempo, que acarreta um polimorfismo na estrutura molecular da manteiga de cacau, formando cristais que, após a ressolidificação migrarão até a superfície do produto. Ainda assim, mesmo sendo um problema industrial recorrente, não existe um protocolo específico para evitar a formação do *fat bloom* e/ou pelo menos amenizar que esse problema ocorra. Portanto, o presente trabalho propõe um método para teste de vida de prateleira acelerado, visando determinar as condições que maximizam a formação de *fat bloom* em função do binário temperatura *versus* tempo, a partir de diferentes amostras de chocolate, com distintas proporções e tipos de gorduras. Para tal, foi delineado um ensaio a fim de submeter os chocolates, com distintas composições em termos de quantidade e tipo de gordura, à variação térmica de 32 e 36 °C, sob tempos pré-determinados. Chocolates com diferentes composições, sendo misturas de manteiga de cacau e gorduras substituintes são mais estáveis a maiores oscilações de temperaturas por pequenos períodos. Já chocolates com composição exclusiva de manteiga de cacau tendem a serem mais estáveis a temperaturas menores. Por fim, nenhuma amostra se mostrou estável a exposição às temperaturas experimentais, demonstrando que deve haver um controle adequado na oscilação da temperatura, em todas as etapas de acondicionamento do chocolate, após sua fabricação.

Palavras-chave: *fat bloom*; polimorfismo; manteiga de cacau; chocolate.

ABSTRACT

Considered one of the most appreciated sweets in the world, chocolate has great importance and economic value for the industry in this segment. Like any food, chocolate tends to present many problems until it reaches the consumer's hands, the main one being the appearance of white spots on the surface, in chocolate bars and filled bonbons. This problem is industrially known as fat bloom, having this explicit name as "blossoming of fat", due to the crystalline networks of cocoa butter (the main fat present in the composition of chocolate), if they break and form these stains. The three main causes of this effect in chocolates are based on the product's poor tempering in the industrial environment, prolonged storage in which it exceeds its shelf life. And the main one, the fusion of fats by temperature peaks, by different time factors, which causes a polymorphism in the molecular structure of cocoa butter, forming crystals that, after re solidification, will migrate to the surface of the product. Even so, even though it is a recurrent industrial problem, there is still no specific protocol to prevent the formation of the fat bloom and/or at least alleviate this problem from occurring. Therefore, the present work proposes a method for accelerated shelf life testing, aiming to determine the conditions that maximize the formation of fat bloom as a function of the temperature versus time binary, from different chocolate samples, with different proportions and types of fats. To this end, a trial was designed to submit the chocolates, with different compositions in terms of amount and type of fat, to thermal variation of 32 and 36 °C, under predetermined times. Chocolates with different compositions, being mixtures of cocoa butter and substitute fats, are more stable to larger temperature fluctuations for short periods of time. Chocolates with exclusively cocoa butter composition tend to be more stable at lower temperatures. Finally, no sample was stable to exposure to experimental temperatures, demonstrating that there must be an adequate control in temperature oscillation, in all stages of packaging the chocolate, after its manufacture.

Keywords: fat bloom; polymorphism; cocoa butter; chocolate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma geral do processamento das sementes de cacau até a obtenção dos liquors.....	17
Figura 2- Processo convencional de fabricação do chocolate.....	20
Figura 3 - Temperatura em função do tempo durante a temperagem do chocolate.....	22
Figura 4 - Transições polimórficas na manteiga de cacau	24
Figura 5- Estágios do fat bloom microscopicamente	27
Figura 6 - formas diversas de <i>fat bloom</i> em chocolates.....	28
Figura 7- Imagens de <i>fat bloom</i> em chocolate devido a diferentes causas.....	28
Figura 8 – Amostras a 32 °C por 7 ciclos	37
Figura 9 – Amostras a 36 °C por 7 ciclos	40
Figura 10 - Gráfico de índice de brancura 32 °C.....	42
Figura 11 - Gráfico de índice de brancura 36 °C.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	Cacau e chocolate	13
3.1.1	Fator histórico e cacau	13
3.1.2	Formulação dos chocolates.....	14
3.2	Produção e processamento	16
3.2.1	Pré-processamento do chocolate	16
3.2.2	Produção do chocolate	20
3.3	Polimorfismo, fat bloom e problemas recorrentes.....	23
3.3.1	Polimorfismo da manteiga de cacau.....	23
3.3.2	Fat bloom	25
3.3.3	Sugar bloom	29
3.3.4	Perigos Biológicos	29
3.4	Gorduras substituintes	30
4	MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1	Teste de vida de prateleira acelerada	32
4.1.1	Determinação do índice de brancura.....	33
4.2	Avaliação de parâmetros referenciais para impedir a formação de fat bloom.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Teste de vida de prateleira acelerado.....	35
5.1.1	Análise visual de amostra a 32 °C.....	35
5.1.3	Análise visual amostra a 36 °C.....	38
5.2	Índice de brancura.....	41
5.2.1	Índice de brancura para 32 °C.....	41
5.2.2	Índice de brancura a 36 °C.....	43
5.3	Fat bloom nas amostras	45
5.3.1	Formação de fat bloom em outros testes	46
5.4	Estratégias de controle/impedimento do fat bloom	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49

REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICE A - Fotos de todas as amostras e suas triplicatas com seus devidos ciclos de exposição a temperatura.	57
APÊNDICE B - Resultados específicos dos de cada ponto realizado para o índice de brancura com suas determinadas variáveis.....	60

1 INTRODUÇÃO

O chocolate, em sua forma genuína, é um dos doces mais populares e consumidos no mundo. Com sua demanda crescente, as preocupações com a qualidade do produto aumentam. Mesmo os principais problemas e defeitos se localizam nos chocolates em sua forma final. As etapas de produção, adequadas matérias-primas e armazenamento são fatores cruciais de qualidade para o produto chegar perfeito ao consumidor.

Entre os diversos ingredientes presentes na formulação do chocolate, a manteiga de cacau se destaca pelas principais sensações e características deste produto, proporcionando propriedades de brilho, textura e dureza ao chocolate, além do derretimento na temperatura da boca e liberação do sabor peculiar do cacau. Todavia ela também é o principal indicador de problemas no produto.

Os problemas provindos da manteiga de cacau estão situados em seu fenômeno de polimorfismo. Essa característica que também está presente em vários tipos de óleos e gorduras se baseia na capacidade dos compostos desses lipídeos em formar diferentes estruturas cristalinas, interferindo drasticamente em seus pontos de solidificação e fusão, afetando diretamente os padrões sensoriais do produto. Para Révérend *et al.* (2010); Veríssimo (2012); Ferreira *et al.* (2019), a manteiga de cacau possui seis formas de polimorfismo diferentes, denominadas como γ (I), α (II), β' (III), β' (IV), β (V), e β (VI). Cada uma contendo diferentes pontos de fusão baseados em suas estabilidades termodinâmicas.

A forma β (V) é a mais importante industrialmente, pois além de ser sólida em temperatura ambiente, traz as características no chocolate já citadas e retém a gordura dentro de sua rede cristalina, evitando a migração desses triacilgliceróis para a superfície do chocolate. Quando essa forma é interrompida por vários fatores, essa rede cristalina se rompe formando cristais de gordura superficiais de coloração esbranquiçada, conhecidos pelo termo em inglês *fat bloom*.

Muitos fatores são responsáveis pelo aparecimento do *fat bloom* nos chocolates, mas os três principais causadores estão vinculados da seguinte maneira: composição (baseados na incompatibilidade na formulação das gorduras), temperagem inadequada durante processamento e exposição a diversas variações de temperatura por longos picos de tempo durante transporte e armazenamento (Rousseau, 2006; Clercq *et al.*, 2014).

Com isso, este trabalho teve como objetivo propor maneiras de evitar a formação do *fat bloom* em chocolates, utilizando método laboratorial de vida de prateleira acelerada, por meio da análise de frações de temperatura e tempo na qual ocorra a maior formação do *fat bloom*, em amostras de chocolates com diferentes tipos de gorduras em sua composição.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Promover maneiras de evitar e/ou retardar o *fat bloom* em chocolate, a partir de resultados laboratoriais de testes acelerados aplicando variações de temperatura e tempo em amostras de chocolate ao leite.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar amostras de chocolates a fim de encontrar frações de temperatura e tempo na qual ocorram picos de formação do *fat bloom*;
- Avaliar como a cor e a aparência geral das amostras são influenciados por essas exposições;
- Verificar quais variedades de gorduras nas formulações de chocolate são mais afetadas por esses problemas;
- Indicar formas para prevenir a formação de *fat bloom* na produção e armazenamento de chocolate.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cacau e chocolate

3.1.1 Fator histórico e cacau

Antes de ser utilizado para a produção de chocolate, o cacau e suas sementes eram muito valiosos, pois eram empregados como moeda de troca e usados para fabricação de bebidas frias e espumantes pelo comércio da América Central nos séculos das navegações (LIMA, 2008). Segundo Coe e Coe (2013), a origem do chocolate é estimada por volta de 3.000 anos atrás, na qual estabeleceram-se as primeiras plantações de cacau nas regiões onde hoje se localizam Guatemala e o México.

Relatos históricos descrevem que o cacau foi estabelecido na Europa nos séculos XVI e XVII pela monarquia espanhola e se alastrou rapidamente por todo continente. Nessa época era consumido apenas por nobres e integrantes da família real. Após a primeira revolução industrial o consumo de chocolate foi se popularizando em todas as camadas da sociedade e a produção se alastrou para o resto do mundo (BATISTA, 2008).

No Brasil, o início da produção de cacau foi introduzido no estado da Bahia no final do século XIX, que em pouco tempo se tornou um grande exportador desse insumo (MARTINS, 2007). Atualmente a maior parte do cacau consumido no mundo é proveniente de regiões como a Costa do Marfim, Gana, Equador e Indonésia. Juntos esses países são responsáveis por 75% da produção mundial, ficando o Brasil na sétima posição. Não obstante, Estados Unidos, Países Baixos, Alemanha, Inglaterra e França, se destacam como os maiores consumidores de cacau, somando cerca de 60% das importações mundiais (LEITE, 2018).

Hoje em dia, as principais variedades de cacau cultivadas são Criollo, Forastero e Trinitário, as quais as sementes possuem características distintas, como tamanho, cor, aroma, e composição química.

Segundo Beckett (2009), a variedade Criollo se destaca pelo baixo vigor e rendimento. Suas sementes possuem alta qualidade, possuindo um tempo de fermentação de menos de 24 horas após colheita. Ainda assim, essa variedade de

cacau é a menos cultivada no mundo, tendo importância agrícola principalmente em países da América Central. Essa variedade se destaca mundialmente pelo sabor mais frutado, suave e pouco amargo. No entanto, por ser menos resistente à pragas, sua área cultivada é menor.

O cacau Forastero por outro lado é a variedade que representa cerca de 95% da produção mundial. Esse possui coloração escura e tempo de fermentação prolongado, variando de dias a semanas. Essa variedade é conhecida pela capacidade de resistir a condições severas de clima, por possuir alto teor de lipídios, e sabor mais amargo e adstringente. Já o Cacau Trinitário é o resultado do cruzamento entre as variedades Forastero e o Criollo, sendo mais resistente e produtivo que o cacau Criollo, porém de qualidade inferior (BECKETT, 2009).

Industrialmente os grãos de cacau são divididos em duas classes: ordinários, e os finos ou de aroma. O cacau ordinário é resultado de uma modificação na variedade Forastero. Estes grãos são utilizados para a produção de manteiga de cacau e produtos que possuem elevada proporção de chocolate. Já o cacau do tipo fino ou de aroma, são das variações Criollo e Trinitário, usados em misturas com grãos ordinários em diferentes variações para agregar no sabor, aroma e cor dos alimentos produzidos (MENDONÇA *et al.*, 2016).

3.1.2 Formulação dos chocolates

Segunda a legislação brasileira da Agência Nacional de Vigilância Sanitária:

Chocolate: é o produto obtido a partir da mistura de derivados de cacau (*Theobroma cacao* L.), massa (ou pasta ou *liquor*) de cacau, cacau em pó e ou manteiga de cacau, com outros ingredientes, contendo, no mínimo, 25 % (g/100 g) de sólidos totais de cacau. O produto pode apresentar recheio, cobertura, formato e consistência variados (BRASIL, 2005).

Por ser sólido em temperatura ambiente e derreter rapidamente na temperatura corporal, o chocolate é considerado uma emulsão seca, ou também como suspensão sólida de massa de cacau. A liberação de aroma durante a degustação e a doçura do chocolate contribuem para a grande aceitabilidade do produto no mercado. O chocolate é uma fonte de energia com grande poder nutritivo e de metabolismo rápido (VALDECIR *et al.*, 2014).

Muitos ingredientes são utilizados para fabricação do chocolate, cada um com objetivos específicos conferindo características ao produto. Entre eles, os mais

comuns são: açúcares; leite em pó; emulsificantes; cacau em pó; sorbitol; aromatizantes; manteiga de cacau e gorduras substituintes (RICHTER; LANNES, 2007).

Na Tabela 1 são propostas faixas de quantidades de ingredientes por porcentagem, na qual podem compor as formulações gerais de chocolate ao leite, amargo e branco.

Tabela 1 - Formulação básica de chocolates dos tipos ao leite e amargo

Constituintes	Quantidades (%)		
	Chocolate ao leite	Chocolate Amargo	Chocolate branco
Licor/torta de cacau	20	70	-
Leite em pó	25	-	30
Açúcar	30	30	35
Manteiga de cacau	25	-	35
Lecitina (opcional)	0,4	0,4	0,4

Fonte: Andrade (2018)

O cacau em pó é o produto obtido da massa de cacau a partir da sua prensagem hidráulica denominada geralmente como torta, sendo moída e resfriada em temperatura controlada. Os atributos mais importantes do cacau em pó para a formulação do chocolate são a influência na cor, sabor, além de diminuição da atividade da água e aumento da vida de prateleira (BOUZAS; BROW, 1999).

O açúcar na forma de sacarose é a forma mais tradicional de proporcionar doçura ao chocolate. Como matéria-prima, os cristais de açúcar devem possuir tamanhos e formatos específicos para evitar com que eles se apresentam em estado amorfo (podendo ocorrer pela má cristalização ou presença de água), ademais, devido a interferência com as partículas de gordura esse problema pode aumentar a viscosidade do produto final (BECKETT, 2011; GLICERINA *et al.*, 2015).

De acordo com Richter e Lannes (2007), os açúcares invertidos (obtidos pela hidrólise química ou enzimática da sacarose) também são comumente utilizados na produção de chocolates. Um grande exemplo dessa classe de açúcares é o xarope de glicose, que além dele ter alta solubilidade, higroscopicidade, viscosidade, e o controle da cristalização, possui alto poder edulcorante, podendo reduzir a atividade da água em recheios de chocolates, prolongando a validade e proporcionando melhor textura e brilho para o produto.

Produzido a partir da desidratação do leite de vaca, o leite em pó pode ser classificado como leite pela quantidade de matéria graxa presente, podendo ser

integral, parcialmente desnatado ou desnatado. A indústria de chocolates utiliza o leite em pó pela sua influência na viscosidade e textura do produto, além de diminuir a umidade aumentando a vida de prateleira (RICHER; LANNES, 2007).

O termo lecitina é uma denominação geral e comercial, que descreve a composição de componentes lipídicos de um emulsificante derivado do óleo bruto da soja. Muito empregada na produção de chocolate, tanto para o monitoramento da viscosidade quanto para o controle do *fat bloom*. Além disso, a principal função dos emulsificantes é possibilitar a homogeneização entre gordura e água, evitando com que essa mistura se rompa (NEBESNY; ZYZELEWICZ, 2005).

Segundo Ribeiro *et al.* (2012), a manteiga de cacau é responsável por fatores de qualidade nos chocolates, como a dureza, resistência mecânica para quebra ruidosa (*snap*), além de brilho, fusão completa do produto, dispersão de aromas e sabores específicos durante a degustação. O sistema lipídico da manteiga de cacau é composto por 75% de triacilgliceróis dos tipos POS, SOS e POP (P = palmítico, O = oleico e S = esteárico), que sofrem cristalizações diferenciadas dependendo da composição processamento e armazenamento do chocolate.

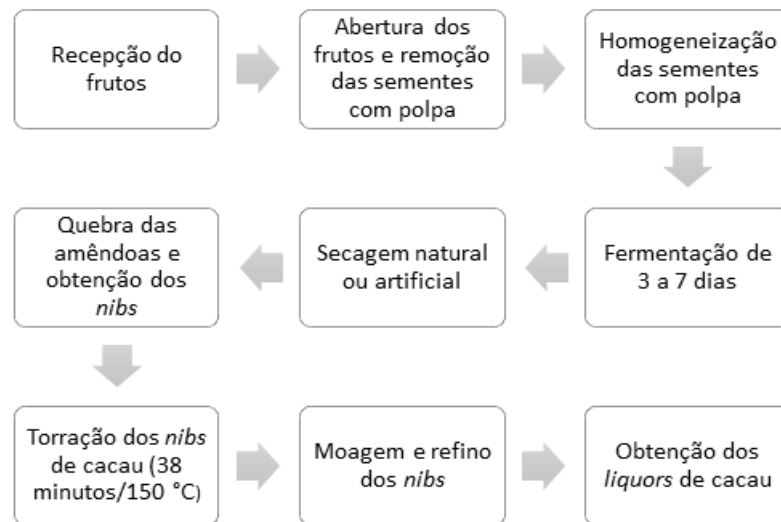
3.2 Produção e processamento

3.2.1 Pré-processamento do chocolate

Quando retirada do fruto, as sementes do cacau apresentam coloração purpúrea, sabor amargo e aroma adstringente. A matéria-prima dessa forma ainda não possui valor comercial (LIMA, 2010). Ou seja, o sabor do chocolate não existe naturalmente nas sementes do cacau, sendo ele o resultado de uma série de reações que ocorrem desde o tratamento pós-colheita do fruto na fermentação e na secagem, até o processo final de fabricação do chocolate (MARTINS, 2007).

O fluxograma apresentado na Figura 1 ilustra as etapas detalhadas do processo que leva a transformação das sementes do cacau para o *liquor* de cacau.

Figura 1 - Fluxograma geral do processamento das sementes de cacauero até a obtenção dos liquors



Fonte: Adaptado de Efrain (2010)

Em sua primeira etapa a colheita do cacau é feita manualmente, no qual os frutos são derrubados, amontoados e transportados para o beneficiamento. Por ser um fruto climatérico, o cacau deve estar em um grau adequado de maturação para a colheita (esse amadurecimento é facilmente visível pela mudança da pigmentação do cacau de amarelo/verde para vermelho/laranja). Assim a polpa do fruto adquire uma textura menos firme tornando a liberação das sementes mais precisa. Caso o fruto esteja excessivamente maduro as sementes se tornam mais frágeis às doenças causadas por microrganismos e podem acabar germinando dentro do fruto (KOBELITZ, 2011).

Após a colheita dos frutos, o seguinte processo é a quebra, na qual as sementes do cacau são retiradas de seu envoltório de polpa branca açucarada (10-15%). O período entre a colheita e quebra dos frutos não deve exceder de 48 horas. Por fim as sementes são reunidas e armazenadas em caixas de madeira, na qual começam a liberar exsudato e a liberar calor (LIMA, 2010).

Devido às complexas reações bioquímicas que ocorrem no processo, como a morte do embrião, hidrólise de açúcares e proteínas, além de difusão de compostos fenólicos e a liberação de enzimas e substratos, a fermentação se torna uma das principais etapas para obtenção de amêndoas de cacau de boa qualidade. Essas reações são decorrentes do desenvolvimento de leveduras e bactérias que provocam a liquefação da polpa e a hidrólise dos açúcares (EFRAIN, 2004). Os métodos de

fermentação variam em cada região, mas geralmente é realizada em plataformas de secagem, em caixas de transporte de frutas e em sacos.

O tempo requerido para fermentação das sementes de cacau pode variar de acordo com a espécie, porém fatores como a temperatura do ambiente, pH, acidez da polpa, e o revolvimento da massa são de grande importância para que ocorra um bom processo. De modo geral, a fermentação ocorre entre 2 a 8 dias, sendo na variedade Criollo um tempo entre 2 a 3 dias e na Forastero entre 5 a 8 dias. Outro fator importante para a fermentação é a demanda de cacau para o mercado; quanto maior a demanda menor tende ser o tempo que o produtor fermenta as amêndoas (BRITO, 2000; EFRAIN, 2010).

Devido a presença da polpa no início da fermentação, as amêndoas do cacau tendem a sofrer ataques de leveduras, no qual aproveitam para se desenvolver devido ao ambiente com pH mais ácido e baixa concentração de oxigênio, convertendo o açúcar da polpa em álcool, migrando esse sabor para as amêndoas. Pode ocorrer também a presença de espécies de leveduras que são capazes de produzir enzimas que hidrolisam a polpa tornando-a líquida (MOREIRA, 2013).

O aumento da temperatura das amêndoas associado ao aumento do pH e a presença de etanol cria um ambiente desfavorável para as leveduras continuarem seu desenvolvimento. Em controvérsia, se torna altamente favorável para o estabelecimento de bactérias lácticas. Para impedir que essas bactérias se desenvolvam sem controle e acabem influenciando negativamente nos precursores de sabor no cacau, é feito o procedimento de oxigenação da massa fermentada por meio de seu revolvimento. Além de favorecer o contato da massa com o oxigênio, esse processo ajuda na uniformização da fermentação e no desenvolvimento de bactérias acéticas, que produzem ácido acético a partir do álcool presente no meio (KOBLOITZ, 2012; FERREIRA, 2013).

Portanto, podemos dividir a fermentação do cacau em duas fases distintas; a fase anaeróbica liderada pelas leveduras, e a fase aeróbica promovida principalmente pelas bactérias acéticas (LAGUNES-GALVÉZ *et al.*, 2007).

A alta concentração de ácido acético e a alta temperatura (entre 45 a 50 °C) da massa acompanhada com outras reações bioquímicas são as principais responsáveis pela destruição do poder germinativo das amêndoas (MOREIRA, 2013). Em fermentações muito longas ocorre a instalação de diversas espécies de bactérias do gênero *Bacillus*, na qual produzem ácidos, aldeídos e álcoois, levando a formação do

chamado *off-flavor*, ou seja, o aparecimento de odores e sabores desagradáveis e não característicos de chocolate no produto (KOBBLITZ 2011).

A secagem é uma etapa que deve ser realizada prontamente após a fermentação. Tem como objetivo reduzir o teor de umidade das amêndoas entre 6 a 8%, impedindo o crescimento de microrganismos prejudiciais e inibindo reações químicas indesejáveis. A secagem dá continuidade às mudanças bioquímicas das amêndoas iniciadas na fermentação, que contribuem diretamente com o sabor, cor e aromas característicos. As principais reações se destacam pela diminuição da acidez, amargor, adstringência e o escurecimento dos cotilédones das amêndoas (LOPES 2000; BECKETT, 2009).

Devido ao rápido desenvolvimento de fungos que conferem sabor desagradável para o produto e possível produção de toxinas prejudiciais à saúde do consumidor, deve-se ter o cuidado para que o processo de secagem não seja conduzido de modo lento. Em contrapartida, o processo não deve ser efetuado de forma extremamente rápida, principalmente aplicado à altas temperaturas, pois nesses casos pode haver a migração de manteiga de cacau para a película que envolve a amêndoa, afetando as características do chocolate (EFRAIM *et al.*, 2010).

Pode-se separar os métodos de secagem em duas categorias, a secagem natural e a artificial. A secagem natural é realizada ao sol, sendo uma operação simples e muito utilizada nas fazendas cacaeiras, onde as amêndoas são espalhadas em barcaças e frequentemente reviradas para uniformização e redução da umidade. Já na secagem artificial se utilizam secadores artificiais, tendo como fonte de calor a lenha, gás natural e diesel (LOPES, 2000).

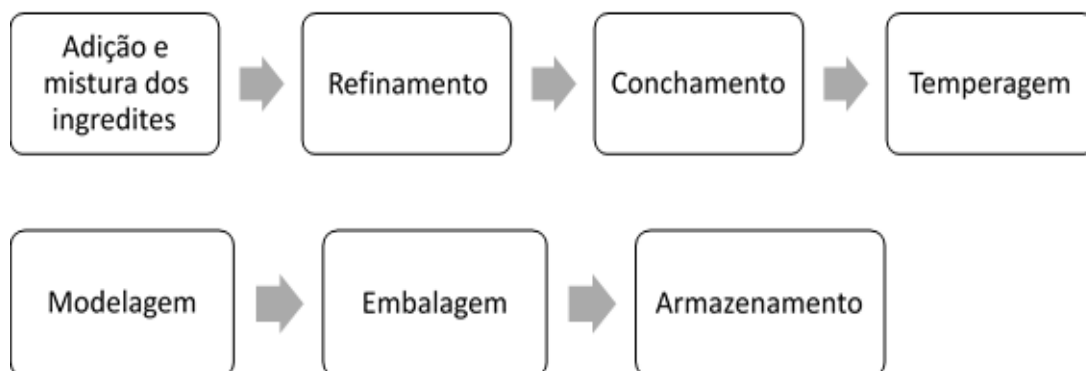
De acordo com Zamalloa *et al.* (1994), a etapa da torração das amêndoas de cacau é fundamental para a boa qualidade do chocolate. Esse processo consiste na torra das amêndoas em temperaturas entre 120 e 150 °C por 5 a 120 min, dependendo do volume e classificação da matéria-prima. Essa operação térmica é caracterizada pela redução dos teores de ácidos voláteis indesejáveis como o já citado ácido acético, além de desenvolver o aroma e a cor típica do chocolate, ocorridas principalmente pelas reações de *Maillard* a partir de precursores provindos da fermentação. Por fim, a torrefação faz com que ocorra a inativação das enzimas capazes de degradar a manteiga de cacau e reduz o teor de umidade das amêndoas de 7% para aproximadamente 2%.

Após a torrefação, as amêndoas são resfriadas rapidamente para evitar a queima interna e passam para o processo de fragmentação, utilizado para liberação das cascas das amêndoas. Em sequência os fragmentos são moídos por rolos para obtenção de partículas finas chamadas industrialmente de pasta, massa ou *liquor* de cacau. Por fim, para separação da manteiga de cacau e a torta de cacau, o *liquor* passa pelo processo de alcalinização e prensagem (MARTINS, 2007).

3.2.2 Produção do chocolate

Após a obtenção da manteiga e da torta de cacau, inicia-se o processo de produção do chocolate, exemplificado na Figura 2, realizado em 7 etapas essenciais.

Figura 2– Processo convencional de fabricação do chocolate



Fonte: Adaptado de Beckett (2009)

A mistura consiste na homogeneização dos ingredientes secos como o açúcar e leite em pó, com os líquidos e semilíquidos como a manteiga de cacau e o *liquor* de cacau (além de outros ingredientes secundários como a lectina e aromatizantes). Essa mistura deve ocorrer até a formação de uma massa plástica adequada para o refino, sendo realizada em equipamentos com temperatura adequada para manter a manteiga de cacau fundida com os outros ingredientes. O produto resultante desse processo é chamado de pasta de chocolate (MINIFIE *et al.*, 1989).

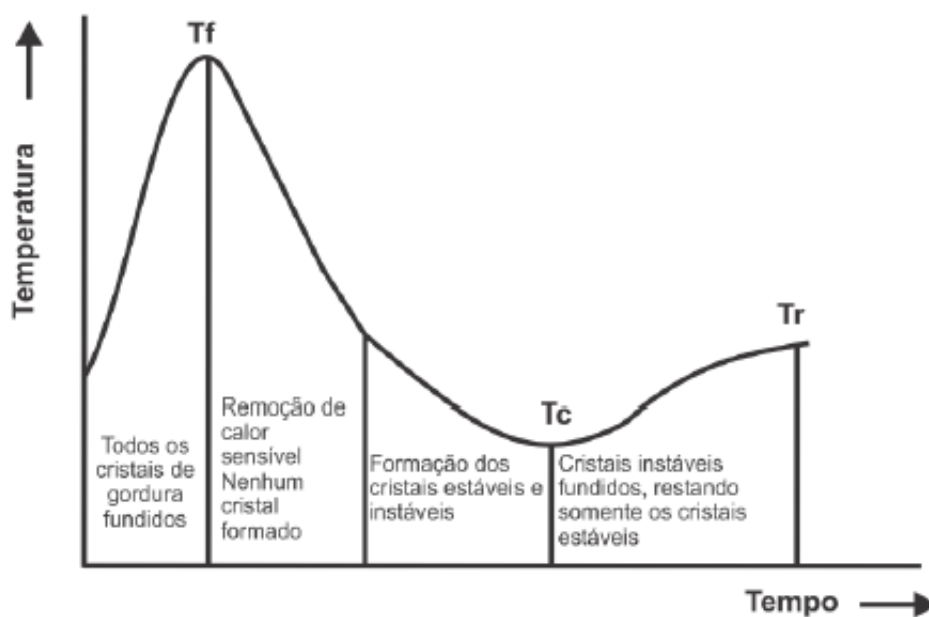
A etapa do refino é realizada para promover a redução do tamanho das partículas presentes na pasta de chocolate, tornando-as assim imperceptíveis ao degustar o produto. Para evitar o aspecto arenoso no sabor, o tamanho das partículas no chocolate não deve ser superior a 25 μm . Um fator que influencia diretamente nessa etapa é o teor de gordura. As massas são refinadas mais rápido se apresentarem teores baixos de gordura, em contrapartida se as massas forem muito gordurosas elas tendem a ficar mais tempo refinando devido a sua fluidez, atrapalhando o refino das partículas (MARTINS, 2007).

Entre os principais objetivos do processo de conchagem, temos a diminuição da umidade provinda dos ingredientes do chocolate, a formação de aromas desejáveis através de reações bioquímicas e a volatilização do restante dos compostos indesejáveis formados nas etapas anteriores. A conchagem também é um ótimo precursor da homogeneização dos ingredientes, sendo atribuídos nesta etapa a agitação, o cisalhamento da massa e o aquecimento entre 50 a 70 °C. O processo pode levar entre 5 a 12 horas dependendo da quantidade de cacau presente no chocolate (GUERREIRO, 2006).

Essa etapa tem como objetivo a cristalização da manteiga de cacau em sua forma mais estável, proporcionando uniformidade dos seus cristais. Segundo Luccas (2001), o processo de temperagem pode ser dividido em três etapas principais. Na primeira, o chocolate proveniente da conchagem é derretido e mantido a temperaturas entre 45 e 50 °C com o objetivo de que a forma cristalina presente seja destruída. Na segunda etapa, acontece sob movimentação constante, o resfriamento lento do chocolate, até chegar em sua temperatura de cristalização dos cristais tipo beta. Essa etapa é de extrema importância, pois é nela que se formam cristais instáveis que produzem futuros problemas no produto. Já a terceira etapa, consiste em elevar o chocolate a uma temperatura estável de fusão dos cristais, conferindo as propriedades reológicas ideais para os processos seguintes.

Na Figura 3 apresenta-se um gráfico do processo de temperatura *versus* tempo para o processo de temperagem do chocolate.

Figura 3 - Temperatura em função do tempo durante a temperagem do chocolate



*Tf é a temperatura de fusão; Tc é a temperatura de cristalização; e Tr é a temperatura de reaquecimento

Fonte: Miyasaki (2013)

Após a execução desse processo de temperagem, a solidificação do chocolate se torna mais rápida, trazendo características como brilho, *snap* e *flavor* mais evidentes, além de aumentar a vida útil do produto. Todavia, caso esse processo seja executado incorretamente, o chocolate pode apresentar problemas na desmoldagem, devido a diferença de densidade entre a manteiga de cacau líquida e a sólida, e trazer a cristalização da manteiga de cacau em diversos polimorfismos diferentes, resultando em manchas brancas na superfície do chocolate (*fat bloom*) quando totalmente sólido (MEYER, 2009).

Após temperagem, a massa de chocolate é distribuída em moldes específicos de acordo com cada produto, sendo levados para túneis de resfriamento. O resfriamento inicial do chocolate deve ser suave, na qual a liberação do calor latente deve ser gradativa até chegar a uma temperatura de 13 °C, onde a maior parte desse calor é liberada. Temperaturas abaixo da citada devem ser evitadas se não acompanhadas com rápida condução do ar, para não ocorrer condensação da umidade no produto. Após o resfriamento a temperatura é elevada para o produto seguir a etapa da embalagem (AWAD; MARANGONI, 2005).

A embalagem dos chocolates deve acontecer em temperatura controlada de 18 a 20 °C para prevenção da formação de cristais de manteiga de cacau. As embalagens

devem proteger o produto durante o manuseio, estocagem, distribuição e armazenagem, contendo nelas barreiras ao vapor d'água, passagem de luz e permeação de aromas externos (MEYER, 2009).

3.3 Polimorfismo, *fat bloom* e problemas recorrentes.

A manteiga de cacau se destaca como um dos principais produtos para formulação dos chocolates, devido ao seu poder de dispersão sobre as outras partículas sólidas de cacau, açúcar e leite. Além de ser responsável pelas características de brilho, fusão, dureza e quebra da temperatura ambiente. Porém devido ao seu preço elevado (muitas vezes correspondendo a 30% de custo) outros tipos de gorduras são levados em consideração como substitutos dela (TIMMS, 2003).

Os três principais ácidos graxos encontrados na composição da manteiga de cacau são: ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0) e ácido oleico (C18:1). Dentre os três, o ácido oleico encontra-se praticamente todo esterificado na posição central da molécula de glicerol, enquanto os outros ácidos se encontram nas posições 1 e 3, fazendo assim com que a manteiga de cacau apresenta seus triacilgliceróis simétricos. Essa simetria torna possível a cristalização da manteiga de cacau em uma alta ordem estrutural, formando assim propriedades únicas de fusão e cristalização bem definidas (LUCCAS; KIECKBUSCH, 2006).

3.3.1 Polimorfismo da manteiga de cacau

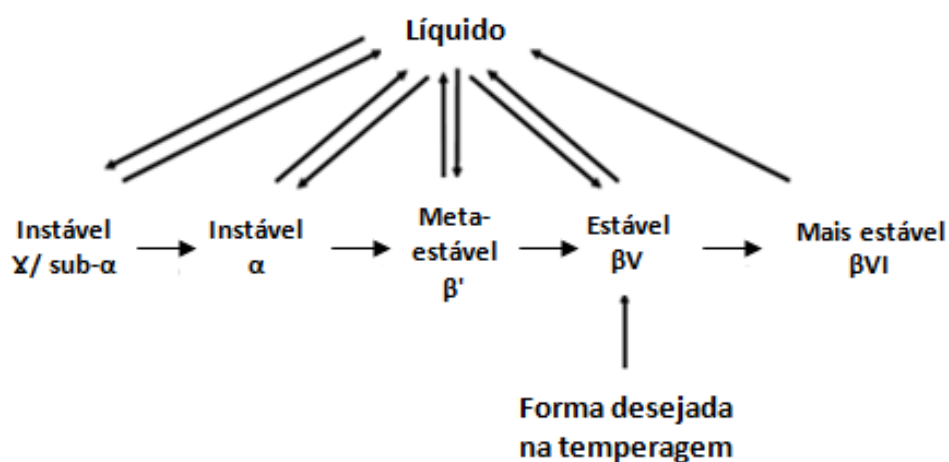
O polimorfismo se define como a capacidade de um composto em formar diferentes estruturas cristalinas com vários estados de conformação, interferindo no comportamento de solidificação, fusão, morfologia, tamanho, taxa de cristalização e agregação dos cristais de gordura (AWAD; MARANGONI, 2006).

Segundo Foubert *et al.* (2007), a cristalização dos óleos e gorduras determinam importantes características e propriedades dos alimentos, como a consistência, propriedades sensoriais e plasticidade durante as etapas de produção e estocagem.

A manteiga de cacau pode se cristalizar em diferentes formas cristalinas, sendo que cada uma delas possui um ponto de fusão e volume físico de massa sólida

diferente. Para as denominações dos cristais de manteiga de cacau utilizam-se números romanos de I a VI ou letras gregas (γ , α , β). Segundo a representação de Beckett (2009), a nomenclatura combinada para explicar o processo de cristalização é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Transições polimórficas na manteiga de cacau



Fonte: Beckett (2009)

Devido à natureza monotrópica, essa transição polimórfica ocorre irreversivelmente do polimorfo metaestável α que requer menor energia de ativação para sua nucleação e que apresenta menor temperatura de fusão e densidade, para a forma β de maior estabilidade termodinâmica e densidade (DOUAIRE, 2014).

O tipo de cristalização difere com a temperatura de fusão aplicado a ela. Essa diferença de temperatura é mostrada nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Valores máximos e mínimos de temperatura de fusão da manteiga de cacau

Nomenclatura		Mínimo (°C)	Máximo (°C)
I	γ	13,1	18
II	α	17	24,2
III	β''	20,7	28
IV	β'	25,1	33
V	β	30,7	34,9
IV	-	32,3	36,3

Fonte: Adaptado de Luccas (2001)

Tabela 3 - Ponto de fusão da manteiga de cacau em diferentes denominações de polimorfismo por diversos autores

<i>Vaeck</i>	<i>Duck</i>	<i>Wille e Lutton</i>	<i>Huygherbaert e Hendrickx</i>	<i>Lovegren</i>	<i>Devis e Dimick</i>
			[°C]		
18 (γ)	17 (γ)	17,3 (I)	14,9 - 16,1 (I)	13,0 (VI)	13,1 (I)
23,5(x)	21 - 24 (x)	23,3 (II)	17,0 - 23,2 (II)	20,0 (V)	17,1 (II)
28,0 (β'')	28,0 (β'')	25,5 (III)	22,8 - 27,1 (III)	23,0 (IV)	22,4 (III)
-	33,0 (β')	27,3 (IV)	25,1 - 27,4 (IV)	25,0 (III)	26,4 (IV)
34,5 (β)	34,4 (β)	33,8 (V)	31,3 - 33,2 (V)	30,0 (II)	30,7 (V)
		36,3 (VI)	33,8 - 36,0 (VI)	33,5 (I)	33,8 (VI)

Fonte: Adaptado de Hartel (2004)

Na cristalização de manteiga de cacau, podem ser identificadas na Tabela 2 duas fases do polimorfo β , a conformação βV e a conformação βVI , sendo esta última comparativamente de maior estabilidade termodinâmica e maior temperatura de fusão (SCHENK; PESCHA, 2004).

Com exceção da forma βVI , as modificações cristalinas na manteiga de cacau podem ser obtidas apenas em condições apropriadas de resfriamento, diretamente a partir do estado líquido (BECKETT, 2009). Na temperagem do chocolate, é necessário cristalizar a manteiga de cacau na forma polimórfica estável βV , devido nesse estado o ponto de fusão ser elevado o suficiente para que o sólido fique brilhante e firme à temperatura ambiente (TEWKESBURY *et al.*, 2000).

Durante o armazenamento do chocolate, pode ocorrer uma transição lenta da manteiga de cacau cristalizada βV para a forma βVI . A transição completa pode levar até 4 meses, sendo acelerada por flutuações de temperatura (MARANGONI, 2005). Essa transição resulta em um empacotamento mais estreito de cristais de gordura, formando uma diminuição de seu volume. Essa reação pode se manifestar mudando a aparência física do chocolate formando uma recristalização visível chamada *fat bloom* (BECKETT, 2009).

3.3.2 *Fat bloom*

O *fat bloom* é o principal defeito que atinge os chocolates e seus derivados, tornando os produtos com esse problema indesejáveis sensorialmente ao consumidor. Caracterizado inicialmente pela perda de brilho na superfície dos chocolates, com o

decorrer do tempo adquire um aspecto esbranquiçado com pequenos pontos brancos ou manchas proporcionais.

O *fat bloom* além de interferir na aparência do chocolate também causa perda no sabor e afeta sua massa total, formando cristais irregulares de tamanhos variáveis entre 1 e 5 mm. Esse efeito é dependente da estrutura de rede contínua de gordura semicristalina presente no chocolate, podendo variar conforme a proporção de gordura sólida, o tamanho, a forma do cristal e o polimorfismo cristalino (BRIONES; AGUILERA, 2005; MEYER, 2009).

A estrutura do chocolate por ser metaestável, sofre mudanças facilmente pelas flutuações de temperatura e armazenamento, impactando em sua vida útil. Essas variações de temperatura resultam em mudanças no estado dos triacilgliceróis e nas formas polimórficas das gorduras presentes em sua composição. Além da oscilação de temperaturas, fatores como o excesso de gordura adicionada a produtos recheados, o uso de gorduras com baixo ponto de fusão e a utilização de recheios muito frios contribuem para o surgimento do *fat bloom* (ROUSSEAU, 2007).

Segundo Bastos (2003), a forma polimórfica da manteiga de cacau mais estável se encontra em temperatura ambiente, sendo assim uma temperagem adequada para obtenção destes cristais auxiliam a prevenir/retardar a formação do *fat bloom*.

Segundo BECKETT (2008) e ROUSSEAU (2007) existem três principais mecanismos de se formar o *fat bloom*. O primeiro mecanismo refere-se à alteração descontrolada da forma cristalina dos triacilgliceróis da manteiga de cacau da forma IV para a forma V, que ocorre no chocolate fundido durante a temperagem. Nessa etapa a manteiga de cacau ainda será líquida, ocorrendo a migração dela para a superfície do chocolate na solidificação. Devido ao controle minucioso da temperagem industrialmente, essa causa de formação do *fat bloom* geralmente é rara (ROUSSEAU, 2007).

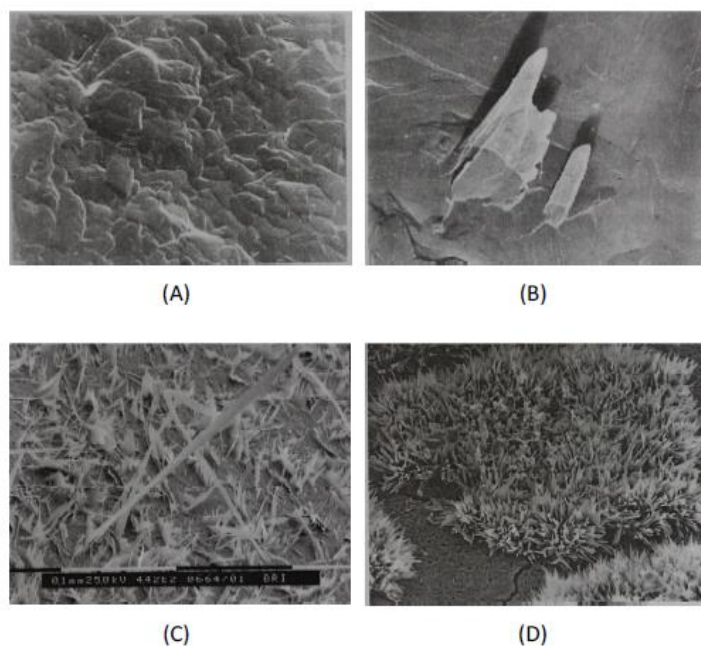
Quando o chocolate é mal temperado, a concentração de núcleos não é grande suficiente para garantir uma boa cristalização da massa antes do resfriamento. Já se novos núcleos forem gerados espontaneamente durante o resfriamento, eles formam polímeros instáveis podendo ocorrer a recristalização. Nos dois casos a formação do *fat bloom* ocorre rapidamente em menos de dois dias. Além do *fat bloom* as características do chocolate mal temperado se apresentam em *snap* reduzido com presença de grânulos e aparência sem brilho e atratividade (WALTER; CORNILLON, 2002).

O segundo mecanismo para o desenvolvimento de *fat bloom* está relacionado à transformação da forma cristalina sólida do polimorfo V em VI, devido às condições de tempo e temperatura do armazenamento. Esse mecanismo pode ocorrer em chocolates bem temperados, pois depende exclusivamente dos fatores de estocagem (ROUSSEAU, 2007). A forma VI é a mais estável do polimorfismo da manteiga de cacau, não sendo possível a formação dela em condições de processamento, a qual é uma transformação sólido - sólido diferente dos outros níveis que se formam pela manteiga de cacau líquida. Por ser um processo lento, a formação do *fat bloom* ocorre depois de meses ou anos da fabricação do chocolate (BECKETT, 2008).

O terceiro mecanismo é o mais comum em fabricação de derivados com o chocolate, o *fat bloom* desse mecanismo se forma quando o chocolate é fundido e recristalizado por uma temperagem inadequada, ocorrendo principalmente por oscilações de altas temperaturas em diversos picos de tempo. Ou seja, pequenas mudanças na temperatura fazem com que os cristais menos densos e com menor ponto de fusão se fundam e se cristalizam formando o *fat bloom* (ROUSSEAU, 2007).

Nas Figuras 5, 6 e 7 podemos ver as formas em que o *fat bloom* se apresenta nos chocolates, tanto em forma microscópica como a olho nu.

Figura 5- Estágios do fat bloom microscopicamente



*(A) chocolate temperado com cristais βV , (B) e (C) chocolate com presença de *fat bloom* e cristais βVI , (D) chocolate com *fat bloom* mostrando conexões de cristais βVI

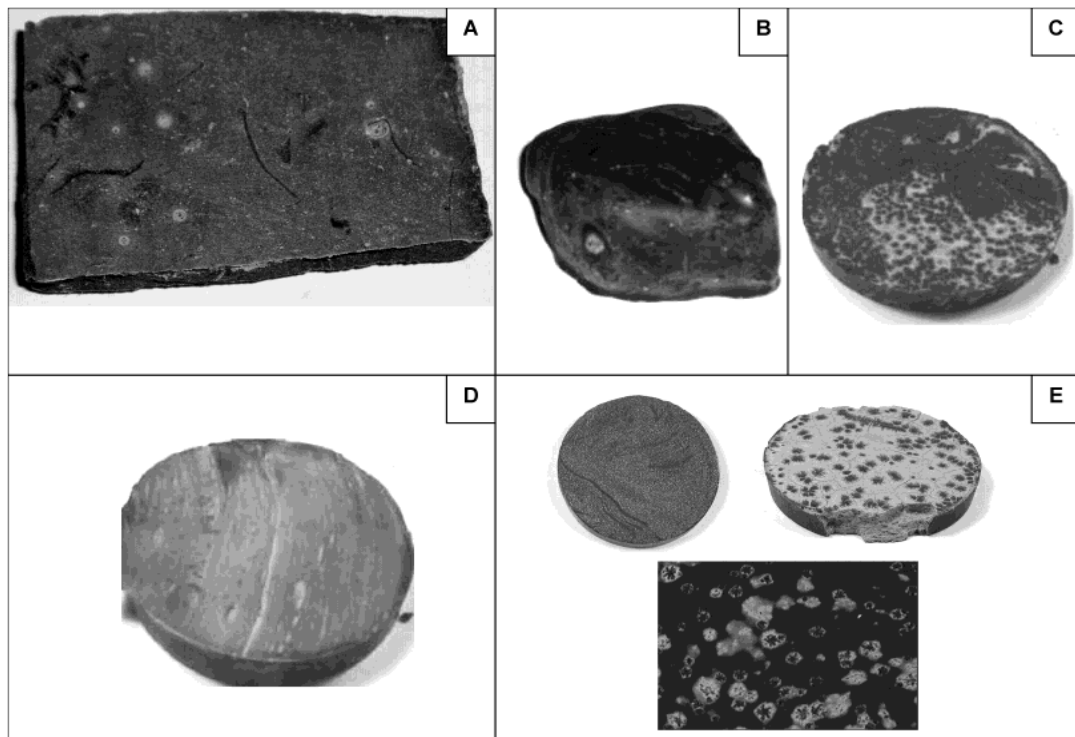
Fonte: Groves et al. (2013)

Figura 6 - formas diversas de *fat bloom* em chocolates



Fonte: Frangioni (2016)

Figura 7– Imagens de *fat bloom* em chocolate devido a diferentes causas



*(A) armazenamento, (B) migração de gordura, (C) impacto de calor, (D) superaquecimento, (E) não temperamento.

Fonte: Lonchamp e Hartel (2004)

3.3.3 Sugar bloom

Segundo Madrid *et al.* (1996), outro problema recorrente nos chocolates já produzidos é o *sugar bloom*, levando esse nome devido a formação de cristais grossos e irregulares de açúcar na superfície do chocolate.

O *sugar bloom* se forma devido a elevada presença de umidade na superfície do chocolate, assim solubilizando os açúcares presentes no produto e formando um xarope. Conforme a água presente nesse xarope evapora, os açúcares se recristalizam e ficam depositados sobre a superfície, formando um aspecto esbranquiçado similar ao *fat bloom* no produto, se diferenciando pela textura áspera dos cristais de açúcar (MADRID *et al.*, 1996; KEIJBETS *et al.*, 2010).

Os principais fatores de causa do *sugar bloom* se destacam pelas variações bruscas de temperatura, por exemplo em uma temperatura de 30 °C para refrigeração de 2 °C. Além disso, o uso de ingredientes higroscópicos na formulação de recheios e o armazenamento do chocolate em locais úmidos também influenciam na formação desse problema (BASTOS, 2003).

3.3.4 Perigos Biológicos

Na indústria de chocolate o perigo biológico mais comum provém essencialmente da *Salmonella*, e tem como fonte amêndoas secas, cacau em pó, leite em pó, ambiente durante o processamento, higiene e ações dos funcionários, insetos e roedores (WERBER *et al.*, 2005).

O sistema APPCC considera as amêndoas uma fonte permanente de *Salmonella* na fabricação de chocolate e sua presença deve ser rotineiramente verificada nos ingredientes derivados do cacau, acompanhada da seleção de fornecedores confiáveis com certificados de garantia de qualidade (ICMSF, 2000).

Um exemplo de surto ocorreu em 2010, a Nestlé de Burlington/US paralisou uma de suas linhas de produção para limpeza, após a detecção de *Salmonella* em *chips* de chocolate (FOOD PRODUCTIONDAILY, 2010).

A principal etapa de contaminação ocorre quando as sementes de cacau estão expostas a microrganismos após a colheita, durante a fermentação e no processo de secagem, e podem ser contaminadas com patógenos como a *Salmonella* (KRAPF; GANTENBEIN-DEMARCHI, 2010).

Deve-se remover ou evitar o crescimento dos microrganismos através de métodos de temperatura/tempo adequados, e instruir os empregados no sentido de exercer adequadamente o embalamento, armazenamento e distribuição (WERBER *et al.*, 2005).

3.4 Gorduras substituintes

A forma mais comum para substituir a manteiga de cacau nos chocolates é a aplicação de gorduras alternativas nas formulações. Esse efeito é comum para diminuir os custos de produção do chocolate devido à alta demanda e oferta limitada da manteiga de cacau. Essas gorduras substituintes desempenham em forma parcial ou completa a função característica da manteiga de cacau, e são divididas em três grupos principais (SHUKLA, 2006).

As gorduras substitutas à manteiga de cacau (*cocoa butter substitutes* - CBS), são gorduras de fontes láuricas que apresentam incompatibilidade com a manteiga de cacau, sendo recomendada o uso de no máximo 5% em relação ao teor de manteiga de cacau (NORBERG; KARLSHAMNS, 2006).

As gorduras substitutas não-láuricas à manteiga de cacau (*cocoa butter replacers* - CBR), são gorduras parcialmente compatíveis com a manteiga de cacau, porém possuem alto teor de ácidos graxos *trans* (SHUKLA, 2006).

Já as gorduras equivalentes à manteiga de cacau (*cocoa butter equivalents* - CBE), são gorduras vegetais não láuricas que possuem propriedades físico-químicas semelhantes à manteiga de cacau. São miscíveis em qualquer quantidade sem alterar as propriedades da manteiga de cacau, devido à sua composição de ácidos graxos possuírem os mesmos triacilgliceróis simétricos. Além disso, alguns autores recomendam a adição de 15 a 30% de CBE à manteiga de cacau para a melhoria da estabilidade térmica dos chocolates (HAI-XIONG, 2005).

O teor de gordura sólida em temperaturas abaixo de 25 °C representa a dureza de uma gordura. Para avaliar a qualidade dessas gorduras se analisa a diferença entre o teor de sólidos da gordura na faixa de 25 e 35 °C, denominado ΔS_{25-35} , que representa o perfil de fusão da gordura na boca, o qual está associado diretamente com a sensação de frio e ao desprendimento de sabor. A presença de sólidos em temperaturas próximas a 35 °C é reconhecida sensorialmente por propiciar

serosidade, a qual é facilmente detectada durante a degustação. Para que uma gordura possa ser utilizada como alternativa à manteiga de cacau na fabricação de chocolate, ela deve ser dura e quebradiça à temperatura ambiente, com teor de sólidos a 25 °C superior a 50%. Ainda, apresentar boas propriedades de fusão na boca, alto valor ΔS_{25-35} , além de não ter residual ceroso, com valores baixos ou inexistentes de sólidos acima de 35 °C (LEISSNET *et al.*, 1993; LUCCAS, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho visou formar um compilado de informações técnicas que englobam maneiras de evitar e/ou retardar a formação de *fat bloom* em chocolates ao leite. Sendo esse dividido em duas partes, a primeira com a análise em laboratório envolvendo realização de vida de prateleira acelerada de formação de *fat bloom*, e a segunda comparando os dados adquiridos com um rearranjo de informações já presentes em literatura acadêmica.

4.1 Teste de vida de prateleira acelerada

A análise em laboratório teve como objetivo estudar o principal fator de formação de *fat bloom*: a oscilação prolongada de temperaturas, acima da fusão das gorduras presentes no chocolate. Tal etapa visou encontrar os principais resultados de temperatura *versus* tempo, durante sete dias de exposição, das principais formulações de chocolates ao leite presentes hoje no mercado brasileiro.

As barras de chocolates ao leite foram divididas em quatro tipos principais, de acordo com a composição de manteiga de cacau como gordura majoritária, até ser totalmente substituído por gorduras alternativas de origem vegetal, como discriminadas na Quadro 1:

Quadro 1 – Amostragem de chocolates com suas devidas gorduras

Amostra	Características do chocolate
C1	Manteiga de cacau
C2	Proporção de 2/1 de manteiga de cacau e gordura vegetal
C3	Proporção de 2/1 de gordura vegetal e manteiga de cacau
C4	Gordura vegetal

Fonte: Autoria própria (2021)

As amostras de chocolates foram adquiridas comercialmente com objetivo de encontrar a data de validade próxima das diferenciações das marcas. Além de estarem com lote de fabricação aproximados e mesmo local de conservação. As

amostras foram preparadas em triplicata e alocadas em placas de Petri em tamanhos e proporções iguais.

Após essa divisão, as 12 amostras de chocolate foram submetidas à oscilações contínuas de temperatura em estufas, durante um total de 24 horas, das quais as amostras foram expostas entre 4 a 6 horas em período desfavorável ao polimorfismo das gorduras do chocolate, com objetivo de ocorrer a formação forçada de *fat bloom*. Logo após, as amostras ficaram em uma segunda exposição a temperatura ambiente entre 18 a 20 horas para readaptação, solidificação dos chocolates, retrocesso das gorduras e formação do *fat bloom*.

As amostras foram avaliadas diariamente após o período de readaptação em temperatura ambiente, sendo a primeira análise realizada com o chocolate em sua forma inicial e as outras 6 análises com o decorrer dos dias. Foram realizados dois métodos de avaliação da formação de *fat bloom*, cada método foi conduzido em triplicata para as 4 amostras de chocolates ao leite avaliadas. No primeiro método avaliou-se a formação de *fat bloom* através da formação do polimorfismo βV da manteiga de cacau e gorduras vegetais, atingindo uma temperatura intermediária de 32 °C. Já no segundo método avaliaram-se os mesmos critérios aplicando uma temperatura agressiva de 36 °C para formação de *fat bloom*.

4.1.1 Determinação do índice de brancura

O método utilizado para avaliar a variação de cor das amostras de chocolate ao leite no decorrer das aplicações foi o índice de brancura por colorimetria. A formação e a progressão do *fat bloom* nas superfícies das amostras de chocolate foram avaliadas aplicando o colorímetro diretamente nas amostras de chocolate ao leite. Essa aplicação foi feita em 6 pontos distintos de cada amostra, sendo em cada uma delas apresentando valores de L^* , a^* e b^* validados pelo sistema CIELAB do equipamento, em que:

- L^* : luminosidade ou componente de brilho, com variação de preto a branco;
- a^* : variação de verde a vermelho;
- b^* : variação de azul a amarelo.

Foi utilizada a média de 6 determinações para obtenção do *White Index* (WI), calculado por meio da Equação 1 (LOHMAN; HARTEL, 1994; GRUNENVALDT, 2009).

$$WI = 100 - \sqrt{[(100 - L^*)^2 + a^*2 + b^*2]} \cdot 0,5 \quad (1)$$

Quanto mais alto o valor deste índice, mais branca é a cor da superfície e, portanto, maior o desenvolvimento de *fat bloom*.

4.2 Avaliação de parâmetros referenciais para impedir a formação de fat bloom.

Por meio de compilado de pesquisa teórica junto aos resultados laboratoriais, verificou-se quais variedades de gorduras nas formulações de chocolate são mais propensas para formação de *fat bloom*. Verificou-se quais fatores químicos e físicos podem favorecer na formação e na redução desse problema; e indicou-se formas para prevenir a formação de *fat bloom* na produção e armazenamento de chocolate envolvendo métodos industriais de produção, embalagens e condições de armazenamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teste de vida de prateleira acelerado

Durante os tempos de armazenamento escolhidos para determinação, a avaliação da formação de *fat bloom* se fez de maneira visual na superfície dos chocolates na forma das manchas brancas que, variaram desde pequenas alterações (pouco perceptíveis) até mais evidentes, considerando a acuidade visual do analista. De forma analítica, a avaliação foi realizada utilizando o índice de brancura mensurada por calorímetro.

O tempo em horas para a formação do *fat bloom* foi estabelecido entre 4 a 6 horas, dependendo das condições experimentais durante o ensaio para promover a fusão das gorduras nas amostras. Após isso, um total de 18 a 20 horas foi necessário para a completa ressolidificação, e a manifestação das manchas características de *fat bloom*.

A avaliação visual das amostras de chocolate foi registrada por meio de imagens, visando comparar e mensurar a extensão das alterações na superfície do chocolate entre cada ensaio. Destaca-se que as fotos do ciclo 1 foram tomadas antes de aplicar o tratamento térmico, servindo de amostra controle. O ciclo 2, apresenta as transformações decorrentes de 24 horas de ensaio (6 horas em temperatura a indicada de 32 ou 36 °C, e 18 horas a temperatura ambiente), sendo que os demais ciclos, repetiram as condições experimentais de 24 horas e equivalem a um novo ciclo, finalizando o ensaio no ciclo 7, que correspondeu ao sexto dia de experimento.

5.1.1 Análise visual de amostra a 32 °C

Flutuações de temperatura diminuem o tempo de indução para formação de *fat bloom* e aumentam a taxa com que este ocorre. Em chocolates, mesmo com pequenas variações de temperatura a taxa de formação de *fat bloom* aumenta com diferentes graus de mudança visual aparente. No entanto, definir qual o principal fator para que este se forme, se é devido às temperaturas mais altas, ou devido às flutuações de temperatura ainda não foi bem definido (LONCHAMPT e HARTEL, 2004).

Para o teste de ciclos a temperatura de 32 °C, observou-se diferentes taxas de formação de *fat bloom* com o decorrer dos ciclos. A Figura 7 mostra as diferentes alterações das 4 amostras no decorrer dos ciclos. Nessa imagem é possível observar a amostra que mais apresentou mudanças dentre a triplicata. As fotos das outras amostras estão presentes no **Apêndice A**.

Podemos observar para a amostra C1 que em sua formulação apresenta apenas manteiga de cacau que até o ciclo 4 (3 dias) de aplicação dessas flutuações não se apresentou mudanças, tanto em sua aparência geral, como em seu brilho. Porém, a partir do 4º dia as primeiras manchas de gordura começaram a aparecer de forma uniforme. No 5º dia elas estavam bem presentes. E no último dia de aplicação quase completaram a amostra com sua coloração amarelo/esbranquiçado.

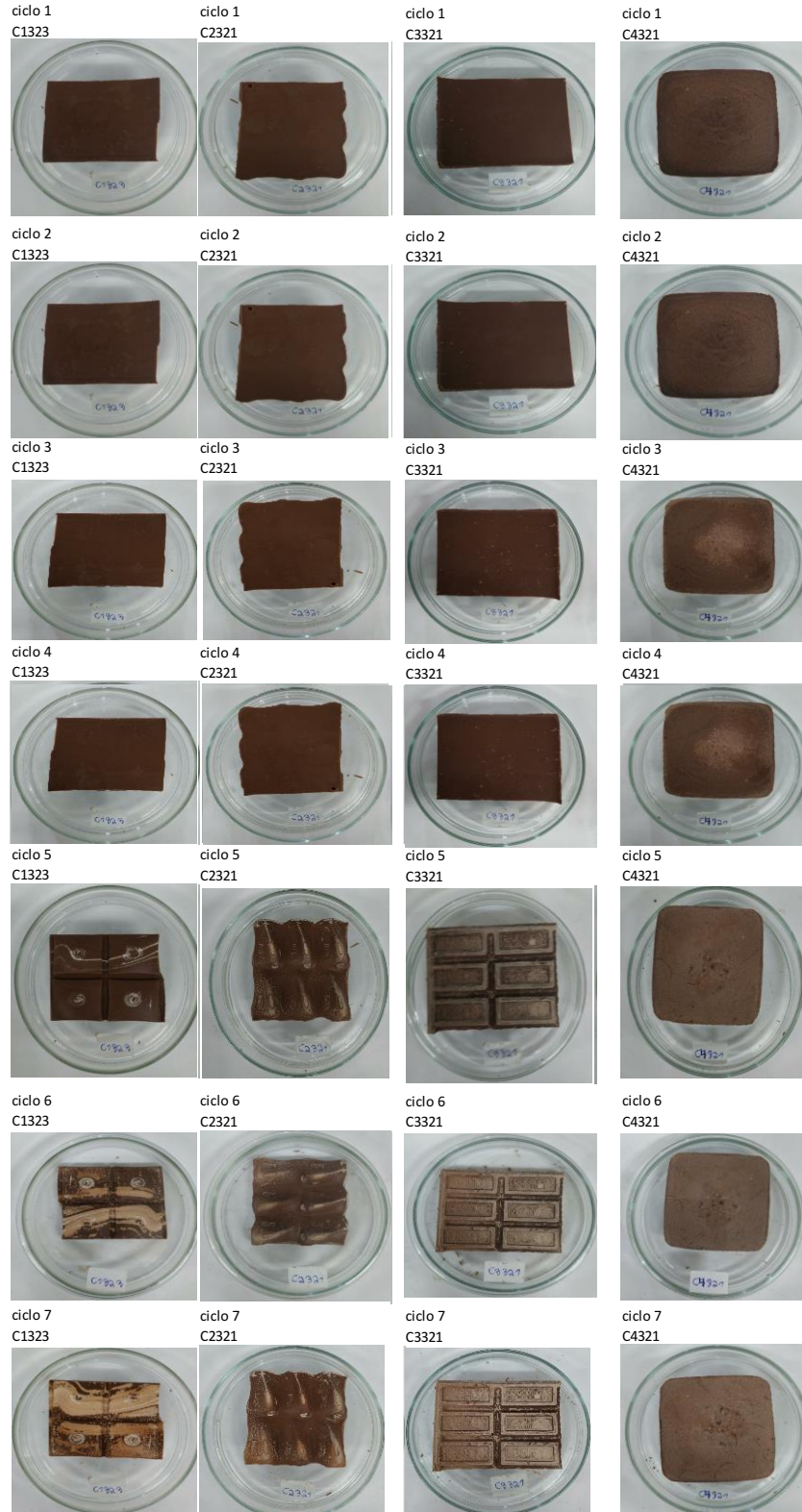
A amostra C2 também apresentou ocorrência de *fat bloom*, porém não tão demonstrativa como nas duas primeiras amostras. As primeiras manchas apareceram no 5º ciclo, pontuadas principalmente dos cantos e arestas da amostra, no 7º e último ciclo essas manchas aumentaram de tamanho, mas não influenciaram a textura do chocolate como em C3.

Os chocolates com presença de uma mesclagem entre manteiga de cacau e gordura vegetais também tiveram variações de *fat bloom* com o decorrer dos ciclos. A amostra C3 começou a apresentar pequenos pontos brancos já no 3º dia de aplicação, porém o ápice veio em seu 4º dia, no qual a amostra toda já estava com manchas brancas mais claras que as da amostra C1 (podendo ser devido a diferenciação das gorduras). No 7º ciclo o chocolate já estava completamente branco, apresentando pequenos espaços sem o *fat bloom*. Além disso, essa amostra teve alta influência em sua textura, na qual ao cortar o chocolate ele se apresentou arenoso e se deformando facilmente, devido a presença de *fat bloom* estar também no interior da amostra.

Por fim, a amostra C4 com apenas gordura vegetal em sua composição, se apresentou bem instável durante os ciclos. Logo no 3º ciclo a coloração das amostras começou a ficar esbranquiçada no centro, e no decorrer dos ciclos foi tornando o chocolate uniformemente mais claro, porém não do mesmo modo que nas outras três amostras, podendo ter ocorrido uma estabilidade das gorduras na superfície das amostras. Ou seja, não se obteve um aglomerado de cristais de gordura para formar manchas mais visíveis, e sim ocorreu uma uniformidade dos cristais se espalhando por toda a amostra.

A Figura 8 apresenta uma amostra de cada avaliação durante os 7 ciclos de oscilação de temperatura a 32 °C.

Figura 8 – Amostras a 32 °C por 7 ciclos



Fonte: Autoria Própria (2021)

5.1.3 Análise visual amostra a 36 °C

Para o teste de ciclos a temperatura de 36 °C, também se obteve diferentes taxas de formação de *fat bloom* com o decorrer dos ciclos. A Figura 9 mostra as diferentes alterações das 4 amostras no decorrer dos ciclos. Nessa imagem está presente a amostra que mais apresentou mudanças dentre a triplicata. As fotos das outras amostras estão presentes no **Apêndice A**.

Para a amostra C1 (apenas manteiga de cacau na formulação) a formação do *fat bloom* já ocorreu depois do 1º dia de aplicação (ciclo 2), ou seja, as amostras de chocolate ao leite em apenas aproximadamente 6 horas em temperatura de 36 °C já foram afetadas e proporcionadas a formar as manchas brancas. Nesse ciclo 2 se formou manchas mais claras e uniformes sem adquirir formado padrão de *fat bloom*. No 2º dia de aplicação (ciclo 3) se obteve o maior pico de formação de manchas dessa amostra, com aglomerados amarelo/esbranquiçados vibrantes afetando praticamente a amostra toda, deixando apenas alguns espaços sem a presença da gordura em sua superfície. No ciclo 4 as manchas deram uma diminuída, porém ficaram ainda muito evidentes.

Já no ciclo 5 da amostra C1, devido ao menor tempo de descanso das amostras em temperatura ambiente, o *fat bloom* desapareceu em cerca de 90%, porém a gordura ainda estava presente na superfície em estado líquido (podendo ser observado pelo aspecto brilhante). Esse pequeno erro de formação se deu justamente porque as amostras, quando voltaram a temperatura de 36 °C, todo o *fat bloom* já formado voltou a se fundir, e para solidificar novamente foi necessário um tempo maior. Nos outros ciclos esse tempo variou de 16 a 18 horas, mas nesse ciclo devido a um erro laboratorial, deixou-se apenas por 10 horas.

O problema evidenciado no ciclo 5 se desfez no ciclo 6 ao ter se deixado exatamente o tempo proposto de 18 horas a temperatura ambiente para o chocolate solidificar totalmente, voltando a formar manchas de *fat bloom*. Essas manchas não ficaram tão evidentes e vibrantes como nos ciclos 2 e 3, mas estavam formadas. Por fim, no último ciclo a formação das manchas decaiu devido ao longo processo de aplicação na qual o chocolate em si já estava se deteriorando, tanto em seu aspecto visual quanto em sua textura. Devido a isso nas últimas fotos as amostras estão quebradas (Figura 9).

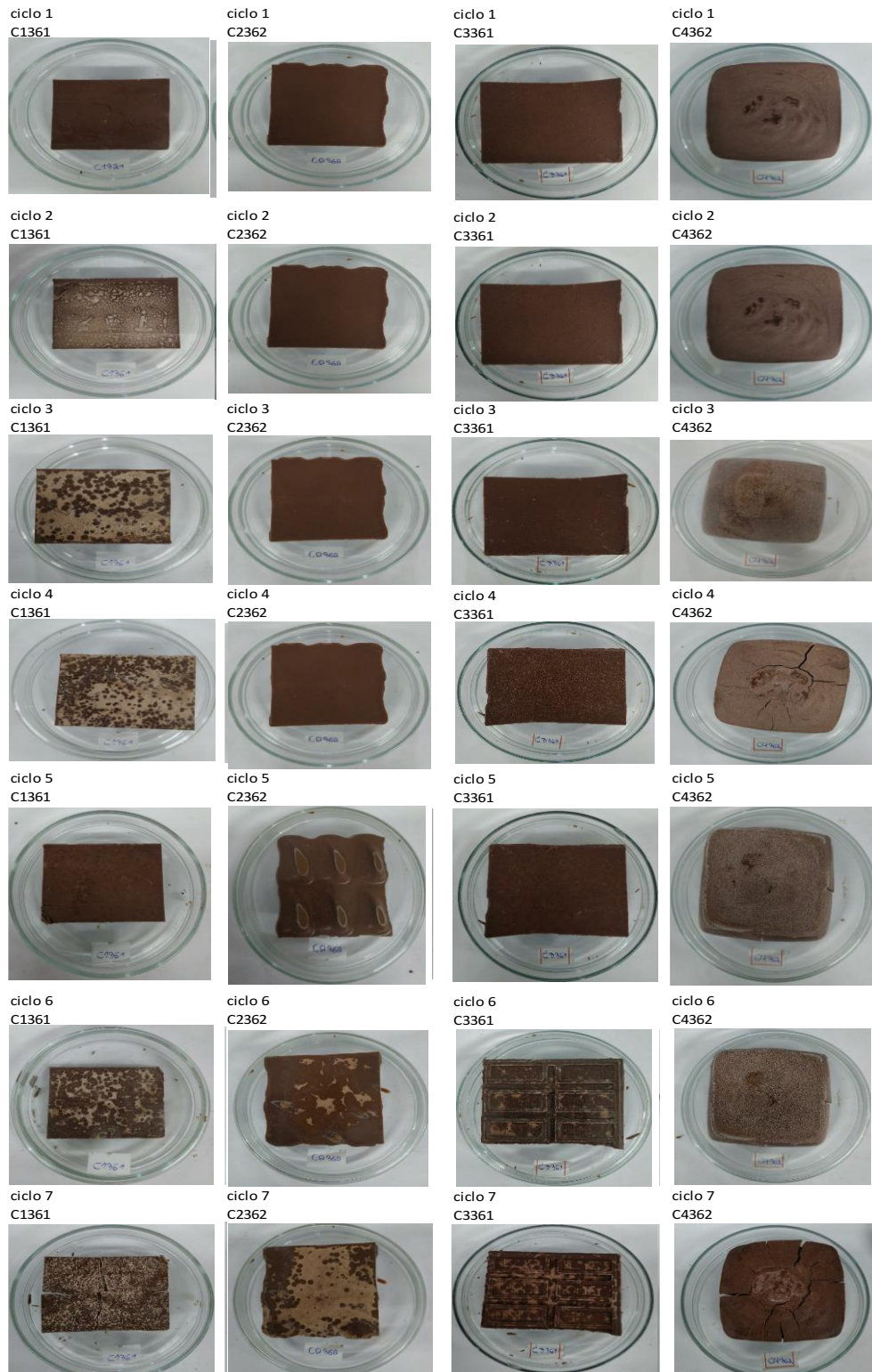
A mostra C2 apresentou a melhor estabilidade entre as 4 amostras, até o ciclo 5 não alterando nada em seu aspecto sensorial, formando manchas de *fat bloom* apenas no 5º dia de aplicação (ciclo 6) em pequenas proporções. Já no ciclo 7, formaram-se manchas em quase toda superfície, com coloração e aspecto muito parecidos com o ciclo 3 da amostra C1.

A amostra C3 começou a apresentar pequenas manchas em formato de pontos de gordura já no 2º dia de aplicação. Esse aspecto se manteve até ciclo 5. No ciclo 6 as manchas de *fat bloom* começaram a aparecer deixando em pequenas proporções nas arestas das amostras. Por fim no ciclo 7 também ocorreu o ápice de formação de *fat bloom*.

A amostra 4 se comportou de forma muito parecida com a amostra que esteve a 32 °C, formando uma mancha branca clara e uniforme já no 1º dia de aplicação, porém a partir do ciclo 4 até o ciclo 6 as amostras começaram a sofrer pequenos rompimentos deixando o chocolate com rachaduras e aspecto seco. Além disso, as manchas ficaram um pouco mais brancas, mas com aspecto muito diferente das outras 3 amostras. No último ciclo a amostra perdeu um pouco a característica branca, ficando com mais rachaduras e aparência mais escura, provavelmente devido à instabilidade das gorduras vegetais presentes nesse chocolate.

Segue a baixo a Figura 9 com uma amostra de cada avaliação durante os 7 ciclos de oscilação de temperatura a 36 °C.

Figura 9 – Amostras a 36 °C por 7 ciclos



Fonte: Autoria Própria (2021)

5.2 Índice de brancura

O WI foi determinado em 6 pontos visuais das amostras, divididos entre os 4 cantos, centro e um sexto baseado em pontos mais extremos de formação das manchas. Tal escolha se deu justamente pela formação de *fat bloom* ser desigual e não homogênea, formando-se em locais diferentes da superfície.

A realização dessa análise se baseou em medir as amostras após cada ciclo de aplicação, sendo o ciclo 1 a amostra inicial, o ciclo 2 sendo após o 1º dia de aplicação nas temperaturas indicadas. Após isso seguindo o ciclo 3, ciclo 4, ciclo 5, ciclo 6 e ciclo 7, em que esse último, o 6º dia de aplicação. No final das análises também se mediu uma amostra branca de cada amostra de chocolate, sendo essas amostras guardadas todo tempo de análise em temperatura ambiente.

5.2.1 Índice de brancura para 32 °C

A Tabela 4 apresenta a média e o desvio padrão dos 6 pontos aplicados durante cada ciclo, junto com a média de cada triplicata. Os valores únicos de cada triplicata e cada ponto se apresentam em **Apêndice B** para melhor visualização.

Os resultados são os mesmos apresentados nas análises visuais, porém aqui pode-se observar em números a evolução da formação de *fat bloom* em cada amostra.

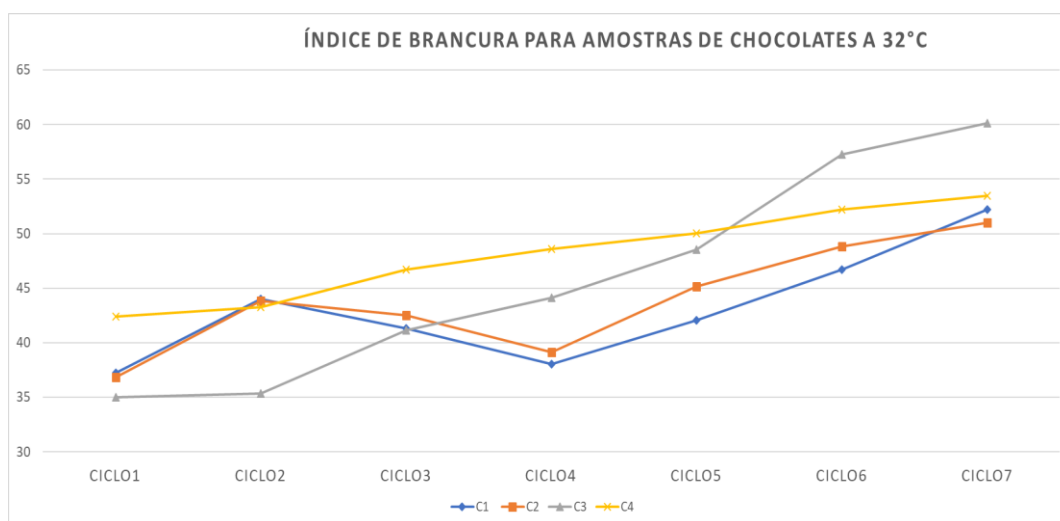
Tabela 4 - Evolução do índice de brancura em relação ao tempo

	WI T 32 °C			
	Amostra C1	Amostra C2	Amostra C3	Amostra C4
Branco	39,13 ± 0,35	40,31 ± 0,13	38,69 ± 0,53	41,99 ± 1,51
Ciclo 1	37,25 ± 0,33	36,84 ± 0,16	35,00 ± 0,27	35,82 ± 0,95
Ciclo 2	44,09 ± 0,34	43,84 ± 0,22	35,36 ± 0,92	43,29 ± 0,52
Ciclo 3	41,32 ± 0,17	42,52 ± 0,13	41,14 ± 0,24	46,72 ± 1,83
Ciclo 4	38,04 ± 0,28	39,13 ± 0,18	44,12 ± 5,84	48,62 ± 4,34
Ciclo 5	42,05 ± 0,93	45,15 ± 4,41	48,57 ± 5,21	50,03 ± 0,97
Ciclo 6	46,69 ± 2,27	48,82 ± 4,40	57,23 ± 2,52	52,23 ± 1,01
Ciclo 7	51,19 ± 3,01	51,02 ± 6,48	60,11 ± 1,81	53,45 ± 0,60

Fonte: Autoria Própria (2021)

Para melhor apresentação dos dados a Figura 10 a baixo mostra essa evolução por meio de um padrão de ciclo *versus* WI.

Figura 10 - Gráfico de índice de brancura 32 °C



Fonte: Autoria Própria (2021)

A amostra C1 representada pela linha de coloração azul, apresentou um pequeno crescimento na taxa de WI em seu 1º ciclo, porém decaiu até o ciclo 4 e depois voltou a aumentar até o ciclo 7. Sendo assim, baseado em sua amostra inicial ocorreu um aumento no índice de brancura em 13,84.

A amostra C2 representada pela coloração laranja se comportou parcialmente igual à amostra 1, tendo a diferença de um crescimento maior de seu índice entre os ciclos 4 e 6, mas finalizando o ciclo 7 abaixo da amostra C1, com um aumento de seu índice de brancura final de 14,18. Acredita-se que é justificado por sua amostra inicial ser um pouco mais escura que a amostra C1.

A amostra C3 representada pela coloração cinza, apresentou a maior taxa de aumento de WI dentre todas as amostras, alcançando a partir do ciclo 2 um aumento esporádico, fechando o ciclo 7 com uma diferença de 21,42 em seu índice de brancura. Esse valor pode ser elevado comparado com as imagens da amostra, justamente pelas amostras apresentarem um tipo de *fat bloom* mais amostral e brusco comparando as outras. Sendo essa amostra entre todas as outras, inclusive as amostras a 36 °C, a mais afetada pelo problema.

Por fim, a amostra 4 apresentou um aumento de seu WI padronizado e lento a partir do ciclo 2. Como essa amostra inicialmente já apresentava coloração mais clara,

mesmo fechando o ciclo 7 acima das amostras C1 e C2, a diferença de seu WI foi a menor, resultando em 11,46. Ou seja, a amostra 4 foi o chocolate que menos se afetou pelas transformações do *fat bloom*.

5.2.2 Índice de brancura a 36 °C

A apresentação dos dados está disposta na mesma forma que a do índice de 32 °C. Também os dados mais aplicados são apresentados no **Apêndice B**.

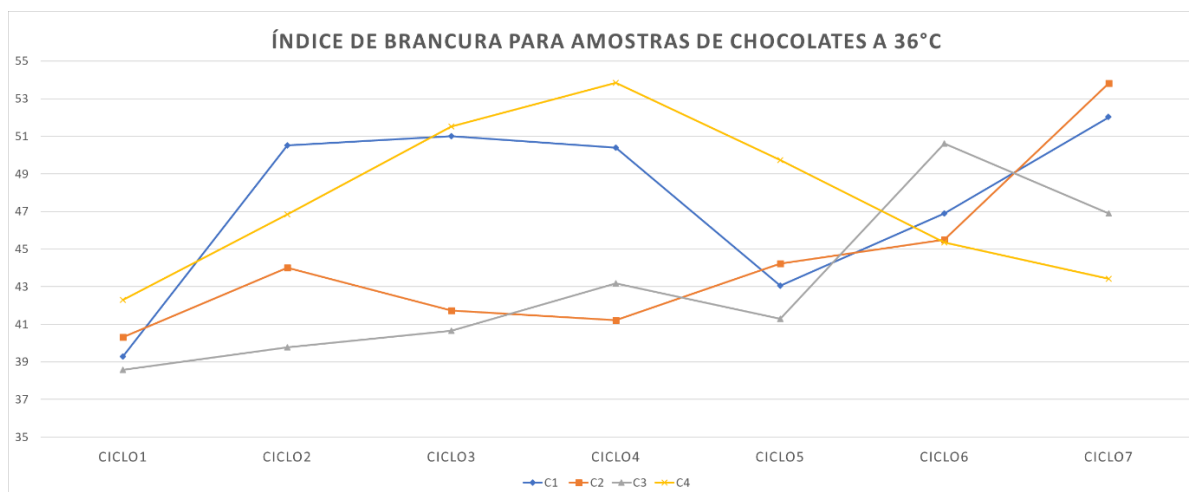
Diferente das amostras a 32 °C, a aplicação a 36 °C apresentou grandes picos de instabilidade para maioria das amostras, justamente por nessa temperatura praticamente todos os cristais de gordura estarem fundidos. Apresentados na Tabela 5 e na Figura 11 a seguir:

Tabela 5 - Evolução do índice de brancura em relação ao tempo

	WI T 36 °C			
	Amostra C1	Amostra C2	Amostra C3	Amostra C4
Branco	39,13 ± 0,35	40,31 ± 0,13	38,69 ± 0,53	41,99 ± 1,51
Ciclo 1	39,28 ± 0,50	40,32 ± 0,17	38,57 ± 0,34	42,29 ± 0,24
Ciclo 2	50,51 ± 1,61	44,01 ± 0,33	39,78 ± 0,62	46,85 ± 0,85
Ciclo 3	51,00 ± 1,79	41,72 ± 0,58	40,66 ± 0,17	51,52 ± 0,74
Ciclo 4	50,40 ± 0,64	41,23 ± 0,57	43,17 ± 0,81	53,85 ± 1,05
Ciclo 5	43,04 ± 3,18	44,23 ± 0,39	41,29 ± 0,30	49,72 ± 2,46
Ciclo 6	46,88 ± 1,90	45,50 ± 1,25	50,62 ± 2,61	45,35 ± 1,31
Ciclo 7	52,01 ± 1,58	53,81 ± 1,57	46,90 ± 1,61	43,42 ± 1,85

Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 11 - Gráfico de índice de brancura 36 °C



Fonte: Autoria Própria (2021)

A amostra C1 representada pela cor azul, apresentou resultado totalmente diferente a análise a 32 °C. Logo em seu 1º dia de aplicação a amostra já teve um pico extremo de formação do *fat bloom*, apresentando uma evolução de 11,23 de WI, sendo esse um valor extremo para 6 horas de aplicação em temperatura alta. Esse valor se manteve constante até o ciclo 4, porém no ciclo 5 como já explicado nas análises visuais, possivelmente devido a um erro ocorrido das amostras que não ficaram tempo suficiente solidificando, esse número foi baixo. Mas no ciclo o WI já se mostrou novamente ativo, finalizando o 6º dia de análise (ciclo 7) com o maior pico de WI para essa amostra, fechando esse índice com uma diferença de 12,88.

A amostra C2 de cor laranja no gráfico, apresentou o maior índice de brancura de todas as amostras, porém esse resultado apresentou-se apenas no ciclo 7 onde teve um aumento brusco. Durante os ciclos 2 ao ciclo 5 as amostras tiveram oscilações de formação de *fat bloom* apresentando uma variação pequena, mas no ciclo 6 se apresentou um aumento de 1,27 WI comparado ao ciclo 5. Esse aumento proporcionou a formação de manchas visíveis na amostra (como apresentada nas imagens). Por fim esse aumento finalizou em 13,58 WI relacionado a amostra inicial.

A amostra C3 de cor cinza, teve um comportamento parecido com a amostra C2, possuindo pequenas oscilações de WI durante os 5 primeiros ciclos. No ciclo 6 tiveram seu maior pico apresentando diferença de 12,05 WI comparado a amostra C1, finalizando o ciclo 7 com uma queda de seu valor médio para 8,33 WI. Mesmo esse valor tendo diminuído, a presença de manchas de *fat bloom* ainda estavam muito notáveis.

Por fim, a amostra C4 teve um aumento de seu índice de brancura logo no 2º ciclo, chegando ao seu ápice no ciclo 4 (3 dias de aplicação), com uma diferença de 11,56 WI. Porém esse índice começou a diminuir bruscamente nos ciclos seguintes, finalizando o ciclo 7 praticamente na mesma intensidade de cor da amostra branca.

5.3 *Fat bloom* nas amostras

As amostras se apresentaram positivamente para ocorrência de *fat bloom*, porém pode-se indicar que no mercado consumidor, se essas amostras sofrerem ciclos de temperaturas contínuas nas temperaturas de 32 °C a 36 °C, elas estarão favoráveis a formação de *fat bloom*.

A formulação dos chocolates se tornou propícia para os diferentes graus de formação desse problema. As amostras de chocolate ao leite com apenas cacau em sua formulação sofrem danos de *fat bloom* rapidamente em temperaturas mais elevadas como mostradas nos dados de 36 °C. Já a temperaturas menores elas sofrem danos, porém a quantidade de ciclos de temperatura deve ser bem maior sendo no mínimo de 4 oscilações para os primeiros parâmetros serem apresentados.

As duas amostras de chocolates ao leite com manteiga de cacau e gorduras CBS, apresentaram resultados parecidos para as duas elevações de temperatura. Sendo apenas no 4 dia de aplicação que as manchas de gordura começaram a aparecer em pequena quantidade. Entretanto, avaliando apenas a amostras C2 desse tipo de formulação, ela se mostrou mais propícia de formar as manchas em temperaturas menores. Enquanto a amostra C3 se mostrou mais favorável a formar *fat bloom* na temperatura maior.

Finalmente, a amostra de chocolate ao leite com apenas gordura vegetal em sua formulação apresentou instabilidade nas duas frações de temperatura, não formando as manchas específicas de *fat bloom*, e sim apenas tornando o chocolate mais claro e com aparência de deterioração.

5.3.1 Formação de fat bloom em outros testes

Silva (2015) submeteu amostras de chocolates com diferenciação em sua formulação de gorduras a seis ciclos de 48 horas sob oscilações 20 e 33 °C. O chocolate com apenas manteiga de cacau após os ciclos teve um índice de brancura de 52,9 WI e presença de *fat bloom* em 100% de sua superfície. Já as amostras com gordura vegetal não tiveram nenhuma alteração e seu índice de brancura decaiu. Torbica *et al.* (2014) aplicaram chocolates amargos com composição de 3 a 7% de gorduras equivalentes à manteiga de cacau (CBE) em ciclos de 12 horas a temperaturas oscilando entre 20 e 32 °C. Essa aplicação durou 30 ciclos e não houve formação de manchas brancas superficiais.

Briones e Aguilera (2005) submeteram chocolates ao leite em ciclos de 12 horas com temperaturas oscilando entre 16 e 28 °C. As primeiras alterações começaram a se formar apenas após 52 dias de aplicação. Já Bricknell e Hartel (1998) aplicaram ciclos de 6 horas em temperaturas entre 19 a 29 °C em amostras de chocolate ao leite, não ocorrendo a formação de *fat bloom* mesmo após 20 dias de exposição.

Hodge e Rousseau (2002) induzirão chocolates ao leite a ciclos de 20 para 32, 33, e 34 °C em períodos de 24 horas. Para o ciclo com temperatura de 32 °C a superfície das amostras de chocolates não apresentaram ocorrência de *fat bloom*. Já no ciclo de 33 °C resultaram no desenvolvimento de pequenas manchas de gorduras visíveis na superfície do chocolate. Por fim, na temperatura de 34 °C a superfície dos chocolates foram mais afetadas. Puderam-se observar manchas grandes visíveis após apenas a aplicação de 1 ciclo, e conseqüentemente aumentando após ciclos seguintes.

5.4 Estratégias para controle/impedimento do *fat bloom*

Visando que a temperatura de 32 °C é muito comum no Brasil todo, principalmente no verão, deve-se tomar cuidados para que esses picos de oscilação não ocorram.

Segundo Santos (2021), alguns cuidados com o processamento do chocolate podem servir como agente *antifat bloom*, conseguindo reduzir a formação das manchas brancas e até mesmo retardá-las. Além do controle de temperatura e tempo que teve foco total nesse trabalho, a adição de triesterato de sorbina e polisorbato 60 junto a manteiga de cacau ou gorduras presentes na formulação do chocolate faz com que ocorra uma melhor indução de cristais estáveis durante picos de temperagem indesejáveis.

A adição de gorduras substituintes como as CBE mostra uma adaptação boa se adicionado entre 5 a 7% junto a manteiga de cacau, fornecendo uma estabilidade maior aos chocolates que também sofrem picos de temperatura.

Chocolates submetidos temperaturas maiores de 35 °C acidentalmente, sofrem derretimentos e recristalizações. Esses novos cristais dão origem a polimorfos menos estáveis como o BIV, ou ficam transitando entre formas BIV e BV. As manchas decorrentes dessa exposição são geralmente de maior superfície. Quando vários cristais estão crescendo na mesma área, um espaço inter cristal, desprovido de gordura, é formado devido à contração de volume causada por a transição polimórfica (LONCHAMPT; HARTEL, 2004).

Como a migração do óleo é a principal causa do início da proliferação de gordura nos chocolates alguns fatores podem retardar esse fenômeno:

A temperatura é o principal determinante dessa migração, assim se estabelecer uma nova abordagem de armazenamento diferenciada esse desequilíbrio pode se alterar. Normalmente os chocolates são armazenados a temperatura de 18 °C após sua produção. Depypere *et al.* (2009) propôs um armazenamento rápido abaixo de zero para retardar a migração do óleo melhorando a microestrutura do chocolate, dificultando a difusão e proliferação das gorduras que conseqüentemente formariam o *fat bloom* durante o armazenamento.

Miquel *et al.* (2001) mostrou que um tratamento térmico que consiste em 24 horas a 30 °C, seguido por 24 horas a 4 °C, reduz o total efeito de amolecimento causado pela migração do óleo.

Ziegler (2009) estudou o fenômeno de tortuosidade do chocolate, ou seja, o quão disperso está a estrutura das partículas no desenvolvimento do chocolate. Esse fator é aplicado durante a distribuição e empacotamento de partículas na etapa de refino e temperagem, podendo ser mais homogênea ou tortuosas. Nesse último retardando, a migração das gorduras formaria o *fat bloom*. O autor também

exemplificou a adição de frações de gordura de leite para o retardamento do *fat bloom*, explicado pela maior solubilidade na fase de óleo das gorduras presentes no chocolate, atrasando a sua recristalização justamente por necessitar de um ponto de solidificação maior. Porém, a adição dessas gorduras pode deixar o chocolate com textura mais líquido.

Outros tipos de gorduras também podem ser adicionados para retardar a formação do *fat bloom*, essas gorduras devem ser baseadas em TAGs (Triacilgliceróis) com cadeias longas e de média saturação. Essas gorduras necessitam de temperaturas mais altas de cristalização produzindo pequenos cristais e formando uma matriz que retém as gorduras formadoras das manchas brancas superficiais (BIRKETT; TALBOT, 2009).

Por fim, um dos indicadores que podem ser aplicados para reconhecer se os chocolates possam estar com a presença de *fat bloom*, mesmo sem abri-los, é a aplicação de embalagens inteligentes que contém sensores indicando se o produto passou por temperaturas de estresse durante seu percurso até revendedoras ou até mesmo em seu armazenamento geral.

Os indicadores calorimétricos podem ser incorporados às embalagens facilmente. Eles têm se destacado pela simplicidade do processo e facilidade de amostragem com o consumidor. Esses indicadores podem ser produzidos com a incorporação de corantes naturais, como as antocianinas (LE *et al.*, 2019).

A temperatura, e suas flutuações, é um dos fatores ambientais mais substanciais, por determinado período, levam à deterioração dos alimentos e nos chocolates à formação de *fat bloom*. Os indicadores de tempo e temperatura foram desenvolvidos para mostrar, de forma bastante simples, se um produto foi exposto a diferenças drásticas de temperatura, o tempo de duração, bem como o efeito dessa exposição, fornecendo informações sobre a qualidade e a segurança microbiana do produto (MOHEBI; MARQUEZ, 2015).

Um exemplo de empresa que produz esses indicadores para as embalagens é a 3M. Ela criou um indicador de tempo e temperatura chamado *Monitor Mark Time Temperature Indicators*, que monitora o armazenamento e as condições dos alimentos na cadeia de comercialização. O dispositivo é um registro irreversível da exposição à temperatura, além de ser preciso e fácil de interpretar (TEIXEIRA; SOARES, 2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *fat bloom* como evidenciado é um problema real e que afeta diretamente os chocolates que sofrem com instabilidades durante processamento e armazenamento. Esse fenômeno é comprovado pela mutabilidade dos cristais de polimorfismo presentes na manteiga de cacau ao aplicar diferentes exposições de fusão e solidificação ocorrendo instabilidade e migração deles para a superfície dos chocolates.

Na exposição de chocolates a temperaturas iniciais de fusão da manteiga de cacau a 32 °C e a temperaturas mais críticas como a de 36 °C, a migração das gorduras ocorreu, variamente apenas o tempo em que são expostas. Sendo que em temperatura de 36 °C, bastou apenas uma única exposição de 6 horas para os primeiros defeitos já aparecerem. Porém, em temperaturas mais baixas, há uma dependência de mais exposições para ocorrer o fenômeno, como mostrado em análises em 4 exposições intensas de 6 horas.

A exposição de chocolates a temperaturas mais altas não causam apenas a formação de *fat bloom*, mas também a perda de brilho, deformação das amostras, diminuição do volume e perda de textura. Esses fatores variam completamente dependendo da formulação própria do chocolate.

Em amostras com apenas manteiga de cacau, comprovou-se a formação de manchas de *fat bloom* mais rapidamente, porém essas manchas quando atingem um pico máximo de formação não tendem a deformar o chocolate em sua aparência interna. Já amostras com gorduras substituintes misturadas com manteiga de cacau apresentam maior estabilidade em poucas exposições, mas quando expostas por longos períodos se tornam mais favoráveis ao *fat bloom*, de maneira externa e interna. Por fim, chocolates sem presença de manteiga de cacau tendem a serem instáveis visualmente, mas não formam manchas brancas típicas de *fat bloom* e sim um embranquecimento geral formado por instabilidades de outros tipos de gorduras.

Com isso, esse trabalho proporcionou informações racionais que auxiliam em como prevenir e impedir com que o *fat bloom* ocorra, mostrando que se deve ter um cuidado especial ao expor chocolates a temperaturas superiores a 32°C por vários picos de tempo, sendo o melhor método impedir com que essa exposição ocorra. Além disso exemplificou-se que chocolates com a formulação de gorduras substituintes junto a manteiga de cacau tendem a serem mais estáveis a temperaturas elevadas,

sendo uma solução para o problema em pequenas exposições. Ainda, a melhor forma de prevenção seria compilar essas duas informações em embalagens inteligentes que expõe ao consumidor se o chocolate foi exposto a esses fatores, podendo assim impedir a tempo que o problema ocorra.

Para trabalhos futuros, propõe-se que as amostras de chocolates sejam feitas manualmente para descobrir proporções e tipos exatos de gorduras que retardam a formação do *fat bloom*, e aplicar proporções de tempo menores do que 6 horas para verificação exata do tempo mínimo de formação do problema.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. **Como fazer chocolate a partir das nibs de cacau**. 2018. Disponível em: <https://www.voninmaquinas.com.br/como-fazer-chocolate/>. Acesso em: 31 out. 2021.
- AWAD, T. S.; MARANGONI, A. G. Ingredient Interaction Affecting Texture and Microstructure of Confectionery Chocolate. In: GAONKAR, A. G.; MCPHERSON, A. **Ingredient Interactions: Effects on Food Quality**. 2. ed. New York: Taylor & Francis, p. 424–471, 2005.
- BASTOS, C. P. Processamento de Chocolate. Pelotas. 17f. Trabalho (apresentado como requisito parcial da disciplina de Seminários) – Bacharelado em Química de Alimentos, **Universidade Federal de Pelotas**, Pelotas, 2003.
- BATISTA, A. P. S. A. **Chocolate: sua história e principais características**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Gastronomia e Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- BECKETT, S. T. CHOCOLATE | Milk Chocolate. In: **Encyclopedia of Dairy Sciences**. P. 856-861, 2011. NÃO LIMA, Urgel de Almeida. O que é matéria-prima. In: *Matérias-primas dos alimentos; parte I: origem vegetal, parte II: origem animal*, 2010.
- BECKETT, S. T. **Industrial chocolate manufacture and use**. 4 ed. London: Chapman and Hall, p.169-171, 2009.
- BECKETT, S.T. Crystallizing the fat in chocolate. **The Science of Chocolate**. Ed. BECKETT, S.T. 2.ed., RSC Publishing, p.103-124, 2008.
- BONZAS, J.; BROWN, B. D. Interactions affecting microstructure, texture, and rheology of chocolate confectionery products. **Ingredient interactions: effects on food quality**. New York: Marcel Dekker, p.451-523, 1999.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico para chocolates e produtos de cacau. Resolução de diretoria colegiada - **RDC Nº 264, de 22** de setembro de 2005.
- BRICKNELL, J.; HARTEL, R.W. Relation of Fat Bloom in Chocolate to Polymorphic Transition of Cocoa Butter. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 75, n. 11, p.1609-1615, 1998.
- BRIONES, V.; AGUILERA, J.M. Image analysis of changes in surface color of chocolate. **Food Research International**, v.38, p.87–94, 2005.
- BRITO, E. S. **Estudo de mudanças estruturais e químicas produzidas durante a fermentação, secagem e torração do cacau (*Theobroma cacao* L.); e propostas de tratamento para o melhoramento do sabor**. 2000. 134p. Tese (doutorado) -

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2000.

CLERCQ, N. D., *et al.* Influence of cocoa butter diacylglycerols on migration induced fat bloom in filled chocolates: Cocoa butter diacylglycerols and migration induced fat bloom. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 116, n. 10, 1388–1399, 2014.

COE, S. D.; COE, M. D. **The True History of Chocolate**. London, ed. 3, p. 280, 2013.

DOUAIRE, M., *et al.* Fat crystallization at oil–water interfaces. **Interface Sci**, 2014. EUROPEAN COMMISSION. **Salmonella in Foodstuffs**. Opinion of the Scientific Committee on Veterinary Measures Relating to Public Health, 2003.

EFRAIM, P. **Estudo para minimizar as perdas de flavonoides durante a fermentação de cacau para produção de chocolate**. 2004. 114 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2004.

EFRAIM, P. *et al.* Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Campinas, v. 30, supl. 1, p. 142-150, 2010.

FERREIRA, A. C. R. *et al.* **Guia de Beneficiamento de Cacau de Qualidade Instituto Cabruca**. Ilhéus, P. 52, Bahia, 2013.

FERREIRA, D, N, dos S; *et al.* Processo de Temperagem da Manteiga de Cacau: análises, conceitos e sinergias em uma Multinacional. **Brazilian Journals Of Business**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 1207-12017, set. 2019.

FOOD PRODUCTIONDAILY, **Quality and Safety**, 2010. Disponível em: <<http://www.foodproductiondaily.com/Quality-Safety/Salmonella-found-inchocolate-product-at-Nestle-plant-report>>. Acesso em: 20/06/2021.

FOUBERT, I.; VAN DE WALLE, D.; DEWETTINCK, K. Physical properties: structural and physical characteristics. **The Lipid Handbook**. n. 3, p. 471-534, 2007.

FRANGIONI, Z. **Porque o chocolate às vezes fica esbranquiçado**. 2016. Disponível em: <https://chocolatrasonline.com.br/porque-chocolate-as-vezes-fica-esbranquiçado/>. Acesso em: 20/06/2021.

GLICERINA, V. *et al.* Effect of manufacturing process on the microstructural and rheological properties of milk chocolate. **Journal of Food Engineering**, v. 145, p. 45–50, 2015.

GROVES, K., PARKER, M., & MORRIS, V. Electron microscopy: principles and applications to food microstructures. **Food microstructures: microscopy, measurement and modelling**, p. 386- 428, 2013.

HAI-XIONG, W.; HOU WU, CHI-TANG HO; XIN-CHU WENG. Cocoa butter equivalent from enzymatic interesterification of tea seed oil and fatty acid methyl esters. **Food Chemistry**, v. 97, p. 661-665, 2005.

HODGE, S.M.; ROUSSEAU, D. Fat bloom formation and characterization in milk chocolate observed by atomic force microscopy. **J Amer Oil Chem Soc** n.79, p. 1115–1121, 2002.

International Commission on Microbiological Specifications for Foods, **Microrganisms in Foods 6 – Microbiological Ecology of Food Commodities**. Maryland, 2000.

KEIJBETS, E. L.; CHEN, J; VIEIRA, J. Chocolate demoulding and effects of processing conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 133-140, 2010.

KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. Disponível em:<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000004640&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 10 jun. 2021.

KRAPF. T.; GANTENBEIN-DEMARCHI, C. Thermal inactivation of Salmonella spp. during conching. **Food Science and Technology**, v. 43, ed. 4 p 720-723, 2010.

LAGUNES G. S. et al. Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic. **International journal of food microbiology**, v. 114, n. 1, p. 124-130, 2007.

LE, X. T. *et al.* Optimization of total anthocyanin content, stability and antioxidant evaluation of the anthocyanin extract from Vietnamese Carissa Carandas L. fruits. **Processes**, v. 7, n. 468, p.1-15. 2019.

LEISSNER, R. *et al.* **Cocoa butter alternatives**: handbook karlshamns oils & fats academy, v. 3, 1993.

LEITE, L. R. C. Estudo de competitividade do cacau e chocolate no Brasil: Desafios na produção e comércio global., n. 2, p. 128, Brasília, 2018.

LIMA, R. Gastronomia com pouco açúcar. **Revista Veja**. São Paulo, v.4, nº9, p.82-84, jan.2008.

LIMA, U. A. O que é matéria-prima. In: **Matérias-primas dos alimentos**; parte I: origem vegetal, parte II: origem animal. São Paulo, 2010.

LOHMAN, M.; HARTEL, R. Effect of milk fat fractions on fat bloom in dark chocolate. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Chicago, v. 71, n. 3, p. 267-276, 1994.

LONCHAMPT, P., HARTEL, R.W. Fat bloom in chocolate and compound coatings. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 106, 241-274, 2004.

LONCHAMPT, P.; HARTEL, R. W: Sugar/Fat Interactions during Bloom Formation of Under- and Non-Tempered Chocolates. **94th American Oil Chemists' Society Annual Meeting and Expo** May 4–7, Kansas City, 2003.

LOPES, A. S. **Estudo químico e nutricional de amendoas de cacau (*Theobroma cacao* L.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) em função do processamento**. 2000. 112 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2000.

LUCCAS, V. **Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate**. 195f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

LUCCAS, V. **Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu**. *fats academy*. v. 3, 1993.

MADRID, A.; CENZANO, I.; VICENTE, J.M. **Manual de Indústrias dos Alimentos**. São Paulo, p. 599, 1996.

MARANGONI, A. G. Crystallization kinetics. In: MARANGONI, A. G. **Fat Crystal Networks**. New York, p. 21-82, 2005.

MARTINS, R. Processamento de chocolate. **Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas**, Rio de Janeiro, p. 1-33, Ago 2007.

MENDONÇA, T. A. *et al.* Prospecção Tecnológica sobre a Utilização de Cacau Fino. **Revista Virtual de Química**, Salvador, v. 8, n. 4, p. 1094–1103, ago. 2016.

MEYER, J. **Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products**. Ed. Geoff Talbot. Woodhead Publishing Limited, p.1-509, 2009.

MINIFIE, B.W. **Chocolate, cocoa, and confectionery. Science and technology**, 3 ed., Champman and Hall, New York, London, 1989.

MIYASAKI, E, K. **Avaliação da adição de emulsificantes do tipo lecitinas modificadas na cristalização de manteiga de cacau e de chocolate amargo**. 2013. 178p. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MOHEBI, E; MARQUEZ, L. Intelligent packaging in meat industry: an overview of existing solutions. **Journal of Food Science and Technology**, n. 52, v.7, 3947-3964, 2015.

MOREIRA, I. M. V. **Sucessão microbiana e dinâmica de substratos e metabólitos durante a fermentação de três híbridos de cacau (*Theobroma cacao* L.) cultivados no sul da Bahia**. 2013. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

NEVESNY, E.; ZYZELEWICZ, D. Effect of lecithin concentration on properties of sucrose-free chocolate masses sweetened with isomalt. **Food Res. Technol.**, Berlin, v.220, p.131-135, 2005

NORBERG, S. KARLSHAMNS, A. Chocolate and confectionery fats. In: Gunstone, F. (ed. **Modifying lipids for use in food**. Oxford: Woodhead Publishing, p. 491-496, 2006.

RIBEIRO, A. P. B.; *et al.* **Physico-chemical properties of Brazilian cocoa butter and industrial blends**. Part I - chemical composition, solid fat content and consistency. *Grasas y Aceites*, Sevilla, v. 63, n. 1, p. 79-88, 2012.

RICHTER, M.; LANNES, S.C.S. Ingredientes usados na indústria de chocolates. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, São Paulo, v. 43, n.3, p. 357-369, 2007.

ROUSSEAU, D. On the porous mesostructure of milk chocolate viewed with atomic force microscopy. *LWT - Food Science and Technology*, v. 39, n. 8, p. 852–860, 2006.

ROUSSEAU, D. The microstructure of chocolate. In: **Understanding and controlling the microstructure of complex foods**. Ed. MCCLEMENTS, D.J. Woodhead Publishing, p.649-690, 2007.

SANTOS, A dos. **Fat bloom em chocolate e compounds**. São Paulo: Eco Editorial, 2021. 30 p.

SCHENK, H; PESCHAR, R. Understanding the structure of chocolate. *Radiat Phys Chem*.2004.

SHUKLA, V. K. S. Cocoa Butter, Cocoa Butter Equivalents, and Cocoa Butter Substitutes. In. AKOH, C. C. **Handbook of Functional Lipids**. New York: Taylor & Francis Group, p.285-286, 2006.

SILVA, Thais Lomonaco Teodoro da. **Gorduras alternativas no comportamento de cristalização da manteiga de cacau e do chocolate**. 2015. 142 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/254702>>. Acesso em: 27 out. 2021.

TEIXEIRA, S. C.; SOARES, N. F. F.; STRINGHETA, P. C. Development of colorimetric altered intelligent packaging incorporated with anthocyanins: a critical review. **Brazilian Journal of Food Technology**, 24, 2021. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.03321>.

TEWKESBURY, H.; STAPLEY, A. G. F.; FRYER, P. J. Modelling temperature distributions in cooling chocolate moulds. **Chemical Engineering Science**, Elsevier, 55, p.3123-3132, 2000.

TIMMS, R. E. **Confectionery Fats Handbook**. England: The Oily Press, 2003.

TORBICA, A.M.; PAJIN, B.S.; OMORJAN, R.P.; LONCAREVIC, I.S.; TOMIC, J.M. Physical Properties of Chocolate with Addition of Cocoa Butter Equivalent of Moderate Hardness. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.91, p.39–48, 2014.

VALDECIR, L.; BONOMI, É. C.; KIECHBUSCH, T. G. Caracterização comparativa entre chocolates ao leite formulados com gordura de leite anidra e com estearina de gordura de leite Comparative characterization between milk chocolates formulated with. **Brazilian Journal of food technology**, v. 17, n. 2, p. 130–138, 2014.

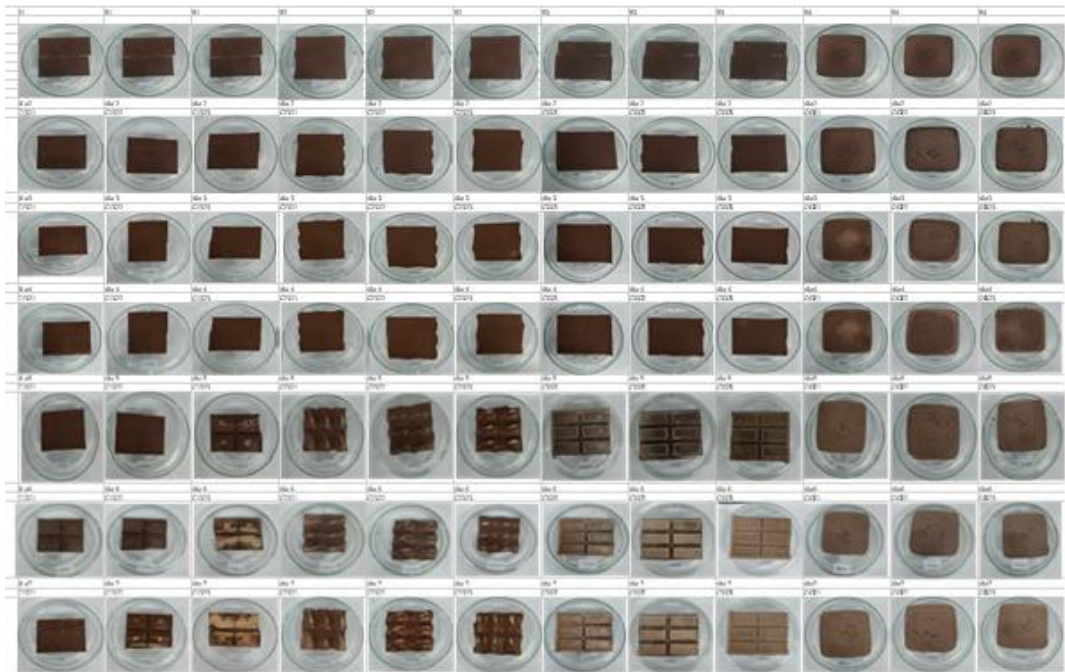
VERÍSSIMO, A. J. M. **Efeito da Origem do Cacau na sua qualidade comercial, funcional e sensorial**. O caso do cacau Catongo de São Tomé e Príncipe e do Brasil. Instituto Superior de Agronomia – Universidade técnica de Lisboa, 2012.

WALTER, P.; CORNILLON, P. Lipid migration in two-phase chocolate systems investigated by NMR and DSC. **Food Research International**, v.35, p.761–767, 2002.

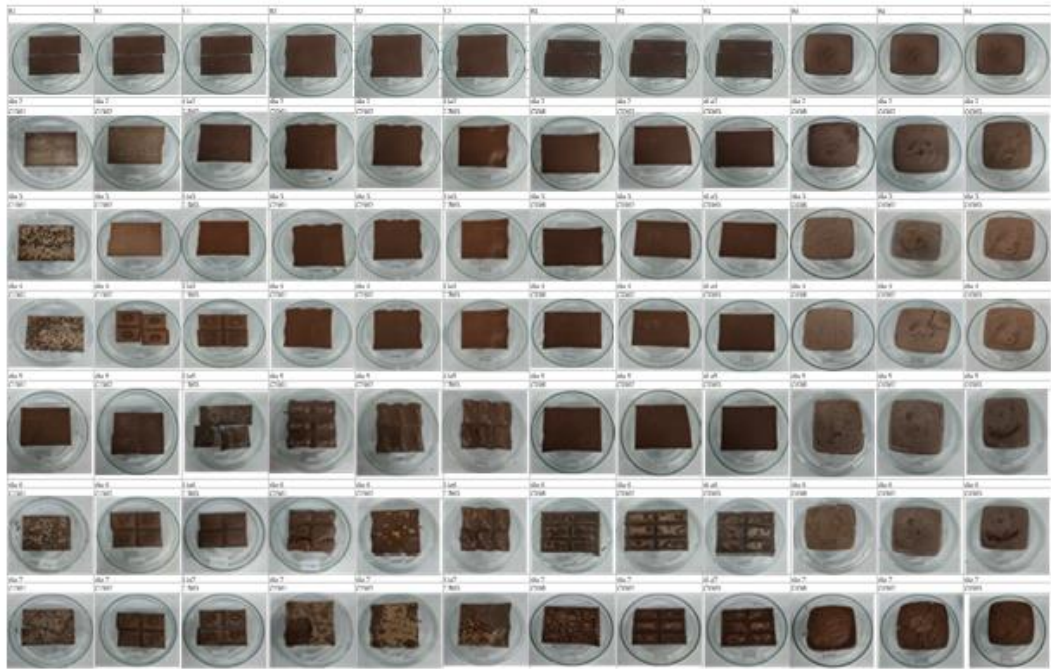
WEBER, D.; DREESMAN, J.; FEIL, F. et al. International outbreak of Salmonella Oranienburg due to German chocolate. **BMC Infectious Diseases** 5:7-17. 2005.

ZAMALLOA, W.A.C. **Caracterização físico-química e avaliação de metilpirazinas no desenvolvimento do sabor, em dez cultivares de cacau (Theobroma cacao L.) produzido no Estado de São Paulo**. 111p. 1992. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

APÊNDICE A - Fotos de todas as amostras e suas triplicatas com seus devidos ciclos de exposição a temperatura.

Ciclo a 32 °C

Ciclo a 36 °C



APÊNDICE B - Resultados específicos dos de cada ponto realizado para o índice de brancura com suas determinadas variáveis.

Ciclo a 32 °C

Código	Ciclo	Teste	Testes para índice de brancura a T 32 °C						Média para T 32 °C			
			índice 1	índice 2	índice 3	índice 4	índice 5	índice 6	Código	Ciclo	índice	desvio padrão
⊖	Branco	B1	39,15	39,29	38,54	39,28	39,56	38,96	⊖	Branco	39,13	0,35
⊖	Branco	B2	40,28	40,12	40,23	40,43	40,39	40,43	⊖	Branco	40,31	0,13
⊖	Branco	B3	38,82	38,29	37,83	39,01	38,97	39,24	⊖	Branco	38,69	0,53
⊖	Branco	B4	42,09	42,22	43,14	41,54	43,64	39,32	⊖	Branco	41,99	1,51
C1	Ciclo1	C1321	37,71	36,98	37,12	37,02	37,13	36,90	C1	Ciclo1	37,14	0,29
C1	Ciclo1	C1322	38,01	37,29	37,73	36,90	37,10	37,23	C1	Ciclo1	37,38	0,41
C1	Ciclo1	C1323	37,40	37,62	37,45	36,99	36,93	37,04	C1	Ciclo1	37,24	0,29
C2	Ciclo1	C2321	36,92	36,86	37,05	37,01	36,73	36,84	C2	Ciclo1	36,90	0,12
C2	Ciclo1	C2322	37,13	36,82	36,76	36,65	36,80	36,86	C2	Ciclo1	36,83	0,16
C2	Ciclo1	C2323	36,55	37,11	36,65	36,88	36,80	36,80	C2	Ciclo1	36,80	0,19
C3	Ciclo1	C3321	35,27	35,00	34,94	34,98	34,91	35,39	C3	Ciclo1	35,08	0,20
C3	Ciclo1	C3322	34,62	35,13	34,76	34,84	35,00	34,85	C3	Ciclo1	34,87	0,18
C3	Ciclo1	C3323	35,02	34,73	35,88	35,06	34,73	34,89	C3	Ciclo1	35,05	0,43
C4	Ciclo1	C4321	41,29	41,33	42,06	43,09	42,76	43,09	C4	Ciclo1	42,27	0,83
C4	Ciclo1	C4322	41,03	43,21	43,82	42,44	42,33	42,44	C4	Ciclo1	42,54	0,94
C4	Ciclo1	C4323	40,56	43,21	42,69	41,91	42,97	42,91	C4	Ciclo1	42,37	0,99
C1	Ciclo2	C1321	43,36	42,65	43,81	44,20	43,88	44,20	C1	Ciclo2	43,68	0,59
C1	Ciclo2	C1322	43,76	44,07	44,27	44,39	43,79	44,39	C1	Ciclo2	44,11	0,29
C1	Ciclo2	C1323	43,53	44,26	44,75	44,39	44,53	44,39	C1	Ciclo2	44,31	0,42
C2	Ciclo2	C2321	44,11	44,36	44,22	43,92	43,60	43,92	C2	Ciclo2	44,02	0,27
C2	Ciclo2	C2322	43,69	44,11	43,79	43,92	44,08	43,92	C2	Ciclo2	43,92	0,16
C2	Ciclo2	C2323	43,30	43,76	43,64	43,45	43,93	43,45	C2	Ciclo2	43,59	0,23
C3	Ciclo2	C3321	38,78	38,51	35,46	33,91	33,85	36,43	C3	Ciclo2	36,16	2,16
C3	Ciclo2	C3322	34,62	35,13	34,76	34,84	35,00	34,85	C3	Ciclo2	34,87	0,18
C3	Ciclo2	C3323	35,02	34,73	35,88	35,06	34,73	34,89	C3	Ciclo2	35,05	0,43
C4	Ciclo2	C4321	42,29	42,33	43,06	44,09	42,76	44,09	C4	Ciclo2	43,11	0,82
C4	Ciclo2	C4322	44,03	44,21	43,82	43,44	43,33	43,44	C4	Ciclo2	43,71	0,36
C4	Ciclo2	C4323	42,56	43,21	43,69	42,91	42,97	42,91	C4	Ciclo2	43,04	0,38
C1	Ciclo3	C1321	41,31	41,27	40,98	41,16	40,93	41,13	C1	Ciclo3	41,13	0,15
C1	Ciclo3	C1322	41,28	41,09	41,24	41,44	41,26	40,99	C1	Ciclo3	41,22	0,16
C1	Ciclo3	C1323	41,78	41,41	41,54	41,71	41,44	41,86	C1	Ciclo3	41,62	0,19
C2	Ciclo3	C2321	42,53	42,25	42,58	42,69	42,32	42,48	C2	Ciclo3	42,48	0,16
C2	Ciclo3	C2322	42,42	42,32	42,45	42,59	42,67	42,62	C2	Ciclo3	42,51	0,13
C2	Ciclo3	C2323	42,65	42,75	42,50	42,54	42,54	42,50	C2	Ciclo3	42,58	0,10
C3	Ciclo3	C3321	41,12	40,88	41,45	41,16	41,50	41,23	C3	Ciclo3	41,22	0,23
C3	Ciclo3	C3322	41,01	41,12	41,26	41,01	41,12	41,26	C3	Ciclo3	41,13	0,11
C3	Ciclo3	C3323	40,59	41,29	41,32	40,59	41,29	41,32	C3	Ciclo3	41,07	0,37
C4	Ciclo3	C4321	45,29	47,43	50,17	43,87	44,98	50,17	C4	Ciclo3	46,98	2,72
C4	Ciclo3	C4322	46,59	46,61	45,72	47,47	49,92	45,72	C4	Ciclo3	47,01	1,57
C4	Ciclo3	C4323	45,06	46,96	45,14	47,87	46,79	45,14	C4	Ciclo3	46,16	1,20
C1	Ciclo4	C1321	37,91	37,73	37,42	38,08	37,95	37,81	C1	Ciclo4	37,81	0,23
C1	Ciclo4	C1322	38,36	37,76	37,68	37,62	38,50	38,57	C1	Ciclo4	38,08	0,44
C1	Ciclo4	C1323	38,18	38,26	38,30	37,94	38,20	38,43	C1	Ciclo4	38,22	0,16
C2	Ciclo4	C2321	39,21	38,80	39,22	39,15	39,24	39,42	C2	Ciclo4	39,17	0,20

C2	Ciclo4	C2322	39,26	39,30	39,24	38,89	38,99	39,24	C2	Ciclo4	39,15	0,17
C2	Ciclo4	C2323	38,96	38,94	39,19	39,21	38,80	39,22	C2	Ciclo4	39,06	0,18
C3	Ciclo4	C3321	54,23	61,25	45,22	50,23	47,09	61,64	C3	Ciclo4	53,28	7,03
C3	Ciclo4	C3322	46,04	45,67	41,96	44,64	37,82	44,64	C3	Ciclo4	43,46	3,11
C3	Ciclo4	C3323	42,32	21,04	37,76	37,00	37,75	37,80	C3	Ciclo4	35,61	7,39
C4	Ciclo4	C4321	46,17	46,43	48,53	45,49	46,13	51,66	C4	Ciclo4	47,40	2,33
C4	Ciclo4	C4322	52,82	50,36	43,05	42,35	55,75	49,86	C4	Ciclo4	49,03	5,34
C4	Ciclo4	C4323	50,02	43,77	45,96	45,19	56,35	55,23	C4	Ciclo4	49,42	5,36
C1	Ciclo5	C1321	38,07	38,69	38,04	38,41	38,18	38,08	C1	Ciclo5	38,24	0,26
C1	Ciclo5	C1322	38,61	38,41	37,99	38,41	38,38	38,11	C1	Ciclo5	38,32	0,23
C1	Ciclo5	C1323	49,76	50,00	53,29	46,96	50,25	47,33	C1	Ciclo5	49,60	2,30
C2	Ciclo5	C2321	48,53	44,36	43,20	56,60	52,06	44,10	C2	Ciclo5	48,14	5,33
C2	Ciclo5	C2322	42,31	39,81	38,67	40,07	39,90	39,96	C2	Ciclo5	40,12	1,19
C2	Ciclo5	C2323	56,20	46,44	47,17	39,83	53,43	40,12	C2	Ciclo5	47,20	6,70
C3	Ciclo5	C3321	43,71	60,24	43,34	47,52	58,69	47,75	C3	Ciclo5	50,21	7,42
C3	Ciclo5	C3322	56,69	56,45	46,52	50,71	54,47	48,38	C3	Ciclo5	52,20	4,30
C3	Ciclo5	C3323	46,21	46,69	46,07	43,97	38,69	38,11	C3	Ciclo5	43,29	3,91
C4	Ciclo5	C4321	49,32	50,41	51,08	49,48	48,27	50,64	C4	Ciclo5	49,87	1,03
C4	Ciclo5	C4322	49,09	48,71	49,68	48,28	48,14	49,08	C4	Ciclo5	48,83	0,57
C4	Ciclo5	C4323	49,75	52,41	52,31	49,71	51,69	52,44	C4	Ciclo5	51,38	1,31
C1	Ciclo6	C1321	40,16	39,85	39,74	39,91	40,12	39,67	C1	Ciclo6	39,91	0,20
C1	Ciclo6	C1322	42,31	40,78	42,68	40,11	41,55	42,14	C1	Ciclo6	41,60	0,99
C1	Ciclo6	C1323	62,98	62,63	49,43	62,40	53,83	60,04	C1	Ciclo6	58,55	5,64
C2	Ciclo6	C2321	49,43	55,74	46,20	44,47	57,40	58,40	C2	Ciclo6	51,94	6,02
C2	Ciclo6	C2322	47,02	43,99	39,37	48,14	48,09	48,08	C2	Ciclo6	45,78	3,52
C2	Ciclo6	C2323	54,30	45,34	49,81	44,68	50,83	47,40	C2	Ciclo6	48,73	3,64
C3	Ciclo6	C3321	49,43	50,58	60,45	62,86	55,40	53,83	C3	Ciclo6	55,42	5,34
C3	Ciclo6	C3322	61,58	63,40	62,02	63,17	63,38	61,27	C3	Ciclo6	62,47	0,96
C3	Ciclo6	C3323	53,24	56,03	52,65	52,94	54,51	53,40	C3	Ciclo6	53,79	1,26
C4	Ciclo6	C4321	50,37	51,17	52,29	52,59	50,87	51,75	C4	Ciclo6	51,51	0,86
C4	Ciclo6	C4322	52,29	51,99	50,80	52,29	52,62	48,55	C4	Ciclo6	51,42	1,54
C4	Ciclo6	C4323	53,83	53,47	52,96	53,41	54,13	54,73	C4	Ciclo6	53,76	0,62
C1	Ciclo7	C1321	46,96	45,79	44,06	45,65	43,72	45,35	C1	Ciclo7	45,25	1,20
C1	Ciclo7	C1322	55,95	51,81	48,99	52,77	46,75	54,47	C1	Ciclo7	51,79	3,43
C1	Ciclo7	C1323	62,52	62,15	52,67	55,18	62,00	62,61	C1	Ciclo7	59,52	4,41
C2	Ciclo7	C2321	52,15	52,10	57,97	58,71	51,92	50,07	C2	Ciclo7	53,82	3,59
C2	Ciclo7	C2322	54,66	51,35	55,89	50,58	50,37	54,25	C2	Ciclo7	52,85	2,37
C2	Ciclo7	C2323	19,59	55,80	55,10	50,06	48,19	49,59	C2	Ciclo7	46,39	13,49
C3	Ciclo7	C3321	54,94	61,23	63,88	55,23	59,11	55,64	C3	Ciclo7	58,34	3,69
C3	Ciclo7	C3322	65,73	63,32	63,98	65,26	65,63	65,11	C3	Ciclo7	64,84	0,97
C3	Ciclo7	C3323	57,53	56,35	56,04	57,83	57,28	57,84	C3	Ciclo7	57,14	0,77
C4	Ciclo7	C4321	53,27	52,39	52,37	53,27	52,39	52,37	C4	Ciclo7	52,68	0,46
C4	Ciclo7	C4322	53,25	52,84	53,33	53,25	52,84	53,33	C4	Ciclo7	53,14	0,24
C4	Ciclo7	C4323	55,57	54,82	53,17	55,57	54,82	53,17	C4	Ciclo7	54,52	1,10

Ciclo a 36 °C

Código	Ciclo	Teste	Testes para índice de brancura a T 36 °C						Média para T 36 °C			
			índice 1	índice 2	índice 3	índice 4	índice 5	índice 6	Código	Ciclo	índice	desvio padrão
⚪	Branco	B1	39,15	39,29	38,54	39,28	39,56	38,96	⚪	Branco	39,13	0,35
⚪	Branco	B2	40,28	40,12	40,23	40,43	40,39	40,43	⚪	Branco	40,31	0,13
⚪	Branco	B3	38,82	38,29	37,83	39,01	38,97	39,24	⚪	Branco	38,69	0,53
⚪	Branco	B4	42,09	42,22	43,14	41,54	43,64	39,32	⚪	Branco	41,99	1,51
C1	Ciclo1	C1321	37,71	36,98	37,12	37,02	37,13	36,90	C1	Ciclo1	39,13	0,38
C1	Ciclo1	C1322	38,01	37,29	37,73	36,90	37,10	37,23	C1	Ciclo1	39,80	0,41
C1	Ciclo1	C1323	37,40	37,62	37,45	36,99	36,93	37,04	C1	Ciclo1	38,90	0,70
C2	Ciclo1	C2321	36,92	36,86	37,05	37,01	36,73	36,84	C2	Ciclo1	40,27	0,20
C2	Ciclo1	C2322	37,13	36,82	36,76	36,65	36,80	36,86	C2	Ciclo1	40,28	0,13
C2	Ciclo1	C2323	36,55	37,11	36,65	36,88	36,80	36,80	C2	Ciclo1	40,41	0,19
C3	Ciclo1	C3321	35,27	35,00	34,94	34,98	34,91	35,39	C3	Ciclo1	38,77	0,33
C3	Ciclo1	C3322	34,62	35,13	34,76	34,84	35,00	34,85	C3	Ciclo1	38,50	0,37
C3	Ciclo1	C3323	35,02	34,73	35,88	35,06	34,73	34,89	C3	Ciclo1	38,44	0,32
C4	Ciclo1	C4321	41,29	41,33	42,06	43,09	42,76	43,09	C4	Ciclo1	42,49	0,26
C4	Ciclo1	C4322	41,03	43,21	43,82	42,44	42,33	42,44	C4	Ciclo1	42,31	0,13
C4	Ciclo1	C4323	40,56	43,21	42,69	41,91	42,97	42,91	C4	Ciclo1	42,08	0,32
C1	Ciclo2	C1321	43,36	42,65	43,81	44,20	43,88	44,20	C1	Ciclo2	57,41	2,80
C1	Ciclo2	C1322	43,76	44,07	44,27	44,39	43,79	44,39	C1	Ciclo2	52,90	1,47
C1	Ciclo2	C1323	43,53	44,26	44,75	44,39	44,53	44,39	C1	Ciclo2	41,24	0,60
C2	Ciclo2	C2321	44,11	44,36	44,22	43,92	43,60	43,92	C2	Ciclo2	43,78	0,34
C2	Ciclo2	C2322	43,69	44,11	43,79	43,92	44,08	43,92	C2	Ciclo2	43,77	0,21
C2	Ciclo2	C2323	43,30	43,76	43,64	43,45	43,93	43,45	C2	Ciclo2	44,49	0,44
C3	Ciclo2	C3321	38,78	38,51	35,46	33,91	33,85	36,43	C3	Ciclo2	39,72	1,30
C3	Ciclo2	C3322	34,62	35,13	34,76	34,84	35,00	34,85	C3	Ciclo2	41,16	0,30
C3	Ciclo2	C3323	35,02	34,73	35,88	35,06	34,73	34,89	C3	Ciclo2	38,45	0,26
C4	Ciclo2	C4321	42,29	42,33	43,06	44,09	42,76	44,09	C4	Ciclo2	46,74	0,49
C4	Ciclo2	C4322	44,03	44,21	43,82	43,44	43,33	43,44	C4	Ciclo2	47,79	0,95
C4	Ciclo2	C4323	42,56	43,21	43,69	42,91	42,97	42,91	C4	Ciclo2	46,00	1,10
C1	Ciclo3	C1321	41,31	41,27	40,98	41,16	40,93	41,13	C1	Ciclo3	58,90	2,55
C1	Ciclo3	C1322	41,28	41,09	41,24	41,44	41,26	40,99	C1	Ciclo3	51,71	2,71
C1	Ciclo3	C1323	41,78	41,41	41,54	41,71	41,44	41,86	C1	Ciclo3	42,40	0,10
C2	Ciclo3	C2321	42,53	42,25	42,58	42,69	42,32	42,48	C2	Ciclo3	41,29	0,14
C2	Ciclo3	C2322	42,42	42,32	42,45	42,59	42,67	42,62	C2	Ciclo3	40,72	1,30
C2	Ciclo3	C2323	42,65	42,75	42,50	42,54	42,54	42,50	C2	Ciclo3	43,16	0,30
C3	Ciclo3	C3321	41,12	40,88	41,45	41,16	41,50	41,23	C3	Ciclo3	39,45	0,26
C3	Ciclo3	C3322	41,01	41,12	41,26	41,01	41,12	41,26	C3	Ciclo3	41,92	0,02
C3	Ciclo3	C3323	40,59	41,29	41,32	40,59	41,29	41,32	C3	Ciclo3	40,62	0,21
C4	Ciclo3	C4321	45,29	47,43	50,17	43,87	44,98	50,17	C4	Ciclo3	51,42	0,30
C4	Ciclo3	C4322	46,59	46,61	45,72	47,47	49,92	45,72	C4	Ciclo3	51,73	0,66
C4	Ciclo3	C4323	45,06	46,96	45,14	47,87	46,79	45,14	C4	Ciclo3	51,42	1,28
C1	Ciclo4	C1321	37,91	37,73	37,42	38,08	37,95	37,81	C1	Ciclo4	61,00	0,52
C1	Ciclo4	C1322	38,36	37,76	37,68	37,62	38,50	38,57	C1	Ciclo4	47,85	0,56
C1	Ciclo4	C1323	38,18	38,26	38,30	37,94	38,20	38,43	C1	Ciclo4	42,35	0,83
C2	Ciclo4	C2321	39,21	38,80	39,22	39,15	39,24	39,42	C2	Ciclo4	41,56	0,31

C2	Ciclo4	C2322	39,26	39,30	39,24	38,89	38,99	39,24	C2	Ciclo4	41,63	0,20
C2	Ciclo4	C2323	38,96	38,94	39,19	39,21	38,80	39,22	C2	Ciclo4	40,49	1,21
C3	Ciclo4	C3321	54,23	61,25	45,22	50,23	47,09	61,64	C3	Ciclo4	41,49	0,40
C3	Ciclo4	C3322	46,04	45,67	41,96	44,64	37,82	44,64	C3	Ciclo4	42,19	0,19
C3	Ciclo4	C3323	42,32	21,04	37,76	37,00	37,75	37,80	C3	Ciclo4	45,84	1,85
C4	Ciclo4	C4321	46,17	46,43	48,53	45,49	46,13	51,66	C4	Ciclo4	54,69	0,80
C4	Ciclo4	C4322	52,82	50,36	43,05	42,35	55,75	49,86	C4	Ciclo4	54,60	1,22
C4	Ciclo4	C4323	50,02	43,77	45,96	45,19	56,35	55,23	C4	Ciclo4	52,27	1,15
C1	Ciclo5	C1321	38,07	38,69	38,04	38,41	38,18	38,08	C1	Ciclo5	40,58	2,81
C1	Ciclo5	C1322	38,61	38,41	37,99	38,41	38,38	38,11	C1	Ciclo5	43,15	2,49
C1	Ciclo5	C1323	49,76	50,00	53,29	46,96	50,25	47,33	C1	Ciclo5	45,39	4,23
C2	Ciclo5	C2321	48,53	44,36	43,20	56,60	52,06	44,10	C2	Ciclo5	43,95	0,39
C2	Ciclo5	C2322	42,31	39,81	38,67	40,07	39,90	39,96	C2	Ciclo5	44,34	0,36
C2	Ciclo5	C2323	56,20	46,44	47,17	39,83	53,43	40,12	C2	Ciclo5	44,39	0,43
C3	Ciclo5	C3321	43,71	60,24	43,34	47,52	58,69	47,75	C3	Ciclo5	41,51	0,17
C3	Ciclo5	C3322	56,69	56,45	46,52	50,71	54,47	48,38	C3	Ciclo5	41,45	0,38
C3	Ciclo5	C3323	46,21	46,69	46,07	43,97	38,69	38,11	C3	Ciclo5	40,90	0,34
C4	Ciclo5	C4321	49,32	50,41	51,08	49,48	48,27	50,64	C4	Ciclo5	50,87	3,01
C4	Ciclo5	C4322	49,09	48,71	49,68	48,28	48,14	49,08	C4	Ciclo5	51,00	1,34
C4	Ciclo5	C4323	49,75	52,41	52,31	49,71	51,69	52,44	C4	Ciclo5	47,29	3,03
C1	Ciclo6	C1321	40,16	39,85	39,74	39,91	40,12	39,67	C1	Ciclo6	53,49	2,89
C1	Ciclo6	C1322	42,31	40,78	42,68	40,11	41,55	42,14	C1	Ciclo6	43,82	2,21
C1	Ciclo6	C1323	62,98	62,63	49,43	62,40	53,83	60,04	C1	Ciclo6	43,34	0,61
C2	Ciclo6	C2321	49,43	55,74	46,20	44,47	57,40	58,40	C2	Ciclo6	43,62	0,43
C2	Ciclo6	C2322	47,02	43,99	39,37	48,14	48,09	48,08	C2	Ciclo6	48,51	1,85
C2	Ciclo6	C2323	54,30	45,34	49,81	44,68	50,83	47,40	C2	Ciclo6	44,37	1,48
C3	Ciclo6	C3321	49,43	50,58	60,45	62,86	55,40	53,83	C3	Ciclo6	43,81	2,99
C3	Ciclo6	C3322	61,58	63,40	62,02	63,17	63,38	61,27	C3	Ciclo6	54,09	1,61
C3	Ciclo6	C3323	53,24	56,03	52,65	52,94	54,51	53,40	C3	Ciclo6	53,94	3,23
C4	Ciclo6	C4321	50,37	51,17	52,29	52,59	50,87	51,75	C4	Ciclo6	44,67	0,45
C4	Ciclo6	C4322	52,29	51,99	50,80	52,29	52,62	48,55	C4	Ciclo6	46,74	2,77
C4	Ciclo6	C4323	53,83	53,47	52,96	53,41	54,13	54,73	C4	Ciclo6	44,63	0,70
C1	Ciclo7	C1321	46,96	45,79	44,06	45,65	43,72	45,35	C1	Ciclo7	55,12	2,34
C1	Ciclo7	C1322	55,95	51,81	48,99	52,77	46,75	54,47	C1	Ciclo7	49,55	1,11
C1	Ciclo7	C1323	62,52	62,15	52,67	55,18	62,00	62,61	C1	Ciclo7	51,37	1,28
C2	Ciclo7	C2321	52,15	52,10	57,97	58,71	51,92	50,07	C2	Ciclo7	53,21	1,00
C2	Ciclo7	C2322	54,66	51,35	55,89	50,58	50,37	54,25	C2	Ciclo7	55,36	0,87
C2	Ciclo7	C2323	19,59	55,80	55,10	50,06	48,19	49,59	C2	Ciclo7	52,87	2,84
C3	Ciclo7	C3321	54,94	61,23	63,88	55,23	59,11	55,64	C3	Ciclo7	48,97	0,97
C3	Ciclo7	C3322	65,73	63,32	63,98	65,26	65,63	65,11	C3	Ciclo7	45,74	1,63
C3	Ciclo7	C3323	57,53	56,35	56,04	57,83	57,28	57,84	C3	Ciclo7	45,99	2,24
C4	Ciclo7	C4321	53,27	52,39	52,37	53,27	52,39	52,37	C4	Ciclo7	44,09	1,50
C4	Ciclo7	C4322	53,25	52,84	53,33	53,25	52,84	53,33	C4	Ciclo7	43,24	2,90
C4	Ciclo7	C4323	55,57	54,82	53,17	55,57	54,82	53,17	C4	Ciclo7	42,93	1,16