

Scale up do processo de produção da bolacha *Newkcal* para a escala industrial – Adaptação de uma linha de produção

Tânia Filipa Correia Fernandes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Alimentar - Processamento de Alimentos

Orientador: Professora Sara Maria Martins Beirão da Costa Teixeira de Barros

Co-orientador: Liliana Isabel Penetra Santos Bernardino

Júri:

Presidente: Doutora Margarida Gomes Moldão Martins, Professora Auxiliar com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

- Doutora Maria Luísa Duarte Martins Beirão da Costa, Professora Catedrática Aposentada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;
- Doutora Paula Maria dos Reis Correia, Professora Adjunta da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viseu;
- Liliana Isabel Penetra Bernardino, na qualidade de especialista, coorientadora.

Agradecimentos

A elaboração da presente dissertação de mestrado contou com colaborações, apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade, pelo que é fundamental expressar os meus sinceros agradecimentos:

À Professora Sara Beirão, minha orientadora, pelo acompanhamento do trabalho, assim como pelas críticas, correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação.

À Engenheira Liliana Bernardino, Supervisora de Produção da *Mondeléz Internacional, Inc.* de Mem Martins e minha coorientadora, pela confiança depositada, pela proposição da minha colaboração num projeto de tamanha envergadura, pelos conhecimentos científicos partilhados, esclarecimento de dúvidas e orientação dada, bem como pela disponibilidade e amizade então demonstradas.

Um especial agradecimento à Engenheira Susana Lemos, pela partilha de conhecimentos, por todo o apoio e incentivo, bem como pela confiança, amizade e total disponibilidade demonstrada.

À Engenheira Rosa Machado, diretora da unidade fabril da *Mondeléz Internacional Inc.* de Mem Martins, pela oportunidade concedida, permitindo a minha colaboração no projeto de *scale up* da bolacha *Newkcal*.

Agradeço igualmente a toda a equipa da *Mondeléz* de Mem Martins que tão carinhosamente me acolheu e ajudou no esclarecimento de dúvidas, bem como na recolha de toda a informação necessária à elaboração desta dissertação.

Às minhas colegas de curso, sobretudo à Cláudia Carvalho, à Maria Inês Costa e ao meu namorado, Carlos Nunes da Costa, pela paciência demonstrada, pela tranquilização em momentos mais stressantes, bem como pelo constante incentivo e opiniões, correções e críticas concedidas ao longo da elaboração de todo o trabalho.

Resumo

A presente dissertação descreve as várias fases do processo de *scale up* da produção da bolacha *Newkcal* da escala piloto para a industrial, colocando em evidência percalços ocorridos, a sua possível causa e a solução adotada para solucioná-los. Estas soluções resultaram em modificações da receita e do processo de fabrico inicial da bolacha, nomeadamente: diminuição do peso total de uma massa *Newkcal*; opção por uma execução da massa em três fases distintas; produção de dois formatos diferentes de *Newkcal* utilizando velocidades da linha de produção diferentes; troca do posicionamento dos moldes de corte/gravação da massa.

Para cada etapa deste processo de fabrico foram estabelecidos parâmetros de trabalho. As especificações do produto final foram redefinidas, ajustando-se aquelas pré-definidas durante a produção à escala piloto: o comprimento e espessura da bolacha diminuiu ligeiramente, a largura e humidade sofreram um incremento.

A bolacha *Newkcal* é considerada uma melhoria da receita e do processo de produção da bolacha *Fruit & Fit*. As características de ambas as bolachas foram comparadas, sendo que a bolacha *Newkcal* apresenta uma estrutura menos porosa e mais compacta, possuindo uma dureza inferior à da bolacha *Fruit & Fit*.

Palavras-chave: Bolacha, *Newkcal*, *Fruit & Fit*, *scale up*, especificações, parâmetros de trabalho.

Abstract

This thesis portrays the scale up process of the semi-sweet biscuit production *Newkcal* from the pilot to industrial scale, highlighting occurred troubles, respective possible causes and the solutions adopted to solve them. These solutions resulted in modifications of the recipe and the biscuit manufacturing process, such as: reducing the total weight of *Newkcal* dough; opting for a three stage formulation of the dough; production of two different *Newkcal* formats with different production line speeds; changing the position of the cutting/engraving molds of the dough.

The parameters and standards were stipulated for each stage of the manufacturing process. The final product specifications were reset by adjusting the specifications pre-defined while the biscuit production was at a pilot scale: the length and thickness of the biscuit decreased slightly and the width and moisture were increased.

The *Newkcal* biscuit is considered an improvement of the recipe and production process of a previous one: *Fruit & Fit*. The characteristics of both biscuits were compared and it was verified that *Newkcal* biscuit has a more compact and less porous structure and is softer than the *Fruit & Fit* biscuit.

Key words: Biscuit, *Newkcal*, *Fruit & Fit*, *scale up*, specifications, standards.

Extended abstract

Any food product development and conceptualization begins at the laboratory, following its pilot scale production, aiming the viability of an industrial manufacturing of this product. If it is viable, it will have a production up to industrial scale.

This thesis portrays the stages of a biscuit *Newkcal* up to industrial scale, in *Mondeléz International, Inc.* plant in Mem Martins, Portugal. For this scale transference, an already functional production line, which produced *Fruit & Fit* biscuit, was adapted. *Newkcal* can be labeled as a recipe and process of manufacturing improvement of the *Fruit & Fit* biscuit. It was realized a comparison of this two types of biscuits, both with the two flavors which they have applied (Apple Cinnamon and Red Fruits). To justify their differences, both recipes and formulation and all their production processes were also compared. The major dissimilarities observed between them are related to their structure and hardness. The *Fruit & Fit* biscuit is tougher than *Newkcal* biscuit, which is caused by using flour with a higher protein during the *Fruit & Fit* formulation dough. This same biscuit has also a more compact and porous structure than *Newkcal*, which is probably a result of simultaneous calibration of the both *Fruit & Fit* sheets of dough, while *Newkcal* manufacturing consist in an individual sheets calibration.

A process production scale up is a process quite tricky, and that complexity becomes evident throughout this thesis, where a series of mishaps that were unpredictable are referenced. This dissertation reveals the mishaps, occurred in each unit operation of biscuit manufacturing, possible cause or causes, and also tries to justify all the solutions adopted in order to resolve them. The implementations of this solutions result on modifications in the *Newkcal* recipe and process of manufacture in order to stabilize its production at industrial level.

The following modifications that were made in *Newkcal* biscuit formulation may be highlighted as the most important: reducing the total weight of a *Newkcal* dough, to ensure its homogenization; opting for a three stage formulation of the dough, avoiding pregelatinized starch and powder whey agglomeration; production of the *Newkcal* formats (formats 6 and 8) with different production line speeds, reducing line production speed during form 6 manufacture in order to avoid the packaging equipment break down, caused by their excess velocity operation and increasing line production speed during *Newkcal* form 8 only because this possibility was verified, resulting in a larger amount of final product manufactured per unit of time; redefinition of the *Newkcal* jam's specifications, by the jam's producer company, to avoid the difficulties observed, such as their excessive spreading, during the biscuit cooking time, and to facilitate their deposition on the sheets of dough; changing the position of the dough cutting/engraving molds, ensuring the pre-specified dimensions for the final product; reduction of the glucose-fructose syrup concentration used to bathe the biscuits, avoiding friction excess and, consequently, movement problems of the biscuits conveyor that transport the product under bathing equipment; setting oven profile to achieve the desired biscuit color and moisture.

For each stage of the *Newkcal* process production, after its stabilization, were registered operating parameters (standards values) that provide the achievement of a finished product according to their pilot scale predefined specifications. The stipulated standards should be used every time that the *Newkcal* biscuit will be produced.

The primary aim, during *Newkcal* process production scale up, from pilot to industrial scale, consist on achieving a final product as similar as possible to the product that was conceptualized in the lab and pilot plant, in other words, a product that would be according to the their predefined specifications for the same. After the *Newkcal* production stabilization, some small adjustments in the final product specifications were performed: biscuit length and thickness decreased slightly and their width and moisture were increased. These adjustments were made because it was impossible to reach exactly the same product characteristics, in the industrial scale, that were predefined and achieved during the pilot scale production.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Extended abstract	iv
Índice de Figuras	ix
Índice Figuras em Anexo.....	x
Índice de Tabelas.....	Erro! Marcador não definido.
Introdução.....	1
Parte I - Enquadramento teórico.....	4
1 – Definição e Caracterização de bolachas	4
2– Matérias-primas para a formulação de bolachas.....	5
2.1– Macro ingredientes	5
2.1.1 – Farinha de trigo.....	5
2.1.2 – Açúcar	6
2.1.3 – Gordura	7
2.1.4 – Água.....	7
2.2– Micro ingredientes com funções sensoriais	7
2.2.1- Leite	7
2.2.1- Outros	8
2.3 - Micro ingredientes com funções tecnológicas	8
2.3.1- Sal.....	8
2.3.2- Agente Levedante.....	8
2.3.3 – Enzimas.....	9
2.3.4 – Agente Redutor.....	9
3 - Processo geral de produção de bolachas	10
3.1 - Amassadura	10
3.1.1 – Tipos de massa	10
3.1.2 - Tipo de amassadeiras.....	12
3.2 – Formação da bolacha	13
3.3 – Cozedura.....	15
3.4 – Arrefecimento	18
3.5 - Processos secundários.....	19
3.6 – Embalamento	20
4 – <i>Scale up</i> de processos de produção da escala piloto para escala industrial	21
Parte II - Desenvolvimento experimental	22
1 - Introdução.....	22
2 - Métodos.....	24
2.1 - Análises à massa crua.....	24

2.1.1 – Determinação do pH	24
2.1.2 – Determinação da atividade da água	24
2.1.3 – Análise da textura	24
2.1.4 - Determinação da massa dos mantos de massa	24
2.1.5 - Determinação da massa das bolachas antes da cozedura	24
2.2 - Análises ao produto final	24
2.2.1 – Determinação do teor de humidade.....	24
2.2.2 – Determinação da cor.....	25
2.2.3 – Determinação da atividade da água	25
2.2.4 – Análise da textura	26
2.2.5 - Determinação da massa das bolachas.....	26
2.2.6 - Determinação das dimensões do produto final.....	26
2.2.7 – Determinação da percentagem média de bolachas partidas durante a etapa de segundo corte.....	26
2.2.8 - Determinação da percentagem de bolachas partidas e defeituosas durante a etapa de embalagem	26
2.2.9 - Determinação da percentagem de bolachas partidas durante o seu transporte – Teste de transporte	26
2.2.10 - Realização de Cartas de Controlo \bar{p} – etapa de embalamento	27
2.3 - Tratamento estatístico	27
3 - Caracterização e comparação das bolachas <i>Newkcal</i> e <i>Fruit & Fit original</i>	28
3.1 - Matérias-primas.....	28
3.2 - Processos de produção	30
3.2.1 - Amassadura	31
3.2.2 – Calibração da massa	32
3.2.3 - Perfuração do manto de massa superior.....	32
3.2.4 - Deposição de geleia	33
3.2.5 - Junção dos mantos de massa	33
3.2.6 – Primeiro corte	33
3.2.7 - Banho e Cobertura	34
3.2.8 - Cozedura.....	35
3.2.9 - Segundo corte	35
3.2.10 - Arrefecimento	36
3.2.11 - Embalamento	36
3.3 – Características de Textura.....	37
4 - <i>Scale up</i> do projeto <i>Newkcal</i> – ensaios de produção à escala industrial	39
4.1 - Amassadura	40
4.2 - Tempo de repouso	45
4.3 - Calibração da massa	46
4.4 - Perfuração do manto de massa superior.....	50

4.5 - Deposição de geleia	54
4.6 - Junção dos mantos	59
4.7 - Primeiro corte: Corte transversal e gravações longitudinais	59
4.8 - Banho	60
4.9 – Deposição da cobertura.....	61
4.10 - Segundo corte	63
4.11 – Cozedura.....	63
4.12 - Arrefecimento.....	70
4.13 – Embalamento	71
4.14 - Reavaliação das especificações definidas para o produto.....	78
Conclusão.....	79
Bibliografia.....	I
Anexo I	V
Anexo II	VI
Anexo II	VII
Anexo IV	VIII
Anexo V	IX
Anexo VI	X
Anexo VII	XII

Índice de Figuras

Figura 1: Equipamento de calibração.....	14
Figura 2: Bolacha <i>Newkcal</i> de Maçã e bolacha <i>Fruit & Fit</i> de Maçã.....	28
Figura 3: Diagrama geral de fabrico de <i>Newkcal</i> e <i>F&F</i>	30
Figura 4: Guilhotina cortadora de massa.....	32
Figura 5.Redução progressiva do manto de massa inferior da bolacha <i>Newkcal</i>	32
Figura 6: Bomba e máquina de enchimento e bocas injetoras de geleia.....	33
Figura 7: Sobreposição do manto superior de massa <i>Newkcal</i> no manto inferior.....	33
Figura 8: Esquema representativo da máquina de corte e exposição de geleia na bolacha <i>Newkcal</i>	34
Figura 9: Sistema de discos rotativos.....	35
Figura 10: Textura das bolachas <i>Newkcal</i> (Maçã e Canela e FV) e <i>Fruit &Fit</i> (Maçã e Canela FV).....	37
Figura 11: Secção transversal bolacha <i>Newkcal</i>	39
Figura 12: Secção transversal bolacha <i>F&F</i>	39
Figura 13: Variação da dureza da massa <i>Newkcal</i> em função do tempo.....	46
Figura 14: Configuração dos anéis A.....	51
Figura 15: Configuração dos anéis B.....	51
Figura 16: Perfuração do manto descentralizada: bolacha com bolha	51
Figura 17: Esquema das consequências de uma perfuração insuficiente da massa e imagem de uma bolacha <i>Newkcal</i> com uma perfuração insuficiente.....	52
Figura 18: Esquema das consequências de uma perfuração excessiva da massa e imagem de uma bolacha <i>Newkcal</i> com uma perfuração exagerada.....	52
Figura 19: Configuração dos anéis C, D e E (da esquerda para a direita).....	53
Figura 20: Entupimentos de geleia, falha cíclica da geleia e bolacha com falha de geleia...	55
Figura 21: Peças constituintes do cabeçal da geleia – sistema de origem.....	56
Figura 22: Bolacha partida, após a etapa do 2º corte e bolacha “aberta”.....	57
Figura 23: Bolachas côncavas.....	57
Figura 24: Esquema síntese dos problemas-consequências observados na etapa de deposição de geleia.....	58
Figura 25: Novos discos adquiridos pela <i>Mondeléz</i>	63
Figura 26: Lateral da bolacha <i>Newkcal</i> após a etapa de 2º corte.....	63
Figura 27: Comparação da humidade e da massa do produto antes e após o túnel de arrefecimento.....	69
Figura 28: Variação da humidade da bolacha <i>Newkcal</i> ao longo do tempo.....	70
Figura 29: Percentagens totais de bolachas partidas: <i>Newkcal</i> formato 6 e <i>Newkcal</i> formato 8.....	74
Figura 30: Percentagens de bolachas partidas antes da etapa de embalagem e durante as várias fases da mesma – <i>Newkcal</i> formato 6 e formato 8.....	75
Figura 31: Percentagem de bolachas partidas distinguindo-se o local da quebra - <i>Newkcal</i>	

formato 6.....	75
Figura 32: Percentagem de bolachas partidas distinguindo-se o local da quebra - <i>Newkcal</i> formato 8.....	76
Figura 33: Exemplo de bolachas partidas a meio, partidas de lado e partidas na ponta.....	76
Figura 34: Defeitos <i>Newkcal</i> , ordenados da esquerda para a direita: Manto de massa irregular; Geleia exposta; Falha/falta de geleia; Existência de bolhas; Perfuração do manto excessiva.....	77

Índice Figuras em Anexo

Figura A1: Desenho técnico representativo dos equipamentos de calibração – processamento de <i>Fruit & Fit</i> (antes da aquisição de equipamentos para processamento de <i>Newkcal</i>) (Fonte: <i>Mondeléz International, Inc.</i>).....	V
Figura A2: Desenho técnico representativo da zona de calibração – processamento de <i>Newkcal*</i> (Fonte: <i>Mondeléz International, Inc.</i>)	V
Figura A3: Esquema de produção <i>Newkcal</i> (Fonte: <i>Mondeléz International, Inc.</i>).....	VI
Figura A4: Carta de controlo para a fase anterior à etapa de embalamento e carta de controlo para o sistema de correias 1.....	X
Figura A5: Carta de controlo para o sistema de correias 2 e carta de controlo para o sistema de correias 3.....	X
Figura A7: Carta de controlo para o sistema de correias 4 e carta de controlo para a fechadora de cartolinas.....	XI
Figura A8: Variação do peso de <i>Newkcal</i> ao longo de 50 turnos de produção.....	XII
Figura A9: Variação do comprimento de <i>Newkcal</i> ao longo de 50 turnos de produção.....	XII
Figura A10: Variação da largura de <i>Newkcal</i> ao longo de 50 turnos de produção.....	XIII
Figura A11: Variação da espessura de <i>Newkcal</i> ao longo de 50 turnos de produção.....	XIII
Figura12: Variação da humidade de <i>Newkcal Maçã e Canela</i> (formato 6) ao longo de 50 turnos de produção.....	XIV
Figura A13: Variação da humidade de <i>Newkcal Maçã e Canela</i> (formato 8) ao longo de 50 turnos de produção.....	XIV
Figura A14: Variação da humidade de <i>Newkcal Frutos Vermelhos</i> (formato 6) ao longo de 50 turnos de produção.....	XV
Figura A15: Variação da humidade de <i>Newkcal Frutos Vermelhos</i> (formato 8) ao longo de 50 turnos de produção.....	XV

Índice de Tabelas

Tabela 1: Percentagem de receita de vendas <i>Kraft Foods</i> , por categoria de produto (2011).....	1
Tabela 2: Formulação base das massas de bolachas (%).....	11
Tabela 3: Posicionamento das caixas de cartão a analisar na palete <i>Newkcal</i>	27
Tabela 4: Características da bolacha <i>Newkcal</i> e <i>Fruit & Fit</i>	28
Tabela 5 Matérias-primas utilizadas para a produção do <i>Newkcal</i> e <i>Fruit & Fit (F&F)</i>	28
Tabela 6: Propriedade das geleias de <i>Newkcal</i> e <i>Fruit & Fit</i>	30
Tabela 7: Proporção dos macro ingredientes nas formulações das massas <i>Newkcal</i> e <i>F&F</i>	31
Tabela 8: Perfis temperatura do forno e tempo de cozedura : <i>Newkcal</i> e <i>Fruit & Fit</i>	35
Tabela 9: Especificações pré-definidas à escala piloto para bolacha <i>Newkcal</i>	40
Tabela 10: Funções da equipa responsável pelo <i>scale up</i> do projeto <i>Newkcal</i>	40
Tabela 11: Duas possíveis formulações da massa <i>Newkcal</i>	41
Tabela 12: Formulação final da massa <i>Newkcal</i> à escala industrial.....	42
Tabela 13: Especificações do produto antes cozedura.....	48
Tabela 14: Parâmetros definidos para a calibração inferior e superior da bolacha <i>Newkcal</i> formato 6 e 8.....	50
Tabela 15: Especificações definidas para o peso dos mantos de massa <i>Newkcal</i>	50
Tabela 16: Parâmetros de trabalho definidos para a etapa de perfuração do manto de massa.....	54
Tabela 17: Parâmetros de trabalho definidos para a deposição de geleia.....	54
Tabela 18: Especificações das geleias <i>Newkcal</i>	56
Tabela 19: Especificações redefinidas das geleias <i>Newkcal</i>	58
Tabela 20: Parâmetros de trabalho definidos para a etapa de primeiro corte.....	60
Tabela 21: Parâmetros de trabalho estabelecidos para a etapa de banho.....	61
Tabela 22: Parâmetros de trabalho definidos para a etapa de deposição de cobertura.....	62
Tabela 23: Humidade final do produto: Especificações definidas durante os ensaios de produção à escala piloto.....	64
Tabela 24: Comparação da humidade de bolachas com maior e menor perfuração da massa.....	66
Tabela 25: Humidade do produto final: Especificações finais definidas.....	66
Tabela 26: Parâmetros de trabalho do forno <i>Newkcal</i>	67
Tabela 27: Médias globais determinadas do peso e dimensões do produto final.....	68
Tabela 28: Especificações definitivas determinadas para o produto final (dimensões e	

peso).....	68
Tabela 29: Especificações do produto definidas à escala piloto e à escala industrial.....	68
Tabela 30: Parâmetros de trabalho definidos para o túnel de arrefecimento.....	71
Tabela 31: Limitações do equipamento embalador e especificações da dimensão do produto	72
Tabela 32: Causas frequentes de paragens dos equipamentos responsáveis pelo embalamento.....	73

Introdução

A *Mondeléz Internacional*, anteriormente designada por *Kraft Foods Company*, é uma empresa multinacional americana, uma das líderes do sector alimentar, detendo inúmeras marcas líderes de mercado em diversas categorias: bolachas, queijo e mercearia, chocolate, café, pastilhas elásticas, rebuçados e também refeições pré-preparadas.

Esta grande empresa de alimentação e de bebidas foi fundada em 1903, em Chicago, EUA, sendo que já conta com 168 instalações espalhadas por 80 países, que trabalham para levar as suas mais de 40 marcas até aos consumidores de 150 países.

Pode-se dividir a multinacional em três grandes unidades geográficas: *Mondeléz Norte Americana*, *Mondeléz Europeia* e *Mondeléz* presente em mercados emergentes. Nestes três sectores as marcas vendidas, os produtos líderes, e as estratégias de *marketing* diferem tendo em conta os gostos, preferências e cultura dos consumidores. Entre os ícones mais importantes da *Mondeléz Europeia*, figuram inúmeras das marcas mais conhecidas pelos consumidores: Cadbury, Milka, Toblerone, Nabisco, Triunfo, LU, Oreo, Trident, Halls, Philadelphia, Royal, Tang, entre muitas outras.

Segmentando a percentagem de receita de vendas por categoria de produto, fabricado pela multinacional (Tabela 1), é possível perceber que, no ano de 2011, os produtos de confeitaria e as bolachas são aqueles que, globalmente, apresentam uma maior percentagem de receita. Observado a Tabela 1, grande parte das receitas geradas pela comercialização de bolachas foi detida, no ano de 2011, pela *Kraft Foods* – América do Norte.

Tabela 1: Percentagem de receita de vendas *Kraft Foods*, por categoria de produto (2011)

Unidade Geográfica	Categoria de produtos <i>Kraft Foods</i>						Total
	Bolachas	Confeitaria	Bebidas	Queijo	Mercearia	Refeições pré-preparadas	
<i>Kraft Foods</i> – América do Norte	50,3%	12,4%	37,2%	71,8%	76,0%	92,5%	46.3%
<i>Kraft Foods</i> – Europa	21,7%	37,4%	32,6%	15,3%	8,7%	5,1%	24.6%
<i>Kraft Foods</i> – Mercados emergentes	28,0%	50,2%	30,2%	12,9%	15,3%	2,4%	29.1%
Total das unidades industriais	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
% total de receitas de vendas por categoria de produto	22.1%	28.5%	17.8%	14.2%	7.7%	9.7%	100%

Fonte: *Kraft Foods Inc. - Annual Report, 2011*

Segundo dados do Anuário Nielsen de 2010, o sector das bolachas em Portugal cresceu de 2009 para 2010 cerca de 2% e 4% em volume e em valor respetivamente. No ano referenciado foram vendidos, no mercado português, cerca de 60 milhões de quilogramas de bolachas, o que corresponde a aproximadamente 221 milhões de euros. Note-se que os dados

que constam neste anuário foram obtidos tendo em conta diversos pontos de venda distribuídos pelo país: híper, super e pequenos mercados e pontos de venda tradicionais.

Em relação aos principais fabricantes de bolachas em Portugal, no ano de 2010, quer analisando as vendas em termos de valor quer em termos de volume, a *Kraft Foods* encontrava-se como sendo o fabricante com maior expressão, produzindo marcas líderes de mercado como: *Maria*, *Torrada* e *Cream Cracker*. Ao analisar-se as vendas em termos de valor, a *Kraft* é seguida pela *Cuetara.SA*, seguindo-se a *Panrico*. Já em termos de volume, a *Panrico* perde expressão, ganhando a *V. Castro* maior importância. Em termos de valor de vendas, os três fabricantes mencionados somam cerca de 38% do valor total de produto vendido. Relativamente ao volume de vendas, as três empresas com maior expressão referidas somam cerca de 25% do total de volume de produto vendido. As marcas da distribuição ocupam um lugar no mercado bastante significativo, somando 38% do valor total de bolachas vendidas no país e 54% da totalidade do volume de produto escoado para o mercado português.

O presente trabalho surge como o resultado final de um acompanhamento e colaboração na implementação, à escala industrial, de um novo processo de produção de uma nova bolacha, denominada *Newkcal*, cujo desenvolvimento teve lugar na unidade industrial da *Mondeléz Internacional, Inc.* de Mem-Martins.

O projeto *Newkcal* nasceu em 2011, aquando do delineamento inicial da formulação da bolacha. Contudo, foi necessário um longo período de tempo para desenvolver o produto, numa primeira etapa a nível laboratorial e numa segunda fase à escala piloto, sendo que só em Março de 2013, é que se tornou possível lançar o produto para o mercado.

A bolacha *Newkcal* pode ser caracterizada como uma bolacha tipo sanduiche que irá englobar no seu interior recheio de maçã e canela ou de frutos vermelhos, sendo depositado sobre a sua superfície uma cobertura de açúcar e canela ou de apenas açúcar, consoante de esteja a produzir *Newkcal Maçã e Canela* ou *Newkcal Frutos Vermelhos* respetivamente.

Como já mencionado, este trabalho visou uma participação ativa na última fase do projeto de desenvolvimento deste novo produto, ou seja, na fase em que decorre o *scale up* da produção da bolacha *Newkcal* da escala piloto para a escala industrial. Neste caso específico, o *scale up* consiste na interpretação e utilização dos dados obtidos durante a produção à escala piloto e na sua transferência, com as respetivas correções e ajustes, para a escala industrial. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo referenciar os vários estádios percorridos pela unidade industrial, necessários à derradeira concretização deste projeto, ou seja, à comercialização do novo produto. Esta dissertação vem englobar todo o caminho percorrido para garantir a estabilização da produção da bolacha *Newkcal* à escala industrial, expondo as dificuldades encontradas durante o *scale up* deste mesmo projeto. Visa-se perceber a causa ou as várias possíveis causas de todos os contratemplos ocorridos, bem como as correspondentes soluções possíveis de serem colocadas em vigor. Por fim, retrata-se qual a solução escolhida pela *Mondeléz*, tentando justificar-se o porquê dessa mesma escolha.

A produção do novo produto implicou a adaptação de uma linha de produção já existente na unidade fabril, pelo que as diferentes fases desta adaptação, desde a aquisição dos novos equipamentos necessários à produção da nova bolacha, até aos ajustes realizados

em toda a maquinaria, passando por ajustes na receita ou no próprio processo de produção, são referenciados e detalhadamente explorados.

Os ensaios de produção da bolacha *Newkcal* à escala industrial visaram o alcance da estabilização de todo o processo de produção da nova bolacha, sendo que para tal foram definidos convenientemente valores de trabalho padrão, correspondentes aos diversos fatores passíveis de ser controlados nos equipamentos utilizados para a produção da bolacha. Os parâmetros definidos são posteriormente utilizados como valores de referência que devem permanecer constantes garantindo que, sempre que decorra a produção da bolacha, o produto final obtido esteja conforme as especificações estipuladas para o mesmo. Existem, claro, valores que poderão e deverão oscilar, de modo a dar resposta às massas fabricadas cujas características sejam ligeiramente diferentes do habitual, devido à possível variação de uma série de fatores.

Um outro propósito a atingir durante o *scale up* do projeto foi o estabelecimento de especificações para o produto, antes e após cozedura, nomeadamente especificações de massa, comprimento, espessura, largura e humidade. Estas visam a uniformização do produto e facilitam a produção em grande escala, na medida em que rapidamente pode ser verificado a não conformidade do produto e proceder à correção do fator do processo que esteja a contribuir para a não conformidade do mesmo. Além disso, estas minimizam a quantidade de produto não conforme que chega às mãos do consumidor final.

Em Portugal o novo produto será distribuído sob a marca *Proalimentar*, com denominação de *Fruit & Fit* – nova receita. A nova bolacha será assim promovida ao consumidor como um melhoramento da receita original existente desde 2009. Note-se que a bolacha *Newkcal* é comercializada para outros países europeus com marcas e designações diferentes, sendo sempre promovida como um melhoramento de uma bolacha já existente. Esta estratégia de *marketing* é de fácil perceção, pois marcas já com grande notoriedade no país em questão inspiram, desde logo, confiança ao consumidor, sendo mais fácil dar a conhecer e vender o novo produto.

Saliente-se ainda que a bolacha *Newkcal* será um produto substituto da bolacha *Fruit & Fit original*, na medida em que esta última deixará de ser produzida. Esta decisão teve por base a queda de vendas da bolacha *Fruit & Fit original* e a perceção de que o ciclo de vida deste produto estava em declínio. Como tal, foi também englobado nesta tese, surgindo com segundo objetivo da mesma, uma comparação entre as características e propriedades de ambas as bolachas (receita original e receita melhorada), justificando as diferenças encontradas a partir das desigualdades existentes entre os seus processos de produção

Parte I - Enquadramento teórico

1 – Definição e Caracterização de bolachas

As bolachas são produtos de panificação constituídos sobretudo por farinha, açúcar e gordura (Manley, 1998a). Tipicamente o teor de humidade deste tipo de produto é inferior a 4% e a sua conservação em embalagens com barreira ao vapor de água retarda a sua deterioração e proporciona um longo período de vida útil ao mesmo (6 meses no mínimo) (Manley, 1998a).

O mercado das bolachas é extremamente alargado, englobando produtos bastante diversificados. As diferenças óbvias entre o vários tipos de bolachas serão aquelas capazes de serem distinguidas sensorialmente: o tamanho, a forma, a cor, o sabor, o aroma e a textura (Cauvain & Young, 2006). A forma dada à bolacha é unicamente influenciada pelo seu processo de formação: laminagem, calibração, moldagem rotativa e extrusão (corte por arame; deposição) (Manley, 1998c). Os métodos utilizados para a formação de bolachas serão desenvolvidos na Parte I - tópico 3.2. Em qualquer um destes processos, a forma final da bolacha é conferida através de moldes/orifícios, pelo que a forma da bolacha será idêntica à forma dos mesmos. Segundo Manley (1996), uma das formas de agrupar os vários tipos de bolachas é exatamente através do método de formação utilizado.

A cor, aroma e sabor do produto são influenciados pelos ingredientes que fazem parte da formulação da massa, bem como pela proporção em que estes se encontram e pelo tipo de cozedura efetuada: maiores temperaturas e tempos de cozedura tendem a propiciar maior desenvolvimento de cor (Cauvain & Young, 2006); a uma temperatura de 180°C a bolacha possui uma cor acastanhada e possui um aroma semelhante a caramelo, enquanto que dos 245°C aos 260 °C as melanoidinas escurecem, conferindo um ligeiro sabor amargo ao produto (Sumnu & Sahin, 2008).

De acordo com Cauvain e Young (2006), a textura do produto é influenciada por diferentes parâmetros: pela humidade final do produto (produtos mais ou menos húmidos provocam sensações diferentes na boca); pelo tempo e temperaturas de cozedura (estas afetam a humidade final do produto bem como o desenvolvimento de uma textura crocante); pela realização de processos secundários (o complemento do produto base com recheios proporciona o contraste de texturas); pelo tipo de método utilizado para a formação da bolacha (ex: o processo de laminagem confere uma textura estratificada ao produto final, uma vez que neste método a bolacha é formada a partir da sobreposição de diversas camadas de mantos de massa (Manley, 1998c)); pelo tipo e proporção dos ingredientes utilizados na formulação da massa e pelas condições em que decorreu a amassadura da mesma (tempo de amassadura, velocidade de rotação das pás da amassadeira). As condições de amassadura da massa acarretam um papel muito importante no comportamento reológico da mesma e, por consequência, na textura final do produto (Sumnu & Sahin, 2008).

Segundo Manley (1996), uma outra forma de classificar as bolachas, para além daquela que agrupa as bolachas segundo o seu método de formação, consiste na organização de classes que agrupam produtos cujas formulações da massa e processos de formação da

bolacha são semelhantes: *crackers*, bolachas semi-doces, *wafers*. Os dois primeiros tipos de bolachas são produzidos a partir de massa desenvolvida, ou seja, massa em que a rede de glúten se encontra fortalecida (Wade, 1988). As grandes diferenças centram-se na proporção de açúcar utilizado na formulação das massas (ao contrário das semi-doces, as *crackers* possuem um baixo teor ou nulo de açúcar) e no método de formação da bolacha: as *crackers* são formadas a partir da laminagem, enquanto as semi-doces são formadas a partir da calibração da massa (Manley, 1996). Além disso, as *crackers* podem ou não ser fermentadas através do recurso a leveduras, enquanto no fabrico de massas semi-doces recorre-se ao uso de agentes levedantes químicos (Manley, 1998b). As *wafers* são um tipo de bolacha em forma de sanduíche, encerrando no seu interior um creme. Estas bolachas são formadas a partir da deposição de porções de massa líquida, rica em gordura e açúcar, em pratos quentes, onde decorre a cozedura da mesma (Manley, 1996).

2- Matérias-primas para a formulação de bolachas

São inúmeras as matérias-primas que podem ser usadas para a produção de bolachas. Estas podem ser divididas em macro e micro ingredientes. Os primeiros são usados em grandes quantidades e fazem parte de qualquer formulação, independentemente do tipo de bolacha a produzir, sendo eles: farinha de trigo, açúcar, gordura e água. Relativamente aos micro ingredientes estes podem ser subdivididos naqueles que são adicionados apenas com uma função tecnológica e naqueles que, apesar de poderem possuir também uma função tecnológica, são adicionados sobretudo por questões sensoriais. Os micro ingredientes passíveis de serem utilizados são incontáveis pelo que, no presente trabalho, apenas serão focados os mais frequentemente utilizados.

2.1- Macro ingredientes

2.1.1 – Farinha de trigo

A farinha de trigo mole é a principal matéria-prima utilizada na produção de bolachas. Tem a principal função de conferir estrutura e textura ao produto (Marcelino, 2008), fornecendo a matriz em torno da qual os restantes ingredientes são envolvidos dando origem à massa (Gutkoski *et al.*, 2003).

O trigo pode ser classificado como duro, rijo ou mole. No primeiro, o teor de proteína existente é elevado (10,5-14,5%), levando à formação de uma massa muito rígida, elástica mas quase inextensível, com maior aptidão para a produção de massas alimentícias. Já o trigo mole, tendo o menor teor proteico (menos que 8,5%), é apto para a produção de bolachas pois, quando utilizado, a massa produzida tende a ser viscosa, extensível, pouco elástica (Manley, 1998a).

Segundo Moretto & Fett (1999) a farinha ideal para a formulação de bolachas deve ter uma taxa de extração entre 70 e 75%. Este parâmetro indica-nos a quantidade de cinza presente na farinha, ou seja, a quantidade de farelo presente. Numa farinha tipo 70 (70% de taxa de extração), 0,7% da sua constituição são cinzas.

As gluteninas e as gliadinas, proteínas constituintes da farinha de trigo, são responsáveis pela formação da rede viscoelástica de glúten durante a etapa de amassadura. As gluteninas são responsáveis pela força e elasticidade da massa enquanto as gliadinas favorecem a extensibilidade da mesma. Assim, a rede de glúten formada, e conseqüentemente, a textura final da massa preparada é influenciada não só pelo teor proteico da farinha utilizada como também pela sua composição, ou seja, pelo tipo de proteína por que é maioritariamente constituída (Sumnu & Sahin, 2008).

O emprego da farinha de trigo ao invés de farinha de outro qualquer cereal é devido às características únicas desta (Cauvian & Young, 2006). As suas gliadinas e glutelinas (designadas como gluteninas), proteínas formadoras do glúten, possuem grupos tiol que, durante a amassadura, reagem com agentes oxidantes (Hui, 2006). Esta reação proporciona o ponto de partida para a formação da rede de glúten, fenómeno que será devidamente abordado na Parte I - tópico 3.1. Note-se que todos os cereais têm na sua constituição glutelinas, no entanto, estas mesmas proteínas constituintes do trigo são geralmente denominadas como gluteninas, de modo a ser possível a sua distinção das restantes glutelinas, dado serem as únicas capazes de promover o desenvolvimento de glúten.

A capacidade de absorção de água da farinha é outra característica importante de referir, na medida em que esta afeta significativamente a consistência da massa formada (Manley, 1998a). Os principais componentes da farinha responsáveis pela absorção de água são o amido, as proteínas e as pentosanas (Cauvian & Young, 2006). A capacidade de absorção de água está intimamente relacionada com a composição da farinha, pelo que farinhas de diferentes constituições absorvem distintas quantidades de água (Sumnu & Sahin, 2008). Farinhas com um maior teor proteico tenderão a absorver um maior teor de água (Manley, 1998a). Note-se portanto que massas formuladas a partir de farinhas com maior capacidade de absorção de água tendem a possuir uma consistência mais elástica, adquirindo um comportamento mais extensível e maleável (Manley, 1998b).

2.1.2 – Açúcar

A sacarose é o açúcar mais utilizado na indústria alimentar. Este pode ser usado na forma de cristal, granulado ou xarope, pode de ser branco, amarelo ou mascavado (Marcelino, 2008). Podem ser ainda usados outros açúcares provenientes do amido ou de outros glúcidos (xarope de malte, malte desidratado) (Vitti, Garcia & Oliveira, 1988).

O açúcar exerce influência no sabor, dimensão, cor, reologia e dureza das bolachas, podendo inibir o desenvolvimento de glúten durante a amassadura, por competir com a farinha pela água (Gallagher *et al.*, 2003).

Para Dendy & Dobraszczyk (2001), quando açúcar de maior granulometria é utilizado durante a formulação de uma massa, apenas uma parte dele será dissolvido em água durante a amassadura, o que levará a que o produto final seja menos doce do que se um açúcar de menor granulometria tivesse sido usado, pois cristais de maior dimensão dissolvem-se mais lentamente que os de menor granulometria. Segundo Hui (2006), açúcares não dissolvidos, presentes no produto aquando da sua cozedura, tendem a derreter, conduzindo a um

espalhamento da massa da bolacha sobre a cinta do forno. De acordo com os autores Moraes *et al.* (2010), Wade (1988) e Hui (2006), uma maior a concentração de açúcar, presente no produto aquando da sua cozedura, e uma menor granulometria do mesmo contribui para uma maior expansão da bolacha. A cor final das bolachas, após cozedura, está muito dependente da concentração e do tipo de açúcares existentes no produto (Hui, 2006). Compostos como a maltose, frutose e dextrose tendem a sofrer caramelização quando a temperatura roda os 148,9°C, produzindo substâncias coradas, denominadas caramelos, que afetam a cor e *flavour* das bolachas. Também açúcares redutores participam em reações Maillard originando compostos corados, designados melanoidinas, que provocam o escurecimento do produto (Sumnu & Sahin, 2008).

Em massas fermentadas por leveduras o açúcar tem um papel fundamental, servindo de substrato às leveduras (Manley, 1998a).

2.1.3 – Gordura

A gordura é um componente de base na formulação de bolachas, podendo ser de origem animal ou vegetal (Marcelino, 2008). A gordura a ser utilizada deve ter em conta alguns critérios como: estabilidade oxidativa, resistência à rancificação (Manley, 1998a), sabor, aroma, plasticidade, textura, cor, e preço (Vitti, Garcia & Oliveira, 1988),

As principais funções deste componente são a lubrificação de toda a massa, tornando-a mais plástica e a suavização da textura da massa (Sumnu & Sahin, 2008). Este ingrediente compete com a água pelos grânulos de farinha inibindo a formação da rede de glúten (Wade, 1988). Como tal, a massa fica mais plástica e o produto final mais macio.

A utilização de gordura ou óleo durante a formação da massa contribui também para o aumento de volume da bolacha, na medida em que facilita a incorporação de ar durante a amassadura e a dispersão do mesmo pela massa (Sumnu & Sahin, 2008). Outra funcionalidade é, claro, a de contribuir para as características sensoriais do produto, contribuindo para o sabor e aroma deste (Sumnu & Sahin, 2008).

2.1.4 – Água

A principal função da água é dissolver os vários constituintes da massa e permitir a hidratação das proteínas formadoras do glúten (gliadinas e glutelinas), de forma a possibilitar o desenvolvimento desta rede tridimensional. A água tem influência em várias propriedades físicas/reológicas da massa, nomeadamente, na consistência, maleabilidade, elasticidade e extensibilidade (Dendy & Dobraszczyk, 2001). A adição de água à massa reduz a sua viscosidade e aumenta a sua extensibilidade. Se a quantidade de água utilizada for demasiado baixa, a massa torna-se quebradiça e não coesa.

2.2– Micro ingredientes com funções sensoriais

2.2.1- Leite

O leite é adicionado em massas destinadas à produção de bolachas com diferentes objetivos: influenciar a coloração, o sabor e a consistência da massa e melhorar a sua composição nutricional (Moretto & Fett, 1999). O facto de esta matéria-prima ser altamente

perceível, uma vez que é propícia ao desenvolvimento microbiológico, tem levado à utilização crescente de leite em pó desnatado ou soro de leite em pó (lactosoro) (Manley, 1998a). O leite em pó desnatado é bastante utilizado por ser mais fácil de armazenar e possuir longos períodos de conservação uma vez que, sendo um produto desidratado e isento de gordura, não tende a sofrer deterioração por parte de microrganismos nem rancificação. Comparativamente ao leite simples, este ingrediente tem na sua constituição uma maior concentração de açúcares redutores e proteínas, que irão contribuir para a ocorrência de reações Maillard, resultando na produção de cor e sabor nas bolachas (Edwards, 2007). O soro de leite em pó ou lactosoro possui as mesmas funções que o leite simples e o leite em pó desnatado sendo, contudo, cada vez mais utilizado por ser uma matéria-prima de baixo custo. Este ingrediente é de fácil e rápida re-hidratação (Sumnu & Sahin, 2008) e geralmente, devido sobretudo à presença da lactose, bastante higroscópico, com tendência para aglomerar-se. O lactosoro é composto por proteínas de soro, lactose e vestígios de gordura (Dairy Export Council, 2009).

2.2.1- Outros

Frutos secos ou cristalizados, pepitas de chocolate ou aromas são também ingredientes passíveis de ser adicionados à massa, geralmente durante a fase final da etapa de amassadura, sendo misturados durante apenas o tempo suficiente para garantir a sua distribuição uniforme na massa (Cauvian & Young, 2006).

2.3 - Micro ingredientes com funções tecnológicas

2.3.1- Sal

O sal é praticamente sempre utilizado em qualquer formulação devido à sua propriedade intensificadora do sabor de outros ingredientes, sendo que deverá ser utilizado com uma concentração entre 0,5-1% em relação à massa de farinha (Sumnu & Sahin, 2008). O cloreto de sódio é também utilizado pela sua função fortalecedora da rede de glúten (Manley, 1998a). Os iões resultantes do cloreto de sódio (NaCl) aumentam a força da massa e sua estabilidade, uma vez que impulsionam a agregação entre as proteínas do glúten (Hui, 2006).

2.3.2- Agente Levedante

Os agentes levedantes desenvolvem a estrutura do produto, proporcionando a formação de gás, nomeadamente, dióxido de carbono, que permite o aumento de volume e um melhoramento da textura do produto (Cauvian & Young, 2006).

Na grande maioria das massas formuladas, destinadas à produção de bolachas, são utilizados agentes levedantes químicos, nomeadamente, bicarbonato de potássio ou o bicarbonato de sódio, sendo este último o mais comum (Cauvian & Young, 2006). No entanto, também se recorre a agentes levedantes biológicos para o fabrico de algumas bolachas. Neste caso as leveduras utilizadas são, usualmente, da espécie *Saccharomyces cerevisiae*. Para que a fermentação possa ocorrer é necessário a presença de água livre que possa ser usada pelas leveduras. O arejamento da massa favorece a produção de dióxido de carbono (Hui, 2006). Esta fermentação irá contribuir para o gosto e aroma do produto (Manley, 1998a), sendo que quando prolongada conduz à redução da força da rede de glúten, dado as leveduras

possuírem, na sua composição, enzimas como proteases (Hui, 2006) que quebram as ligações desta rede tridimensional. Para que a fermentação decorra a massa deverá permanecer em repouso após a sua amassadura, sendo que durante a cozedura da mesma as leveduras são inativadas (Manley, 1998b).

Os agentes químicos podem ser utilizados isoladamente ou em simultâneo com um composto ácido (Manley, 1998a). Se utilizados isoladamente decompõem-se durante a cozedura da bolacha quando sujeitos a elevadas temperaturas, dando origem ao dióxido de carbono. Quando em contacto com um composto ácido a sua decomposição é facilitada, originando ácido carbónico. Este composto, bastante instável a altas temperaturas, é posteriormente dissociado em água e dióxido de carbono (Edwards, 2007).

A preferência do uso de agentes levedantes químicos está geralmente associada ao facto da fermentação, por parte destes, ser praticamente instantânea, enquanto a produção de gás por parte das leveduras requer cerca de 2 a 3 horas. Além disso, as massas fabricadas com destino à produção de bolachas são muitas vezes ricas em açúcar e gordura, contendo um baixo teor de água, pelo que neste tipo de massa as leveduras não possuem as condições necessárias à fermentação (Sumnu & Sahin, 2008).

2.3.3 – Enzimas

A utilização de enzimas na produção de bolachas visa reduzir a força da massa, melhorando a sua textura e tornando-a mais maleável, facilitando a sua amassadura (Hui, 2006). As enzimas mais utilizadas são as proteases e as α -amílases (Sumnu & Sahin, 2008).

Relativamente às proteases, estas irão quebrar ligações proteicas, degradando as proteínas formadoras da rede de glúten (Sumnu & Sahin, 2008). Consequentemente, a atuação enzimática reduz a força da massa, tornando-a menos viscosa e elástica e mais extensível (Mathewson, 2000). Segundo o Codex Alimentarius - GSFA as proteases são ainda agentes estabilizadores e intensificadores de sabor do produto final.

Segundo Manley (1998b), os efeitos da atuação de proteases nas características da massa (elasticidade e extensibilidade) não são muito diferentes daqueles obtidos a partir da utilização do metabissulfito de sódio (agentes redutor).

2.3.4 – Agente Redutor

O agente redutor mais empregue na formulação de bolachas é o metabissulfito de sódio ou de potássio, podendo ser também usados outros como a L-cisteína (Cauvian & Young, 2006). Estes agentes melhoram as características da massa e têm como objetivo a quebra das ligações dissulfito, responsáveis pela ligação entre os grupos tiol das proteínas formadoras do glúten. Ao quebrar estas ligações, responsáveis pela estrutura da massa, esta tornar-se-á menos elástica e mais extensível, encolhendo menos após o seu corte, o que facilita o controlo da forma e do tamanho da bolacha (Manley, 1998a).

O uso de metabissulfito de sódio na formulação de uma massa permite reduzir em cerca de 10% a água que se teria de usar para elaborar a mesma massa, com a mesma consistência e as mesmas características reológicas, sem recurso a agentes redutores (Manley, 1998b). Tal deve-se ao facto deste composto alterar drasticamente a qualidade do glúten e da massa. De

acordo com Manley (1998b), para a rede de glúten atingir as condições ótimas, durante a amassadura, dada energia mecânica tem de ser fornecida à mesma. A do metabissulfito de sódio, uma vez que a consistência pretendida para a massa é mais facilmente alcançada (Cauvian & Young, 2006). Este agente redutor, quando em solução, liberta dióxido de enxofre durante a sua atuação, no entanto, após finalizada a cozedura das bolachas, os vestígios deste gás são desprezáveis (Manley, 1998a).

3 - Processo geral de produção de bolachas

3.1 - Amassadura

A preparação da massa inicia-se com a mistura dos macro e micro ingredientes necessários à sua formulação. Numa produção em larga escala os macro ingredientes a granel são, geralmente, doseados automaticamente para a amassadeira, enquanto os micro ingredientes devem ser devidamente pesados e colocados manualmente no equipamento (Manley, 1998b). Os principais objetivos da amassadura são a incorporação e mistura homogênea dos ingredientes, a solubilização dos componentes da farinha, a incorporação de oxigénio na massa e o desenvolvimento da rede de glúten (Hui, 2006).

A absorção de água por parte das proteínas formadoras de glúten (gluteninas e gliadinas) e o seu intumescimento em conjunto com o arejamento e a ação mecânica sofrida pela massa, durante a sua amassadura, levam à formação de uma rede tridimensional designada glúten (Sumnu & Sahin, 2008). Estas proteínas formadoras de glúten contêm compostos organossulfurados, designados tiol, que possuem uma ligação –SH. Estes reagem com agentes oxidantes, nomeadamente, com o ar incorporado durante a amassadura. Por ação mecânica, as proteínas reorientam-se originando ligações dissulfito (S-S) (Wieser, 2003). Estas ligações ocorrem apenas entre gliadinas e gluteninas (Hui, 2006). A formação contínua destas ligações dá origem à mencionada rede proteica com características viscoelásticas (Manley, 1998b). É de notar que a rede de glúten pode ser considerada um equilíbrio dinâmico, na medida em existe simultaneamente uma quebra das ligações -SH e formação das ligações dissulfito (S-S). A formação desta rede tridimensional confere uma menor viscosidade e maior extensibilidade à massa (Manley, 1998b).

3.1.1 – Tipos de massa

As propriedades reológicas das massas destinadas à produção de bolachas podem ser significativamente distintas. Diversos fatores, durante a etapa de amassadura, afetam as propriedades finais da massa, nomeadamente, o tempo de mistura, a quantidade de fases existente, a ordem pela qual são colocados os ingredientes na amassadeira e a velocidade de rotação das pás do equipamento (Sumnu & Sahin, 2008). Por fases de amassadura entende-se o número de vezes em que a amassadeira é aberta, a fim de serem inseridos na mesma ingredientes, e novamente fechada e colocada em funcionamento (Almond, 1989).

Segundo Manley (1998b), a consistência da massa é sobretudo influenciada pelas características da farinha utilizada (teor proteico e qualidade das suas proteínas), pela

quantidade de água presente e pela temperatura em que se encontra. O mesmo autor classifica as massas utilizadas para a produção de bolachas como desenvolvidas ou curtas. Esta classificação tem por base a quantidade de água usada para fabricar a massa, sendo que uma massa desenvolvida tem maiores quantidades desta matéria-prima e quantidades relativamente baixas de gordura e açúcar. Pode ser ainda referido que determinadas massas, classificadas como curtas, adquirem um comportamento líquido (Manley, 1998b). Manley (1996), Wade (1988) e Almond (1991) classificam este tipo de massas curtas como massas macias. A classificação das massas acima referida, classificação que agrupa as mesmas em desenvolvidas, curtas ou macias, foi adotada no presente trabalho.

É importante referir que, consoante as propriedades reológicas da massa preparada, o método e equipamento utilizado para conferir a forma final à bolacha será diferente (Sumnu & Sahin, 2008). Na Tabela 2 encontra-se uma correspondência entre as diferentes formulações de massas e o tipo de equipamento formador de bolachas passível de ser usado.

Tabela 2: Formulação base das massas de bolachas (%)

Tipo de massa	Farinha de trigo	Açúcar	Gordura	Água	Tipo de equipamento formador de bolachas
Dura (cracker)	100%	0%	11%	30%	Laminador
Dura (semi-doce)	100%	22%	17%	23%	Calibrador (Regulador de espessura)
Curta	100%	30%	27%	14%	Molde rotativo
Curta	100%	50%	55%	12%	Equipamento cortador por arame

Fonte: Vitti, Garcia & Oliveira (1988)

As massas desenvolvidas são utilizadas em processos de laminagem ou calibração com vista à formação da bolacha (Morreto & Fett, 1999). A formulação e amassadura deste tipo de massas favorecem a hidratação proteica e o tempo de mistura dos ingredientes, uma vez que o desenvolvimento de glúten é desejado. Pretende-se o alcance de uma massa com uma elevada extensibilidade, de modo a esta não se quebrar durante o processo de laminagem ou calibração (Sumnu & Sahin, 2008). As características da farinha a utilizar deverão ser diferentes consoante o tipo de massas que se pretende obter (Manley, 1998a). Para a preparação de massas desenvolvidas deverá optar-se por farinhas com maior teor proteico, uma vez que estas irão possuir uma maior capacidade de absorção de água, pela que a sua hidratação é favorecida assim como, conseqüentemente, é favorecido o desenvolvimento de glúten (Hui, 2006). A qualidade proteica da farinha é ainda outro parâmetro a ter em atenção dado as gliadinas favorecerem a extensibilidade da rede glúten e as gluteninas, por sua vez, promoverem a força e elasticidade da mesma (Manley, 1998a). Note-se que as massas desenvolvidas são geralmente utilizadas para a produção de bolachas tipo cracker ou tipo semi-doce (Manley, 1998b).

Será importante referir que, segundo Manley (1998b), diversos estudos têm sido realizados para se perceber qual o tempo ideal de amassadura que permite o desenvolvimento otimizado da rede de glúten para cada tipo de massa. As conclusões a que se tem chegado afirmam que o tempo de amassadura não é crítico sendo, no entanto, crucial a temperatura final que a massa atinge, uma vez que esta afeta a expansão, textura e aspeto da massa (Dendy &

Dobraszczyk, 2001). O tempo de mistura está dependente do tipo e tamanho da amassadeira, bem como da utilização de metabissulfito de sódio na formulação da massa (Manley, 1996).

As massas curtas caracterizam-se quer pela sua falta de elasticidade, quer de extensibilidade (Manley, 1996). Os elevados níveis de gordura e açúcar presentes na formulação destas massas, contribuem para a obtenção de uma massa final moldável e relativamente coesa, apesar do nível de desenvolvimento da rede de glúten ser mínimo (Wade, 1988). De modo a minimizar o desenvolvimento desta rede proteica, o tempo de amassadura da massa e a sua hidratação proteica são reduzidos (Manley, 1998b), pelo que estas massas possuem baixos teores de água. A elaboração deste tipo de massa inicia-se com a mistura da água com gordura que, ao formarem uma emulsão, limitam a absorção de água por parte da farinha, após a junção deste último ingrediente aos restantes, inibindo assim a formação de glúten (Dendy & Dobraszczyk, 2001). A formação de bolachas a partir de massas curtas pode ocorrer através de vários métodos: moldes rotativos, calibração, máquinas cortadoras por arame ou máquinas depositadoras (Sumnu & Sahin, 2008).

A massas curtas manipuladas por máquinas cortadoras por arame ou máquinas depositadoras devem possuir uma formulação mais rica em gordura e açúcar do que as massas curtas utilizadas nos restantes equipamentos de formação de bolachas (Pyler & Gorton, 1988). Uma maior riqueza nestes ingredientes impulsiona o espalhamento da massa durante o processo de cozedura, contribuindo para um aumento significativo das dimensões dos pedaços de massa a cozer (Sumnu & Sahin, 2008). Em máquinas depositadoras apenas podem ser utilizadas massas curtas também designadas como massas macias, ou seja, massas com uma textura suave, cujo comportamento reológico se assemelha ao de um líquido (Manley, 1996). Este tipo de massa geralmente é muito rico em gordura ou detém, como base da sua formulação, claras de ovo que são batidas em castelo (Manley, 1996). Neste tipo de massa a velocidade da amassadeira deve ser bastante elevada, de modo a permitir uma acentuada incorporação de bolhas de ar na mistura, conferindo ao produto final, após cozedura, uma textura esponjosa (Manley, 1998b).

3.1.2 - Tipo de amassadeiras

De acordo com Moretto & Fett (1999) existem três principais tipos de amassadeiras: horizontais, verticais e contínuas. As amassadeiras horizontais e verticais são as mais utilizadas na indústria produtora de bolachas (Manley, 1998b).

As amassadeiras horizontais podem atingir elevadas velocidades de rotação e as suas pás estão colocadas na posição horizontal permitindo a produção de todos os tipos de massa, incluindo aquelas de mais difícil mistura (Manley, 1998b). Quando o desenvolvimento de glúten é requerido este tipo de amassadeiras torna-se preferível, sendo as amassadeiras verticais ineficientes e demasiado lentas para esse propósito (Sumnu & Sahin, 2008). A elevada velocidade de rotação das suas pás proporcionam uma maior transferência de energia para a massa, aumentando a temperatura desta rapidamente e facilitando o desenvolvimento de glúten (Cauvian & Young, 2006).

As amassadeiras verticais atingem velocidades de rotação mais baixas quando comparadas às amassadeiras horizontais, sendo comumente utilizadas para a produção de massas rotativas, cortadas por arame ou depositadas (Moretto & Fett (1999).

No caso dos misturadores contínuos, estes são alimentados a uma taxa definida e de forma contínua. Ao longo do seu comprimento, estes equipamentos possuem vários sistemas de pás, sendo que cada um deles pode ser controlado individualmente (Manley, 1998b).

3.2 – Formação da bolacha

Após a etapa de amassadura, à massa obtida é dada a forma final da bolacha. A escolha do método de formação da bolacha dependerá das características reológicas da massa anteriormente preparada e da forma e estrutura pretendida para a bolacha a produzir (Manley, 1998c). Como já referido, distinguem-se os seguintes processos de formação de bolachas: laminagem, calibração, moldagem por rolos rotativos e extrusão (corte por arame e deposição) (Moretto & Fett, 1999).

O método de laminagem consiste, numa primeira etapa, em formar um manto de massa liso, a partir da passagem da massa por entre dois cilindros rotativos. O manto é posteriormente cortado em várias porções que são continuamente sobrepostas umas às outras. A estratificação de mantos é de seguida dobrada e rodada pelo menos 90°, antes de ser novamente laminada até atingir a espessura final pretendida. Esta técnica permite retomar o desenvolvimento da rede de glúten e confere uma textura estratificada ao produto final (Manley, 1998c). A laminagem pode ser aplicada em qualquer massa desenvolvida, contudo, geralmente é uma técnica utilizada para a formação das *crackers* (Sumnu & Sahin, 2008).

Nas massas rotativas, a moldagem é realizada através da passagem da massa por entre três rolos cilíndricos, sendo que um destes possui, recortados na sua superfície, moldes com a profundidade e a forma que se pretende que o produto final tenha (Sumnu & Sahin, 2008). Inicialmente a massa é comprimida passando por entre dois cilindros, em que um deles é o cilindro cuja superfície apresenta-se recortada. Após o preenchimento dos moldes, um terceiro cilindro exerce força na massa retida nos moldes, extraíndo as bolachas moldadas para o exterior (Manley, 1998c).

A extrusão da massa é uma técnica que envolve a passagem forçada da mesma por orifícios de forma e dimensão variada, constituintes de máquinas cortadoras de arame ou de máquinas depositadoras (Manley, 1998c). As massas passíveis de serem cortadas por arame têm uma consistência similar às massas utilizadas na moldagem por rolos rotativos. A vantagem da primeira técnica de formação de bolachas em comparação com a segunda, é a possibilidade da massa poder ser mais pegajosa e poder conter partículas volumosas como frutos secos (Manley, 1998c). Numa máquina cortadora de arame a massa é forçada a passar por entre dois cilindros rotativos, que exercem pressão na mesma, de modo a que esta passe por vários orifícios dispostos ao longo do comprimento da máquina. À medida que decorre a extrusão, a massa é cortada por um arame tenso que circula para a frente e para trás (Fellows, 2006).

O funcionamento das máquinas depositadoras é similar ao descrito para as máquinas cortadoras de arame, no entanto, os orifícios pelos quais a massa atravessa são substituídos por pequenas tubagens em forma de cone (Manley, 1998c). Tal como a massa extrudida por máquinas cortadoras de arame, a deposição é realizada diretamente para a cinta do forno (Dendy & Dobraszczyk, 2001).

As massas calibradas são as mais comuns no universo de fabrico de bolachas (Manley, 1998c), conseguindo-se obter a partir destas uma gama diversificada de produtos finais. A calibração e posterior corte da massa são processos sobretudo utilizados quando a rede de glúten das massas foi modificada com recurso a agentes redutores ou enzimáticos, de modo a tornar as massas mais extensíveis (Manley, 1998c). Antes da etapa de calibração a massa poderá permanecer em repouso com o intuito de ocorrer a atuação enzimática ou apenas de relaxar, de modo a esta recuperar das agressões sofridas na etapa de amassadura, ou pode prontamente ser encaminhada para os calibradores (Manley, 1998c). Uma configuração típica do equipamento de calibração pode ser observada na Figura 1.

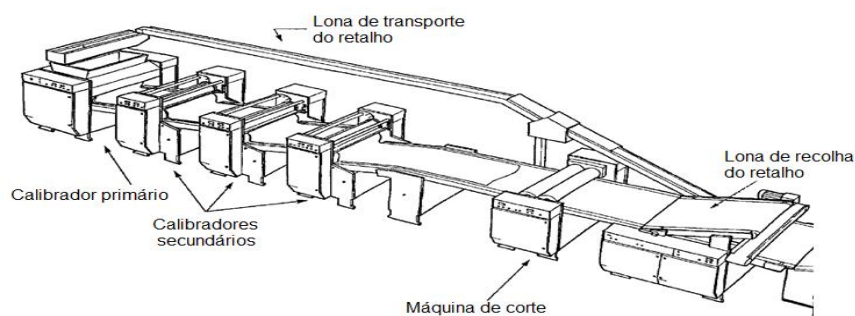


Figura 1: Equipamento de calibração - Fonte: Manley (1998c)

Os calibradores primários são os primeiros equipamentos, numa série de outros calibradores, que contactam com a massa, sendo os únicos que interagem com a mesma enquanto esta ainda se encontra sob forma de grandes blocos. Este equipamento tem como função moldar os blocos de massa, de modo a transformá-los num longo e liso manto (Manley, 1998c). Após o equipamento de calibração primária, podem ser encontrados dois ou três calibradores secundários, sendo que quanto maior a extensibilidade da massa maior a quantidade de calibradores necessária (Manley, 1998c). A distância entre os dois cilindros constituintes de cada calibrador é ajustável, pelo que é desta forma que a espessura que a massa deverá atingir ao passar por entre os mesmos é controlada (Hui, 2006). Geralmente a redução da espessura da massa, em cada calibrador, segue-se pela proporção 2:1, sendo a proporção 4:1 também comumente utilizada. O objetivo é o de reduzir progressivamente a espessura do manto de massa até à espessura final pretendida para o mesmo (Manley, 1998c).

À medida que a massa é calibrada os alvéolos de ar aí existentes, formados aquando da amassadura, são compactados, o que provoca a expulsão do ar retido no interior dos mesmos, tornando o manto de massa mais denso (Manley, 1998b). Segundo Manley (1996), a massa recebida pelos calibradores deve possuir uma temperatura de cerca de 40- 42°C e deve

ser minimizado o seu arrefecimento durante o processo de calibração. O mesmo autor refere que a consistência da massa é diretamente afetada pela sua temperatura: o arrefecimento desta torna-a muito mais firme e menos extensível, dificultando a sua calibração.

Segundo Manley (1998c), para garantir uma boa calibração e corte da massa, é absolutamente necessário o controlo preciso das velocidades dos cilindros dos calibradores e das lonas de transporte, existentes sempre de seguida a cada calibrador. Para facilitar este controlo todos os equipamentos estão sincronizados, funcionando em “cascata”, ou seja, sempre que uma velocidade de um equipamento ou de uma lona é alterada todos os outros equipamentos que o antecedem variam a sua velocidade proporcionalmente.

Ao longo da linha de produção, juntos aos calibradores, podem-se encontrar instalados ventiladores que têm por objetivo o arrefecimento da massa sempre que esta esteja demasiado quente e, como consequência, desmaiadamente elástica, o que pode conduzir a um encolhimento significativo da mesma após o seu corte, afetando o comprimento do produto final (Cauvian & Young, 2006).

A seguinte etapa de corte define o tamanho e forma final da bolacha, no entanto, e antes de o manto de massa ser cortado, pode existir um relaxamento do mesmo. Neste caso a massa sofre ondulação com o objetivo de ajudá-la a adquirir a sua real espessura (Manley, 1998c). O relaxamento da massa pode ser prescindível no caso de terem sido utilizados, durante a amassadura, agentes redutores e/ou enzimáticos (Wade, 1988). Se a massa for cortada imediatamente após a sua calibração esta pode ainda se encontrar sob tensão, pelo que durante a cozedura poder-se-á observar um encolhimento excessivo dos pedaços de massa (Manley, 1998c).

3.3 – Cozedura

Na etapa de cozedura o produto adquire o *flavour*, a aparência e textura final (Manley, 1998d), pela fixação de estruturas nomeadamente devido à gelatinização do amido e à desnaturação proteica. As condições de cozedura ideais para os diferentes tipos de bolachas (tempo e temperaturas de cozedura) diferem dependendo da estrutura que cada bolacha desenvolve e da cor e humidade que se pretende para o produto final (Cauvian & Young, 2006). As condições de cozedura devem também ser ajustadas, para cada tipo de bolacha, tendo em conta a configuração e tipo de forno (Sumnu & Sahin, 2008). A cor do produto tem especial importância pois define a aceitabilidade do produto por parte do consumidor final (Manley, 1998d). O teor final de humidade condiciona a estabilidade do produto durante o seu armazenamento, controlando a integridade física do mesmo, bem como o desenvolvimento de *flavours* estranhos (Wade, 1988).

As transformações físicas e químicas sofridas pelo produto nesta etapa são geradas pelas transferências de calor e de massa que ocorrem (Cauvian & Young, 2006). A energia térmica é transferida da fonte de calor para a massa a cozer por mecanismos de condução, convecção e radiação (Wade, 1988). Sendo a bolacha um produto alongado e pouco espesso, a área de contacto entre o alimento e a cinta do forno torna-se bastante elevada face ao seu volume, o que faz da condução a fonte primária de transferência de calor (Hadiyanto et al.

2005). O fenómeno de convecção pode ser natural, devendo-se às correntes de convecção originadas pelos gradientes de temperatura, ou forçada, quando se recorre ao uso de ventiladores (Manley, 1998d). Neste último caso, o coeficiente de transferência de calor é significativamente mais elevado que no primeiro (Fellows, 2006). Este facto associado à necessidade de existência da maior uniformidade de temperatura possível no forno leva a que o recurso a ventiladores seja comum (Sumnu & Sahin, 2008). A transferência de calor por radiação infravermelha é bastante significativa na maioria dos fornos. Esta é convertida a calor quando absorvida por corpos absorventes como é o caso a massa a cozer (Incropera et al., 2007). A eficácia dos mecanismos de transferência de calor referidos irá depender de diversos fatores, nomeadamente, da configuração do forno, da conformação dos pedaços de massa a cozer (tamanho e forma), do material constituinte da cinta que transporte a massa, e da distribuição do produto pela cinta de transporte (Sumnu & Sahin, 2008).

As transferências de calor ocorridas durante a etapa de cozedura conduzem a inevitáveis transferências de massa sob forma de humidade. A perda de humidade é um importante fenómeno que proporciona grandes alterações estruturais na bolacha (Incropera et al., 2007). Após um fornecimento de energia térmica ao alimento, equivalente ao calor latente de evaporação, a água existente na superfície do mesmo evapora, sendo que o transporte do vapor de água para o meio envolvente é realizado por mecanismos de convecção (Sumnu & Sahin, 2008). No interior do produto, a massa é transferida por mecanismos de capilaridade e de difusão, deslocando-se do interior do produto para a sua superfície à medida que as camadas mais externas vão ficando sujeitas a maior temperatura (Incropera et al., 2007).

A formação de crosta, fusão da gordura constituinte da massa, conversão da água a vapor, expansão de gás e libertação de dióxido de carbono e outros gases, são modificações físicas que ocorrem à massa durante a sua cozedura (Sumnu & Sahin, 2008). A formação da crosta inicia-se desde a entrada na massa no forno, continuando sobretudo quando a temperatura se situa entre os 25,5°C e 37,7°C (Cauvian & Young, 2006). A espessura da crosta aumenta à medida que a humidade vai sendo evaporada das camadas mais externas da massa, sendo que o objetivo será alcançar uma espessura de crosta que lhe confira elasticidade suficiente para não ocorrerem fissuras (Manley, 1998d).

O aumento de volume da massa deve-se tanto à ação de agentes levedantes químicos, que iniciam a sua produção de dióxido de carbono desde a entrada das bolachas no forno, como à passagem de grande parte da água existente na massa ao estado de vapor (Wade, 1988). Sendo este segundo fator o que mais contribui para o aumento de volume do produto.

A fusão da gordura inicia-se com a entrada da massa no forno, sendo que todo este composto se encontra fundido quando a temperatura se situa nos 40°C (Manley, 1998d). A gordura derretida altera a estrutura da bolacha, conferindo-lhe uma textura mais suave.

A perda de humidade por parte da massa pode chegar aos 25% dependendo da humidade inicial da mesma, das dimensões dos pedaços de massa a cozer e do binómio tempo-temperatura a que a massa está sujeita durante o processo de cozedura (Wade, 1988). Esta perda de humidade faz-se acompanhar por uma perda de peso da bolacha (Wade, 1988)

De acordo com Sumnu & Sahin (2008), relativamente às modificações químicas que ocorrem durante a cozedura da massa, podem ser mencionadas as seguintes: desnaturação proteica, gelatinização do amido, escurecimento não enzimático (reações Maillard), caramelização do açúcar e dextrinização do amido.

A gelatinização do amido inicia-se perto dos 60°C (Cauvian & Young, 2006). Este fenómeno inicia-se com a absorção de água e intumescimento por parte dos grânulos de amido e simultânea migração de amilose destes para o exterior, começado a formar-se uma pasta viscosa. Alguns grânulos de amido rompem após atingirem a sua capacidade máxima de intumescimento. Após arrefecimento, as cadeias lineares da amilose associam-se, retendo água e grânulos de amido intactos, formando um gel sólido. A gelatinização deste glúcido desempenha um papel crucial na produção da estrutura e textura final da bolacha (Manley, 1998d). Também a desnaturação proteica é uma alteração fundamental para se obter a estrutura definitiva da bolacha, iniciando-se quando a temperatura ronda os 62,8°C (Cauvian & Young, 2006).

A mudança de cor do produto é devida à ocorrência de reações Maillard, caramelização de açúcares e dextrinização do amido. As reações Maillard dão-se a temperaturas que rodam os 150°C (Manley, 1998d) e consistem em reações químicas entre o grupo carboxilo dos açúcares redutores e o grupo amina dos aminoácidos, levando à formação de compostos castanhos e aromáticos, designados melanoidinas (Cauvian & Young, 2006). A caramelização dos açúcares é consequência de moléculas como a maltose, frutose e dextrose sofrerem reações sucessivas, a altas temperaturas, formando substâncias coloridas classificadas como caramelos (Sumnu & Sahin, 2008). A quebra das ligações amiláceas em dextrinas dá-se a temperaturas ligeiramente superiores a 150°C, sendo que estes compostos estarão disponíveis para sofrerem reações como a de caramelização, contribuindo assim para a coloração da bolacha (Manley, 1998d).

A cozedura industrial de bolachas ocorre fazendo-as percorrer, suportadas por uma cinta metálica, longos fornos constituídos por diferentes zonas de aquecimento que são independentemente aquecidas e controladas (Manley, 1998d). A existência de diferentes zonas torna possível alcançar condições de cozedura distintas. Assim sendo, em cada segmento do forno o impacto da cozedura sobre o produto é também ele distinto. Torna-se possível controlar de modo mais rigoroso as várias transformações, físicas e químicas, pelas quais o produto vai passando ao ser cozido (Sumnu & Sahin, 2008).

A constituição da cinta do forno depende do produto a ser cozido. A cozedura de massas desenvolvidas é realizada em cintas cuja constituição se baseia numa malha de metal, enquanto as massas curtas são cozidas em contínuas bandas de aço (Wade, 1988). Devido ao facto destas últimas massas tenderem a sofrer um grande espalhamento durante a cozedura, bandas contínuas de aço são necessárias, pois estas retêm bastante calor durante todo o seu percurso no forno, mantendo uma temperatura elevada aquando da deposição da massa crua na mesma (Manley, 1998d). A elevada temperatura da superfície de deposição da massa irá controlar e limitar o espalhamento da bolacha, evitando que este seja excessivo (Wade, 1988).

Podem ser distinguidos dois grandes tipos de fornos: os de chama direta ou indireta. Segundo Manley (1998d) nos fornos de chama direta vários queimadores estão incorporados na câmara do forno, acima e abaixo da cinta de metal do mesmo, e os produtos resultantes da combustão (dióxido de carbono e água) entram em contacto direto com os pedaços de massa e serem cozidos. Neste tipo de fornos, a transferência de calor para o produto é realizada sobretudo através de radiação (Sumnu & Sahin, 2008). Usualmente nestes fornos os queimadores podem ser controlados individualmente, podendo ser ligados, desligados ou controlada a quantidade de gás que lhes é fornecida, controlando assim o calor por eles gerado (Reis, 2012). Dada a necessidade de aquecimento rápido do produto durante o início da sua cozedura, este tipo de fornos tende a compor as primeiras zonas de um forno industrial, uma vez que são os mais poderosos no que diz respeito à transferência de calor para o produto (Sumnu & Sahin, 2008). Os fornos de chama direta podem ainda possuir um sistema de pré-aquecimento, que consiste na existência de mais queimadores, posicionados abaixo da cinta do forno (queimadores inferiores), que visam o aquecimento da cinta antes de uma nova deposição de pedaços de massa ser efetuada (Fellows, 2006). Sendo a primeira zona do forno a mais quente, quando a cinta atravessa as seguintes zonas tende a arrefecer, pelo que o pré-aquecimento volta a elevar a temperatura da mesma antes de uma nova deposição de massa.

Nos fornos de chama indireta, segundo Manley (1998d), os produtos resultantes da combustão não contactam diretamente com o produto a cozer. Este tipo de forno possui, normalmente, um único longo queimador e dois tipos de sistemas de aquecimento podem ser adotados: os gases provindos dos queimadores podem circular através de condutas situadas acima e abaixo da cinta do forno, impulsionando a transferência de calor por processos de radiação a partir destas para o produto, ou pode recorrer-se a um permutador, localizado junto ao queimador, que aquece o ar que circula na câmara do forno (Fellows, 2006).

Em qualquer tipo de forno a sua atmosfera e humidade interior podem ser controladas pela abertura ou fecho de extrações que, respetivamente, conduzem os gases aí existentes para o exterior do forno ou mantêm-nos aí encerrados. O recurso a ventiladores é possível em qualquer forno, facilitando o controlo da cor e humidade do produto final (Manley, 1996).

Fornos híbridos combinam fornos de chama direta e indireta e são comumente usados na produção de bolachas. Tipicamente, é composto por uma primeira zona de chama direta, seguindo-se duas ou mais zonas de chama indireta com convecção forçada (Manley, 1998d).

3.4 – Arrefecimento

O arrefecimento das bolachas pode ser realizado à temperatura ambiente ou podem ser usados túneis de arrefecimento que facilitam a redução de temperatura do produto (Manley, 1998d). Geralmente, todas as bolachas são primeiramente arrefecidas antes de sofrerem qualquer processo secundário ou antes de serem embaladas (Wade, 1988). Esta operação tem como principal função a prevenção de condensações nas embalagens, prevenindo o desenvolvimento microbiano e a deterioração do produto (Cauvian & Young, 2006).

A redução da temperatura torna-se essencial sobretudo em bolachas ricas em açúcar, pois estas após cozedura ainda se encontram bastante húmidas e com uma textura muito macia e plástica, só endurecendo após arrefecimento (Manley, 1988d). Esta textura deve-se ao facto de vários ingredientes constituintes da bolacha estarem ainda como que num estado indefinido: o amido encontra-se parcialmente gelatinizado, os açúcares encontram-se parcialmente em solução e a gordura encontra-se em estado líquido (Sumnu & Sahin, 2008). Durante esta operação, existe ainda uma pequena perda de humidade benéfica para a qualidade e tempo de prateleira do produto (Fellows, 2006).

A perda de humidade e a redução da temperatura podem proporcionar um encolhimento da bolacha e originar tensões no interior do produto, causando a rutura espontânea do mesmo (Moretto & Fett, 1999). Como tal, a cozedura da bolacha e o seu arrefecimento deverão ser lentos e graduais (Manley, 1988d).

3.5 - Processos secundários

O processamento de bolachas pode ser complementado por outras operações unitárias, denominadas secundárias por não englobarem o conjunto daquelas que são consideradas primordiais para a formação do produto em si. Enumerando algumas destas operações pode-se destacar: a cobertura com chocolate, a aplicação de um creme/ glacê, a aplicação/deposição de geleia. Dada a importância para o presente trabalho, será apenas focado os possíveis recheios para as bolachas, dando ênfase à utilização de geleia. Note-se que o controlo destes processos secundários requer uma grande atenção e precisão, uma vez que levam a grandes variações da massa do produto final (Manley, 1998e).

De acordo com Almond *et al.* (1991), de um modo simplista, uma bolacha tipo sanduíche consiste em duas bolachas similares que estão unidas através de um recheio (creme ou geleia) que se encontra entre as duas. As bolachas referidas podem ter diferentes formas, desde retangulares a redondas. O produto final pode ser constituído por inúmeras camadas de recheio, cada uma enclausurada por duas camadas de bolacha (Manley, 1998e). Para o fabrico deste tipo de bolachas é frequente a utilização de massas duras e desenvolvidas (massas aptas para o fabrico de bolachas semi-doces) (Manley, 1996).

Inclusivamente quando a sanduíche tem apenas duas camadas de bolacha, estas possuem uma espessura, geralmente, mais fina do que aquela que teriam se fossem comercializadas individualmente. Este facto contribui para uma diminuição da massa da bolacha, confere-lhe um aspeto menos grosseiro, mais apelativo e uma textura mais agradável, facilitando o seu consumo (Almond *et al.*, 1991). Contudo, apesar de pouco espessas, as camadas de bolachas devem ser fortes o suficiente, de modo a não quebrarem durante as etapas de embalagem, armazenamento e transporte (Manley, 1998e).

Geralmente os recheios utilizados nestes produtos são constituídos sobretudo por açúcar e/ou gordura. O comportamento reológico dos mesmos deve permitir a sua fácil extrusão, deposição e espalhamento sobre a bolacha (Cauvain & Young, 2006). A consistência do recheio deve ser pegajosa o suficiente para adquirir com firmeza ao produto e deve ser estável e firme à temperatura ambiente (Sumnu & Sahin, 2008).

A aplicação de geleia, como recheio da bolacha, pode ser feita diretamente na massa ainda crua ou após a cozedura da mesma (Manley, 1998e). A geleia pode ser considerada uma rede tridimensional de pectinas de alto grau de metoxilação que envolve xarope de açúcar. A firmeza e viscosidade da mesma está altamente relacionada com o teor de pectinas e a concentração de açúcar presente (Manley, 1998e). Note-se que as pectinas de alto grau de metoxilação gelificam na presença de um alto teor de sólidos solúveis (superior a 55%) e com um pH do meio entre 2,0 e 3,5 (Tromp, 2003). Se a geleia for depositada em massa crua, o conhecimento do seu comportamento reológico, quando sujeita a elevadas temperaturas, é crucial. Durante o processo de cozedura a viscosidade da mesma tende a diminuir pelo que poderá ocorrer um espalhamento excessivo desta, conduzindo à sua expulsão para fora da bolacha (Manley, 1998e).

Principalmente nos produtos em que geleia é adicionada só após a cozedura, alguns problemas podem surgir causados pela existência de uma grande diferença entre os valores de a_w da geleia e da massa já cozida. Segundo Manley (1998e), a massa “seca” quando em contacto com a geleia tende a absorver humidade até ser atingido o equilíbrio entre os valores de a_w da massa cozida e do seu recheio. O ganho de humidade por parte da massa leva-a a perder a sua corânica, tornando-a mole. O mesmo autor refere que a perda de humidade por parte da geleia pode levar à cristalização de alguns dos seus açúcares, modificando significativamente a textura da mesma e a sensação organolética sentida pelo consumidor.

3.6 – Embalamento

Atualmente a fase de embalamento é uma etapa na qual a empresa produtora emprega bastante esforço e investimento (Almond, 1991). Tal é justificado pelas inúmeras funções desempenhadas pela embalagem do produto: proteção da segurança do consumidor; preservação da qualidade do produto; proteção mecânica; contribuição para a conveniência do produto; funções informativas (identificação do produto, massa, prazo de validade, listagem de ingredientes); promoção da venda do produto devido ao seu *design* apelativo (Almond, 1991).

De acordo com Moretto & Fett (1999), a embalagem deve proteger mecanicamente o produto, de modo a evitar a sua quebra, apresentar uma baixa permeabilidade ao vapor de água e ao oxigénio e ser opaca, de modo a proteger e manter a qualidade do produto, evitando a contaminação microbiológica, a absorção de odores estranhos e o contacto com poeiras.

O tipo de embalagem a utilizar está dependente das características do produto a embalar: tamanho, forma, massa e fragilidade (Almond, 1991). Geralmente, as embalagens que contactam diretamente com o produto são constituídas por materiais celulósicos, resinas, filmes plásticos ou laminados de metal (Sumnu & Sahin, 2008). Seguidamente, as embalagens podem ser empacotadas em caixas de cartão que são, posteriormente, colocadas sobre paletes e envolvidas em película aderente, o que facilita o seu armazenamento e transporte (Manley, 1998e). O armazenamento deve ser realizado num local seco, a temperatura ambiente e protegido pela luz (Manley, 1998e). Grandes oscilações de humidade e temperatura devem ser evitadas (Moretto & Fett, 1999).

4 – Scale up de processos de produção da escala piloto para escala industrial

Entende-se por *scale up* a utilização e a transferência dos dados e resultados obtidos, bem como da informação adquirida nos ensaios de produção de um dado produto a uma dada escala, para conceber a produção do mesmo produto a uma escala superior (Wade, 1988).

O desenvolvimento de qualquer produto alimentar é realizado, inicialmente, à escala laboratorial, sendo que depois de estabelecido o procedimento do mesmo, a sua produção é ensaiada à escala piloto. O recurso a esta fábrica intermédia permite uma melhor investigação e perceção da conceção do produto, bem como do seu processo de produção, antes de grandes quantidades de matérias-primas e de dinheiro estarem comprometidos (Wade, 1988). Esta escala permite ainda um ganho de confiança, por parte da empresa responsável pelo desenvolvimento do novo produto, na medida em que existe uma extrema dificuldade em prever os efeitos e resultados de um aumento de escala brusco no processamento de um produto alimentar (Manley, 1996).

A produção à escala piloto permite a elaboração de uma série de testes, estudos e avaliações que ajudarão na tomada de decisão sobre a viabilidade ou não do processamento do novo produto à escala industrial e, no caso de uma decisão positiva, ajudam a delinear definitivamente o processo de fabrico do mesmo.

A transição do processamento de produtos alimentares para a escala industrial está longe de ser linear (Wade, 1988). Geralmente são diversos os obstáculos com os quais a equipa responsável pelo *scale up* do projeto se depara. Assim sendo, diversos ajustes tendem a ser realizados para se conseguir transpor o processo de fabrico para a escala industrial, de modo a que o produto final alcançado esteja conforme as especificações pretendidas, ou por outras palavras, seja o mais similar possível ao produto obtido à escala piloto. Existem etapas cruciais que servem de guias de apoio para a realização do *scale up* de um processo de produção para a escala industrial, sendo estas:

- Realização de um estudo económico acerca do novo produto, com base na dimensão do mercado alvo e na perspetiva de vendas do mesmo, de modo a definir um valor orçamental para os custos de produção;
- Realização dos ensaios de produção à escala piloto enquanto, simultaneamente, se planeia o *scale up* do projeto;
- Definição das principais etapas e parâmetros de controlo;
- Planeamento, não só do processo de produção, como de controlos ambientais, limpeza e sistemas de higienização, embalagem e sistemas de tratamento de resíduos;
- Avaliação dos resultados obtidos durante os ensaios de produção à escala piloto, relativos ao produto e ao seu processamento, bem como do estudo económico realizado, a fim de se tomar a derradeira decisão sobre a viabilidade do projeto a nível industrial;
- Realização das melhorias e correções necessárias, a fim de tornar estável o processamento do produto à escala industrial.

Parte II - Desenvolvimento experimental

1 - Introdução

O nascimento do projeto *Newkcal* dá-se em 2011 com a conceitualização do novo tipo de bolacha que se pretende produzir. O novo projeto foi elaborado pela *Mondeléz Europa* e pretende-se que o produto seja fabricado e comercializado em países desse mesmo continente. Todas as fábricas *Mondeléz* usufruem de um departamento designado *Business Unit*, responsável pelo desenvolvimento de novos projetos e produtos. Após a conceitualização de um novo produto, a primeira etapa consiste em convencer outras fábricas, noutros países, a interessarem-se pelo mesmo e a quererem-no comercializar. Conseguir o apoio de outros países torna-se essencial para alcançar um volume de produção que torne o projeto rentável e viável. Relativamente ao projeto *Newkcal*, este surge na Holanda e países como Portugal, Espanha, Itália e Bélgica mostraram interesse na comercialização do mesmo.

Após o desenvolvimento do produto a nível laboratorial e a realização de um estudo de mercado, que visou perceber qual o público-alvo para o novo produto, o projeto foi apresentado na sede da *Mondeléz* em Zurique que, numa última instância, decide sobre a viabilidade do mesmo. A aprovação do projeto conduz à realização de testes de produção da nova bolacha à escala piloto. Seguem-se novos estudos de mercado e análises sensoriais com painéis treinados e consumidores comuns, a fim de compreender qual será a aceitabilidade do produto. Uma boa aceitabilidade por parte do consumidor final garante a aprovação definitiva do projeto. Por fim, é realizado um concurso entre as fábricas *Mondeléz* participantes no projeto que visa encontrar aquela capaz de implementar a linha de produção necessária, neste caso à elaboração da bolacha *Newkcal*, ao menor custo. A fábrica de Mem-Martins conquistou a oportunidade de produzir esta bolacha com relativa facilidade uma vez que, nas suas instalações, possui implementada a linha de produção da bolacha *Fruit & Fit original*, desde 2009. A bolacha *Newkcal* possui um processo de produção semelhante ao da *Fruit & Fit original*, pelo que o investimento inicial é minimizado, uma vez que muitos dos equipamentos necessários à produção da nova bolacha já se encontram implementados nas instalações de Mem-Martins. Assim sendo, o projeto *Newkcal* implicou a adaptação de uma linha de produção já existente na unidade fabril de Mem-Martins. Deste modo, a primeira fase do *scale up* do projeto consistiu no dimensionamento e aquisição de novos equipamentos necessários à produção da nova bolacha.

Os dados recolhidos durante a produção da bolacha à escala piloto podem ser considerados como o motor de arranque da produção à escala industrial, pois funcionam como guias de apoio. No entanto, a produção em grande escala implica o fabrico de grandes quantidades de produto por unidade de tempo, pelo que diversos fatores têm de ser ajustados, nomeadamente, os parâmetros de trabalho de cada equipamento envolvido no processo de produção, proporções dos ingredientes da massa, velocidades de produção, perfil de temperaturas do forno e tempo de cozedura, entre outros.

Durante o desenvolvimento do novo produto e nos testes ao seu processo de fabrico à escala piloto são estipuladas especificações para o mesmo, nomeadamente, de massa,

comprimento, largura, espessura e humidade. Durante o *scale up* do processo, o objetivo centra-se na estabilização do mesmo à escala industrial, obtendo como produto final uma bolacha cujas características estejam conforme as especificações pré-definidas durante a produção da mesma à escala piloto. Assim sendo, a produção da nova bolacha à escala industrial deve respeitar, sempre que possível, estas mesmas especificações. No entanto, estas podem sofrer pequenas alterações, no caso de não ser possível atingir a especificação pré-definida, o que poderá ser devido ao surgimento ou à potenciação de determinados fenómenos que à escala piloto não demonstraram ter relevância.

A conformidade do produto fabricado à escala industrial é garantida pela definição final e cumprimento de especificações para o produto antes e após a sua cozedura e pela definição e cumprimento de parâmetros de trabalho (valores padrão) para os diversos fatores a calibrar nos diferentes equipamentos que participam no fabrico da nova bolacha.

2 - Métodos

2.1 - Análises à massa crua

2.1.1 – Determinação do pH

O pH da massa *Newkcal* é determinado a partir do método potenciômetro (Furlab – AD1000). As amostras de massa (10 gramas) são recolhidas imediatamente após a sua amassadura, sendo adicionadas a 90 g de água destilada. A mistura é agitada durante 30 minutos, realizando-se posteriormente a leitura de pH utilizando o potenciômetro.

2.1.2 – Determinação da atividade da água

Procede-se à determinação da atividade da água (a_w) da massa recorrendo a um aparelho medidor desta propriedade (Aqualab Lite). A temperatura do aparelho em questão é fixada nos 20 °C, de modo a uniformizar as condições de todas as medições de a_w realizadas. A temperatura considerada foi escolhida por se aproximar da temperatura média ambiente. Foram analisadas cinco réplicas de cada massa.

2.1.3 – Análise da textura

A análise da textura da massa *Newkcal* é efetuada com recurso a um texturómetro (Stable Micro Systems, modelo TA-XT2i). A massa é inicialmente colocada numa forma cilíndrica, com 3,5 cm de altura e 4 cm de diâmetro, de modo a que a dimensão das amostras utilizadas para a medição da textura sejam uniformes. As porções de massa são submetidas a testes de compressão, utilizando-se para tal um prato com 8 centímetros de diâmetro que se move a uma velocidade de 1 mm/segundo. A deformação sofrida pela amostra nestes testes é cerca de 25% da sua altura inicial. Cada massa foi analisada em triplicado.

2.1.4 - Determinação da massa dos mantos de massa

Através de um círculo de metal, cujo diâmetro é de 15 cm, perfura-se o manto de massa, de modo a obter-se sempre o mesmo tamanho de amostra. A amostra é de seguida pesada numa balança digital (Acculab: VIC212). A perfuração da massa é realizada após cada uma das calibrações, quer do manto inferior, quer do superior.

2.1.5 - Determinação da massa das bolachas antes da cozedura

Recolha de 10 bolachas constituídas só por massa crua e 10 bolachas cruas completas (constituídas por massa, geleia, banho e cobertura). Pesagem das mesmas numa balança digital (Acculab: VIC212).

2.2 - Análises ao produto final

2.2.1 – Determinação do teor de humidade

A humidade da bolacha *Newkcal* após cozedura é determinada a partir de dois métodos distintos: clássico e direto.

O método clássico baseia-se na Norma Portuguesa em vigor, fixada para determinar o teor de humidade dos alimentos para animais: NP875 (1994). Este método consiste na trituração e homogeneização de 250 gramas de amostra, retirando para análise apenas 5

gramas que serão secas numa estufa a 103°C, durante 4 horas. Após este período a amostra arrefece 30 minutos no exsicador, voltando posteriormente para a estufa durante 30 minutos, novamente a 103°C. Segundo a presente norma, entende-se por humidade dos alimentos a perda de massa que estes sofrem após a sua secagem nas condições determinadas.

No designado método direto a humidade da bolacha *Newkcal* é determinada recorrendo à utilização de uma balança digital (Mettler Toledo, modelo HB43- Halogen Moisture Analyser) que mede a perda de massa, por parte da amostra, durante a sua secagem por radiação infravermelha. São trituradas 2 bolachas e a mistura é homogeneizada, sendo posteriormente retiradas desta mesma mistura 5 gramas que são colocadas na balança para secagem. O recurso a este método possibilita a obtenção de resultados de uma forma expedita, sendo este método utilizado para o controlo frequente da humidade do produto final, por parte do operador ao longo do seu turno de produção.

O recurso ao método direto requer a calibração antecipada da balança digital. Esta calibração é efetuada recorrendo ao valor de humidade de uma amostra, obtido através do método clássico. Numa primeira fase, 5 de 250 gramas de produto final triturado são utilizadas para determinação da sua humidade segundo o método clássico. Utilizando-se 5 das restantes 245 gramas de produto final anteriormente triturado, ajusta-se a balança digital de infravermelhos, de modo a que seja obtido um valor semelhante àquele determinado através do método clássico. Para tal, a temperatura de aquecimento e a sensibilidade da balança, fatores passíveis de controlo, são ajustados por meio de tentativa e erro. Saliente-se que a sensibilidade da balança é um parâmetro relacionado com o tempo de estabilização da amostra, ou seja, o tempo em que não decorre nenhuma perda de massa/humidade por parte desta. Quanto maior a sensibilidade programada para a balança, maior é o tempo que a amostra deve permanecer estável (sem perder humidade). O alcance deste tempo de estabilização pré-estipulado significa que a secagem da amostra foi concluída e a humidade final da mesma determinada. As condições que permitiram o alcance de leituras mais próximas daquelas obtidas pelo método clássico foram: temperatura de 105°C e um nível de sensibilidade 4.

2.2.2 – Determinação da cor

A cor das bolachas *Newkcal* é determinada recorrendo ao colorímetro (Minolta, modelo CR-300). A cor foi medida em três pontos distintos do topo e do fundo da bolacha. O mesmo processo é repetido pelo menos em dez bolachas.

2.2.3 – Determinação da atividade da água

Procede-se à determinação do a_w da bolacha previamente triturada recorrendo a um aparelho medidor desta propriedade (Aqualab Lite). A temperatura do aparelho em questão é fixada nos 20 °C, de modo a uniformizar as condições de todas as medições de a_w realizadas. Das bolachas trituradas são retiradas cinco amostras, de modo a efetuar cinco medições.

2.2.4 – Análise da textura

A análise da textura da bolacha *Newkcal* é efetuada com recurso a um texturómetro (marca Stable Micro Systems, modelo TA-XT2plus). As bolachas são sujeitas a testes de perfuração, em que uma sonda de 2 milímetros de diâmetro se desloca 3 mm em direção à amostra, penetrando-a uma velocidade de 1 mm/segundo. Para cada amostra (*Newkcal Maçã e Canela*, *Newkcal Frutos Vermelhos*, *Fruit & Fit Maçã e Canela* e *Fruit & Fit Frutos Vermelhos*) são realizados 35 testes de perfuração.

2.2.5 - Determinação da massa das bolachas

Recolha de 10 bolachas após estas sofrerem o processo de cozedura e pesagem das mesmas numa balança digital (Acculab: VIC212).

2.2.6 - Determinação das dimensões do produto final

Recolha de um conjunto de 10 ou 20 bolachas cozidas e medição, com recurso a um paquímetro, da espessura, largura e comprimento de cada uma das bolachas.

2.2.7 – Determinação da percentagem média de bolachas partidas durante a etapa de segundo corte

Realização de uma observação contínua das bolachas que atravessam o sistema de discos (etapa de segundo corte), durante períodos de 1 hora, e registo do número de bolachas partidas visualizadas. Cálculo da percentagem de bolachas partidas observadas, tendo em consideração o fluxo de produto (kg produto fabricado/unidade de tempo).

2.2.8 - Determinação da percentagem de bolachas partidas e defeituosas durante a etapa de embalagem

Recolha de amostras, a cada 30 minutos, antes e ao longo das várias fases da etapa de embalamento: 24 bolachas antes dos robôs-apanha-bolachas, 10 saquetas em cada sistema de correias de cunhas e 2 cartolinas após a máquina fechadora de cartolinas. Observação de todas as bolachas recolhidas e contagem do número de bolachas partidas e defeituosas. Cálculo da percentagem de bolachas partidas e defeituosas.

2.2.9 - Determinação da percentagem de bolachas partidas durante o seu transporte – Teste de transporte

Cada palete de caixas *Newkcal* é constituída por 128 caixas de cartão distribuídas por 8 patamares. Cada patamar é constituído por 2 filas de caixas de cartão, constituídas por 8 caixas cada, que são numeradas da esquerda para a direita (de 1 a 8). A Tabela 3 ilustra o posicionamento na paleta das caixas de cartão escolhidas para análise (a cor rosa). Tal como é observável pela Tabela 3, verifica-se o número de bolachas partidas existente em duas caixas

de cartão de cada patamar da palete, variando a posição destas em cada fila do patamar. A escolha das caixas a analisar, bem a totalidade das caixas analisadas não segue nenhum plano de amostragem específico. Observa-se e contabiliza-se o número de bolachas partidas encontradas em cada caixa de cartão analisada, calculando-se a percentagem de bolachas partidas.

Tabela 3: Posicionamento das caixas de cartão a analisar na palete *Newkcal*

Patamar	Nº da fila	Números das caixas de cartão							
Patamar A	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16
Patamar B	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16
Patamar C	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16
Patamar D	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16
Patamar E	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16
Patamar F	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16
Patamar G	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16
Patamar H	Fila 1	1	2	3	4	5	6	7	8
	Fila 2	9	10	11	12	13	14	15	16

2.2.10 - Realização de Cartas de Controlo \bar{p} – etapa de embalagem

Execução de Cartas de Controlo por Atributos – Cartas \bar{p} para averiguar a estabilidade do processo produtivo, antes e durante as várias fases da etapa de embalagem. O objetivo consiste em verificar qual a fração defeituosa existente (carta \bar{p}), ou seja, qual a fração de bolachas partidas a ser gerada.

Foram estabelecidas cartas de controlo para o processo produtivo anterior à etapa de embalagem, para os 4 sistemas de correias de cunhas e para a fechadora de cartolinas, utilizando amostras recolhidas de modo idêntico ao descrito no tópico 2.2.8.

Para a realização das respetivas cartas de controlo foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$\text{Eq. 1} \quad \bar{p} = \frac{\text{nº de amostras defeituosas}}{\text{nº total de amostras (n)}}$$

$$\text{Eq. 2} \quad \text{Limite inferior de controlo} = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\text{Eq. 3} \quad \text{Limite superior de controlo} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

2.3 - Tratamento estatístico

Sempre que possível os resultados foram analisados e interpretados com o recurso à análise de variância a um fator. A comparação de médias foi feita pela aplicação do teste Post Hoc “Unequal N HSD” para um intervalo de confiança de 95%. Para tal foi utilizado o software *STATISTICA*.

3 - Caracterização e comparação das bolachas *Newkcal* e *Fruit & Fit original*

Tanto a bolacha *Fruit & Fit original* (F&F) como a nova bolacha *Newkcal* podem ser designadas como: bolachas com recheio de frutos vermelhos ou com recheio de maçã e canela (*Preliminary Product Label Report, Mondelez*). São, portanto, bolachas tipo sanduíche (Figura 2). A Tabela 4 engloba as características gerais de ambas as bolachas.



Figura 2: Bolacha *Fruit & Fit* de Maçã (em cima) e bolacha *Newkcal* de Maçã (em baixo)

Tabela 4: Características da bolacha *Newkcal* e *Fruit & Fit*

Características	<i>Newkcal</i>	<i>Fruit & Fit</i>
Peso bolacha	12,3 g	12,3 g
Percentagem de geleia	41%	-
Peso geleia	5,04 g	-
Peso massa	7,26 g	-
Comprimento bolacha	90 mm	95 mm
Largura bolacha	36 mm	35 mm
Espessura bolacha	9 mm	8 mm
a_w (maçã e canela e frutos vermelhos)	0,37	0,45
Humidade (maçã e canela e frutos vermelhos)	8%	5,5%

Relativamente à embalagem final, a bolacha *Fruit & Fit* é apenas comercializada em cartolinas (unidade de venda) que contêm 8 saquetas. Já a bolacha *Newkcal* é produzida com dois formatos de embalagem: formato 8 e 6. Ou seja, as cartolinas poderão conter 8 ou 6 saquetas, dependendo do país para o qual o produto é comercializado.

3.1 - Matérias-primas

Na Tabela 5 são apresentadas as matérias-primas utilizadas em cada uma das etapas dos processos de produção da bolacha *Newkcal* e *Fruit & Fit*.

Tabela 5: Matérias – primas utilizadas para a produção do *Newkcal* e *Fruit & Fit*

Matérias - primas	<i>Newkcal</i>	<i>Fruit & Fit</i>
Amassadura	Farinha Espuma de trigo Água quente (50°C) Óleo de palma Açúcar branco granulado Amido de milho pré-gelatinizado Bicarbonato de sódio e de amónio Carbonato de cálcio Lactosoro Proteases Sal	Farinha Espuma de trigo Farinha de trigoB2 Água Óleo de palma Açúcar branco granulado Bicarbonato de sódio e de amónio Lactosoro Metabissulfito de sódio Sal Maltodextrina
Deposição do recheio	Geleia de Maçã e Canela Geleia de Frutos Vermelhos	
Banho	Água Xarope de glucose- frutose	Água Xarope de glucose- frutose Lactosoro
Cobertura	Açúcar (com ou sem mistura de canela)	

A farinha utilizada para a produção de *Newkcal*, designada como farinha espuma, possui um teor proteico de 9,5% e um nível de absorção de água aproximadamente de 52,5% (ficha

técnica Farinha de Trigo Espuma – Cerealis). De acordo com os resultados obtidos a partir da análise alveográfica da farinha, realizada pelo fornecedor da mesma, uma massa preparada com a farinha em questão possui uma extensibilidade (L) de cerca de 109 mm, uma razão tenacidade/extensibilidade (P/L) de aproximadamente 0,37. A força da massa, ilustrada pelo trabalho necessário para expandir a mesma (W), é cerca de 103×10^{-4} J. A farinha B2, utilizada na produção de *F&F*, possui um maior nível proteico (cerca de 11,6%) e uma capacidade de absorção de água de 60%. Os resultados alveográficos desta farinha rondam os 91 mm de extensibilidade, os 0,73 de razão tenacidade/extensibilidade e 197×10^{-4} J de trabalho necessário para expandir a massa até à sua rutura. Assim sendo, a farinha B2 proporciona a obtenção de uma massa mais forte do que aquela formada utilizando farinha espuma.

A recorrência ao uso do amido de milho pré-gelatinizado é sobretudo devida ao seu poder espessante que conduz ao aumento a viscosidade da massa, conferido a textura desejada ao produto final (Tate & Lyle (fornecedor do ingrediente à *Mondeléz*)). Usualmente na indústria alimentar este tipo de amido é usado devido ao facto de possuir uma elevada solubilidade em água fria, ao invés do amido nativo que apenas é solúvel em água quente (Sumnu & Sahin, 2008). Contudo, no processamento do *Newkcal* recorre-se ao uso de água quente (50°C), pelo que o aumento da viscosidade e de coesão da massa é notável a partir do momento em que ocorre a junção da água ao amido.

O recurso a água quente, durante o processamento de *Newkcal*, tem como objetivo garantir que a temperatura final alcançada pela massa se situa entre os 38 e 43°C. Segundo Manley (1996), esta temperatura é requerida para que o processo de calibração da massa decorra facilmente. A simples operação de amassadura não é suficiente, devido à baixa velocidade de rotação das pás da amassadeira, para aumentar a temperatura da massa até aos valores pretendidos, pelo que o uso de água quente é necessário.

O aditivo alimentar, carbonato de cálcio, é adicionado à massa *Newkcal* devido às suas funções de regulador de acidez, agente de endurecimento e estabilizador e anti-aglomerante, impedindo a formação de grumos na massa (Codex Alimentarius - GSFA,1995).

A maltodextrina, utilizada na produção de *Fruit & Fit* é um xarope produzido a partir da dextrinização controlada do amido, através da enzima α -amilase (Hui, 2006). Este xarope é composto por maltose (açúcar redutor), dextrina e ciclodextrina e é adicionado à massa não como adoçante mas devido à sua capacidade de dar corpo e volume à mesma (Hui, 2006).

A geleia utilizada durante a produção de *Newkcal*, ao contrário da utilizada no processamento de *Fruit & Fit*, é estável durante o processo de cozedura. Tal é necessário para garantir que a mesma não expanda para fora da bolacha durante a sua cozedura. Este é um problema que não tende a ocorrer durante a produção da bolacha *Fruit & Fit*, uma vez que os dois mantos de massa são calibrados e compactados em conjunto, encerrando no seu interior a geleia. A compactação dos dois mantos une-os fortemente, deste modo a bolacha é como que selada, evitando-se a expansão da geleia para fora da mesma. A Tabela 6 ilustra as propriedades de ambas as geleias, determinados pelos respetivos fornecedores.

Tabela 6: Propriedade das geleias de *Newkcal* e *Fruit & Fit*

Bolacha	a _w			Textura (Teste de extrusão (N))			Espalhamento (mm)		
	Mínimo	Alvo	Máximo	Mínimo	Alvo	Máximo	Mínimo	Alvo	Máximo
Newkcal Maçã	0,64	0,6	0,68	35	65	100	35	45	55
Newkcal FV	0,62	0,65	0,68	35	65	100	47	-	55
F&F Maçã	0,65	0,67	0,69	40	70	100	33	-	42
F&F FV	0,65	0,67	0,69	40	70	100	33	-	42

3.2 - Processos de produção

Precede-se o diagrama de fabrico das bolachas *Newkcal* e *Fruit & Fit* (Figura 3).

No anexo I pode ser visualizado o desenho técnico de uma parte da linha de produção de ambas as bolachas (desde a calibração dos mantos de massa até à entrada desta no forno), previamente e após a instalação dos novos equipamentos adquiridos especificamente para a produção da bolacha *Newkcal*. No anexo II pode ser visualizado um esquema representativo da produção da bolacha *Newkcal*.

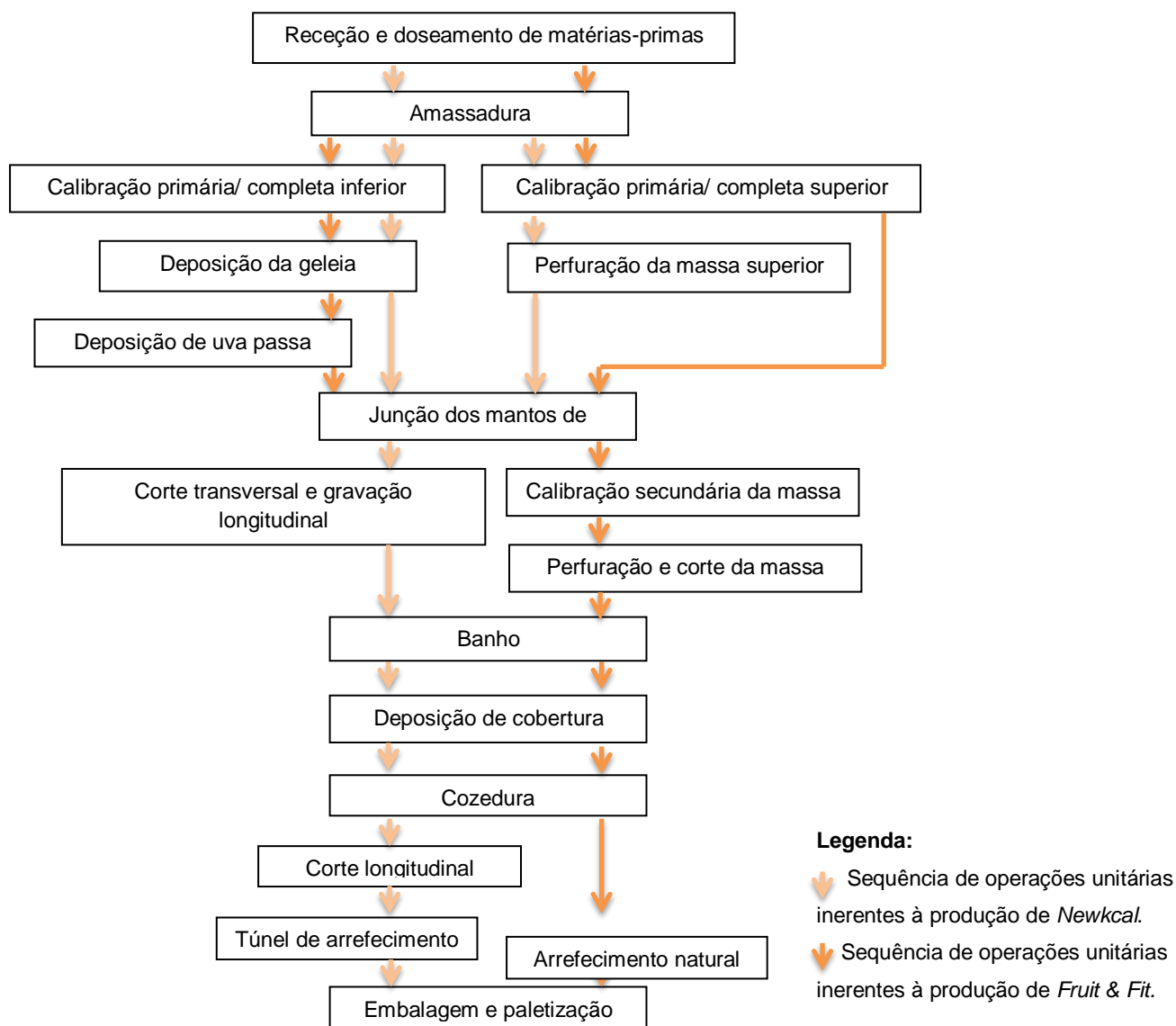


Figura 3: Diagrama geral de fabrico de *Newkcal* e *F&F*

3.2.1 - Amassadura

A etapa de amassadura das massas com destino à produção das bolachas *Newkcal* e *Fruit & Fit* inicia-se no piso 1, após o doseamento automático dos macro-ingredientes (farinha, óleo de palma, açúcar e água), sendo os restantes ingredientes doseados e colocados na amassadeira manualmente. Na Tabela 7 representa-se a proporção dos macro ingredientes, em base farinha, utilizados para preparação das massas *Newkcal* e *Fruit & Fit*. Independentemente do sabor da bolacha *Newkcal* a produzir, a sua massa é formulada de modo similar. Já a massa *Fruit & Fit* é diferente consoante o sabor desta bolacha que se pretende fabricar. Esta diferença está relacionada com as proporções utilizadas das duas farinhas constituintes da receita da massa *F&F*.

Em qualquer uma das massas fabricadas algum glúten é desenvolvido. No entanto, do modo a facilitar o processo de calibração das mesmas (método de formação das bolachas) o glúten é modificado ou enzimaticamente com recurso a proteases ou quimicamente com a adição de metabissulfito de sódio, o que torna as massas mais extensíveis. A adição de óleo e teores relativamente elevados de açúcar conduz à obtenção de massas do tipo semi-doce.

Tabela 7: Proporção dos macro ingredientes nas formulações das massas *Newkcal* e *F&F*

Massa	Farinha de trigo Espuma	Farinha B2	Água	Óleo de Palma	Açúcar
<i>Newkcal</i>	100%	-	26%	15%	9%
<i>Fruit & Fit Maçã</i>	70%	30%	25%	13%	12%
<i>Fruit & Fit FV</i>	50%	50%	21%	13%	12%

A colocação dos ingredientes na amassadeira durante a preparação da massa *Newkcal* é faseada. Numa primeira fase o óleo de palma e o açúcar, em conjunto os micro ingredientes, são misturados formando um creme. Numa segunda fase a farinha é adicionada, sendo a água só depositada na amassadeira posteriormente. Este faseamento da amassadura tem como finalidade limitar a absorção de água por parte da farinha e o desenvolvimento da rede de glúten (Manley, 1998b). A junção posterior da farinha à gordura/óleo é uma tentativa de impermeabilização da mesma, a fim de esta absorver menos água (Cauvain, 2006). A cada fase de adição de ingredientes segue-se uma mistura dos mesmos em velocidade lenta (20 r.p.m.), sendo que é após a adição da água que se dá a mistura mais prolongada, a fim de uniformizar devidamente a massa. A velocidade lenta a que giram as pás da amassadeira é uma forma de inibir a incorporação de ar na massa, de modo a limitar a formação de glúten e a e a porosidade da estrutura final da bolacha. A preparação da massa de *Fruit & Fit* ocorre apenas numa única fase, sendo todos os ingredientes colocados na amassadeira ao mesmo tempo. A mistura dos mesmos ocorre a uma velocidade de rotação das pás da amassadeira de cerca 30 r.p.m.. A maior velocidade de rotação, bem como a mistura conjunta de todos os ingredientes proporciona um maior desenvolvimento da rede de glúten.

Após a saída da amassadeira, ambas as massas repousam durante 30 minutos antes de serem calibradas, de modo a possibilitar a atuação enzimática/ química das proteases ou do metabissulfito de sódio respetivamente. Seguidamente a massa é cortada em pequenas porções, por meio de uma guilhotina, sendo que por gravidade as mesmas são direcionadas para o equipamento de calibração (piso 0).



Figura 4: Guilhotina cortadora de massa

3.2.2 – Calibração da massa

Após o período de repouso a massa é cortada e direcionada para o piso 0, para duas tremonhas de alimentação (inferior e superior). Num nível inferior, coincidente com o piso 0 encontra-se a tremonha inferior e sob uma plataforma, colocada a dois metros de altura do nível inferior, encontra-se a tremonha superior. Para a produção da bolacha *Fruit & Fit* são, inicialmente, calibrados dois mantos de massa (calibração primária), um em cada nível de altura. Depois da primeira calibração, o manto superior sobrepõe-se ao inferior após este ter sido coberto com geleia e uva passa. Segue-se a calibração dos dois mantos conjuntamente, encerando do seu interior geleia e uva passa, através da sua passagem por mais três calibradores.

Durante a produção da bolacha *Newkcal* são calibrados dois mantos de massa individualmente, um em cada nível de altura, até ambos atingirem a espessura final pretendida. Ou seja, ambos os mantos são totalmente calibrados antes de se unirem. Assim sendo, a produção desta bolacha requereu a aquisição de mais dois calibradores superiores. O conjunto total de equipamentos de calibração ficou portanto composto por: um calibrador primário inferior, três calibradores secundários inferiores, um calibrador primário superior e dois calibradores secundários superiores. A Figura 5 retrata a redução progressiva do manto inferior de massa destinada à produção da bolacha *Newkcal*.

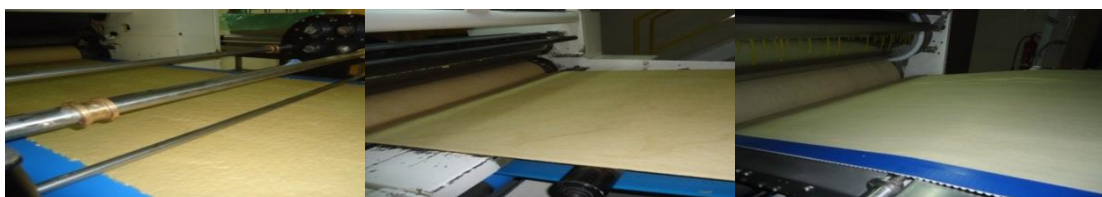


Figura 5: Redução progressiva do manto de massa inferior da bolacha *Newkcal*

Para a obtenção de uma calibração adequada vários parâmetros necessitam de ser ajustados. Será importante referir que a monitorização e controlo dos equipamentos pode ser realizado individualmente e independentemente em cada um deles, ou pode ser sincronizada, programando os equipamentos para funcionar em “cascata”.

3.2.3 - Perfuração do manto de massa superior

No processo de fabrico da bolacha *Newkcal* o manto de massa superior, após ser calibrado, passa por debaixo de um molde estampador rotativo, constituído por 12 anéis de superfície picotada. Os inúmeros pinos salientes penetram no manto de massa, furando-o.

Durante o cozimento das bolachas ocorre formação de gás, pelo que este deve poder migrar do interior das mesmas para o exterior facilmente (Hui, 2006), impedindo o aumento exagerado de volume do produto (Cauvian & Young, 2006).

Durante a produção da bolacha *Fruit & Fit*, a etapa de perfuração do manto de massa ocorre em simultâneo com a etapa de corte do mesmo.

3.2.4 - Deposição de geleia

A geleia utilizada na produção da bolacha *Newkcal* é transferida do bidão (embalagem primária desta matéria-prima) para a máquina de enchimento através de uma bomba (Figura 6). Na máquina de enchimento, através de métodos de compressão e com recurso a vácuo, a matéria-prima é transferida para um outro equipamento (cabeçal), constituído por um divisor do fluxo e por vinte e quatro bocas injetoras, que depositam a mesma quantidade de geleia continuamente sobre o manto de massa. Cada fluxo, ou seja cada fila de geleia, deve ter uma largura uniforme, de modo a preencher grande parte da área da bolacha. O equipamento depositador de geleia é, portanto, constituído por dois equipamentos: a máquina de enchimento e o cabeçal.

A deposição de geleia na massa *Fruit & Fit* ocorre, tal como a deposição de uva passa, após a calibração primária do manto de massa inferior. Deste modo, ao contrário do que ocorre na produção da bolacha *Newkcal*, a geleia e a uva passa são calibradas em conjunto com os dois mantos de massa. O equipamento utilizado nesta etapa realiza uma deposição de geleia menos precisa, funcionando por meio da gravidade. Dado que a geleia é compactada durante a calibração dos mantos, a distribuição uniforme desta por todo o manto de massa é assegurada.



Figura 6: Bomba e máquina de enchimento (à esquerda) e bocas injetoras de geleia (à direita)

3.2.5 - Junção dos mantos de massa

Após ser perfurado, o manto superior de massa *Newkcal* é transportado até junto do manto inferior, sobrepondo-se e este. No fabrico da bolacha *Fruit & Fit* o manto superior sobrepõe-se ao inferior logo após ambos serem primariamente calibrados.



Figura 7: Sobreposição do manto superior de massa *Newkcal* no manto inferior

3.2.6 – Primeiro corte

Imediatamente após a sobreposição dos mantos de massa *Newkcal*, os mesmos passam sob dois moldes rotativos. O primeiro imprime gravações longitudinais na massa enquanto o segundo a corta transversalmente. Ao contrário do corte transversal, as gravações longitudinais são profundas sem, contudo, cortar e separar totalmente a massa. Após o corte,

obtêm-se filas de vinte e quatro bolachas agregadas entre si. A Figura 8 representa esquematicamente a etapa descrita. Estas gravações longitudinais, efetuadas no manto de massa, são realizadas por entre as filas de geleia depositadas. Isto permite que a pressão efetuada por este molde una os dois mantos de massa, evitando uma abertura entre ambos durante a etapa de cozedura das bolachas. Já os cortes transversais, tal como demonstra a Figura 8, facultam a exposição da geleia, uma vez que estes são exercidos sobre a mesma. A abertura entre os mantos de massa é assim facilitada, uma vez que estes não foram unidos por pressão do molde, dada a existência de geleia entre os mesmos.

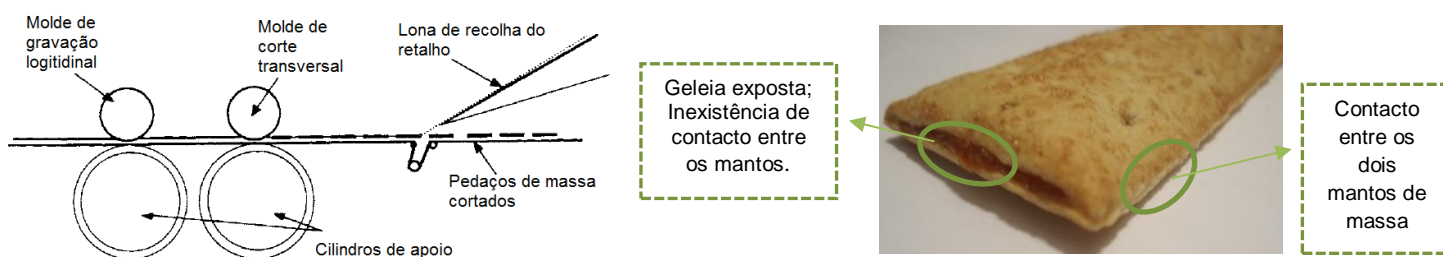


Figura 8: Esquema representativo da máquina de corte (Fonte: Manley, 1998c) (à esquerda) e exposição de geleia na bolacha *Newkcal* (à direita)

A perfuração do manto *Fruit & Fit*, bem como o seu total corte são realizados nesta fase, não existindo necessidade de um segundo corte. Tal é possível uma vez que ocorreu previamente a calibração conjunta dos mantos de massa, pelo que estes foram compactados e unidos, impedindo que ocorra uma abertura entre os mesmos durante a sua cozedura.

3.2.7 - Banho e Cobertura

Os pedaços de massa *Newkcal* são, numa primeira fase, cobertos com uma solução de água e xarope de glucose-frutose e numa segunda fase com açúcar ou açúcar e canela, consoante esteja a decorrer a produção de *Newkcal Maçã e Canela* ou *Newkcal Frutos Vermelhos* respetivamente. Durante a produção da bolacha *Fruit & Fit* a única variante nesta etapa é a adição de lactosoro à solução do banho.

A solução preparada para banhar as bolachas *Newkcal* é bombeada para uma máquina adquirida especialmente para este procedimento, que através da atomização da mesma, a espalha na forma de pequenas gotículas sobre a massa. As bolachas *Fruit & Fit* são banhadas com recurso a uma escova em permanente rotação. A presença de vestígios de gordura no lactosoro incorporado na solução de banho permite um espalhamento da mesma mais eficaz e facilitado. A solução utilizada na bolacha *Newkcal*, não contendo lactosoro, requereu a utilização de um outro equipamento depositador do banho, uma vez que o uso de uma escova iria manchar o produto final (listas mais escuras onde a solução fora depositada em maior quantidade).

Em ambas as produções o açúcar, com ou sem canela, é depositado sobre a massa por meio da gravidade.

3.2.8 - Cozedura

O forno utilizado para a cozedura de ambas as bolachas é o mesmo, variando apenas o perfil de temperatura do forno e tempo de cozedura utilizado (Tabela 8). O forno mencionado é híbrido, estando dividido em quatro zonas: uma primeira zona de chama direta que possui um sistema de pré-aquecimento, duas zonas de chama indireta e uma última zona de aquecimento direto com convecção forçada. Em qualquer zona do forno, os queimadores aí existentes podem ser desligados ou ligados de forma independente e a temperatura a atingir em cada zona de cozedura pode ser definida e ajustada. Ao longo de todo o forno encontram-se extrações capazes de expelir a atmosfera interna do mesmo. Na zona de convecção forçada é possível um controlo dos ventiladores existentes no interior na câmara de cozedura, o que permite um direcionamento do calor aí gerado. Nesta zona pode proceder-se a um controlo da repartição de ar, podendo optar-se por uma maior ou menor intensidade de calor, provinda do topo ou do fundo da câmara de cozedura.

Tabela 8: Perfis de temperatura do forno e tempo de cozedura: *Newkcal* e *Fruit & Fit*

Bolacha	Temperatura (°C)					Tempo de cozedura (min)
	Pré-aquecimento	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	
Newkcal formato 8	34	205	190	200	183	9,6
Newkcal formato 6	34	205	190	200	175	10
F&F Maçã	75	257	265	160	170	6,2
F&F FV	75	260	265	160	170	6,2

Pela Tabela 8 pode ser denotado que a bolacha *Fruit & Fit* é sujeita a temperaturas mais elevadas durante o início da sua cozedura (pré-aquecimento, zona 1 e 2). Tal é necessário para que as bolachas atinjam a cor e humidade pretendida pois o tempo de cozedura desta bolacha é significativamente menor que o da bolacha *Newkcal*. Estas elevadas temperaturas não prejudicam a forma e dimensão do produto final, uma vez que os mantos de massa foram previamente unidos e compactados na etapa de calibração, pelo que o aumento excessivo do volume da bolacha é inibido.

3.2.9 - Segundo corte

Após cozedura, as filas de bolachas *Newkcal* são transportadas passando sob um sistema de vinte e três discos rotativos, dispostos transversalmente na linha de produção. Uma ligeira aplicação de pressão, exercida por estes discos, no exato local das gravações longitudinais realizadas na etapa de primeiro corte, é suficiente para separar e individualizar as vinte e quatro bolachas de cada fila. A rotação dos discos é impelida pela passagem do produto por debaixo dos mesmos.



Figura 9: Sistema de discos rotativos

O processamento da bolacha *Fruit & Fit* não requer a existência desta etapa uma vez que, como já mencionado, o total e completo corte da bolacha é realizado imediatamente após a calibração dos mantos de massa.

3.2.10 - Arrefecimento

Depois de cozidas e até serem embaladas as bolachas são arrefecidas. No caso das bolachas *Fruit & Fit*, estas são arrefecidas naturalmente.

As bolachas *Newkcal* são encaminhadas para um túnel de arrefecimento que visa reduzir a temperatura das mesmas, de modo a estas poderem ser embaladas sem qualquer prejuízo para a sua qualidade. A temperatura do produto, aquando da sua entrada no túnel de arrefecimento, ronda os 96°C. O objetivo será alcançar uma temperatura inferior a 40°C antes da etapa de embalamento. O túnel está dividido em duas zonas: a primeira equipada com ventiladores de alta potência e a segunda com permutadores tubulares que procedem a uma troca de calor entre as bolachas e o etilenoglicol (líquido de arrefecimento que percorre a tubagem do permutador). A maior quantidade de geleia presente na bolacha *Newkcal* (41% do produto final) pode ser o fator que conduz à necessidade de um arrefecimento forçado, pois esta atinge uma temperatura muito elevada após a sua cozedura, sendo o seu arrefecimento bastante lento.

3.2.11 - Embalamento

Após arrefecidas as bolachas são embaladas. Esta etapa é similar em ambos os processos de produção, existindo apenas algumas dissimilaridades. Consoante o país para o qual o produto é comercializado o *design* da sua embalagem (cartolina) e a marca sob a qual é distribuído são diferentes. As embalagens da bolacha *Fruit & Fit* englobam 8 saquetas, pesando 198 gramas enquanto as embalagens da bolacha *Newkcal* podem conter 8 (formato 8) ou 6 (formato 6) saquetas, pesando 198 ou 148 gramas respetivamente. Também a película utilizada para o embalamento de ambas as bolachas é diferente, sendo a película da bolacha *F&F* composta por um filme de polipropileno simples e a da bolacha *Newkcal* constituída por um filme de polipropileno metalizado. Segundo Manley (1998e), uma película metalizada é uma barreira mais eficaz contra a luz, possuindo também uma menor permeabilidade ao oxigénio, quando comparada com uma película de polipropileno simples. No entanto, apesar da película metalizada ser mais vantajosa, ambos os produtos possuem um tempo de vida útil idêntico (12 meses).

Relativamente às operações de embalamento propriamente ditas, numa primeira fase, o fluxo de produto, quer de *Newkcal*, quer de *F&F*, é posicionado, através da sua transferência por entre lonas de transporte, de modo a ser facilmente apanhado por robôs munidos de ventosas que sugam as bolachas recorrendo a vácuo. São quatro os módulos que acondicionam, cada um, quatro robôs-apanha-bolachas. As câmaras existentes no resguardo de cada módulo efetuam uma leitura para saber a exata posição, orientação e dimensão de cada bolacha, a fim de os robôs as sugarem. Assim sendo, as tolerâncias mínimas e máximas referentes à dimensão do produto devem estar devidamente definidas e o equipamento devidamente programado para apanhar apenas as bolachas que possuam dimensões dentro

dos intervalos definidos. Após sugadas as bolachas são colocadas aos pares num sistema de correias de cunhas. Sob a cunha, cada conjunto de duas bolachas é selada com uma película, formando saquetas (embalagem primária do produto) que atravessam, de seguida, um detetor de metais. Em simultâneo, equipamentos formadores de cartolinas transformam as cartolinas planificáveis em caixas (embalagem secundária do produto) e transferem-nas para os equipamentos de enchimento das mesmas. Nestes, as saquetas formadas são sugadas por robôs e colocadas nas cartolinas. Posteriormente, as cartolinas atravessam um equipamento com a finalidade de selá-las, passando em seguida sobre uma balança dinâmica que tem por objetivo excluir as cartolinas cujo peso esteja abaixo do limitado. Por fim, num último equipamento, as cartolinas são agregadas em grupos de oito e colocadas numa caixa de cartão (embalagem terciária do produto), também ela formada neste mesmo equipamento.

3.3 – Características de Textura

As diferenças quer a nível de matérias-primas utilizadas, quer a nível do processo de fabrico das bolachas *Newkcal* (Maçã e Canela e Frutos Vermelhos) e *Fruit & Fit* (Maçã e Canela e Frutos Vermelhos), conduzem à obtenção de bolachas com características diferentes, nomeadamente ao nível de textura. Entre as amostras analisadas foi comparada a força máxima exercida pela sonda do texturómetro durante a realização de testes de perfuração às bolachas (Figura 10 – gráfico A) e o número de picos contabilizados (Figura 10 – gráfico B) nos gráficos descritivos dos testes de realizados.

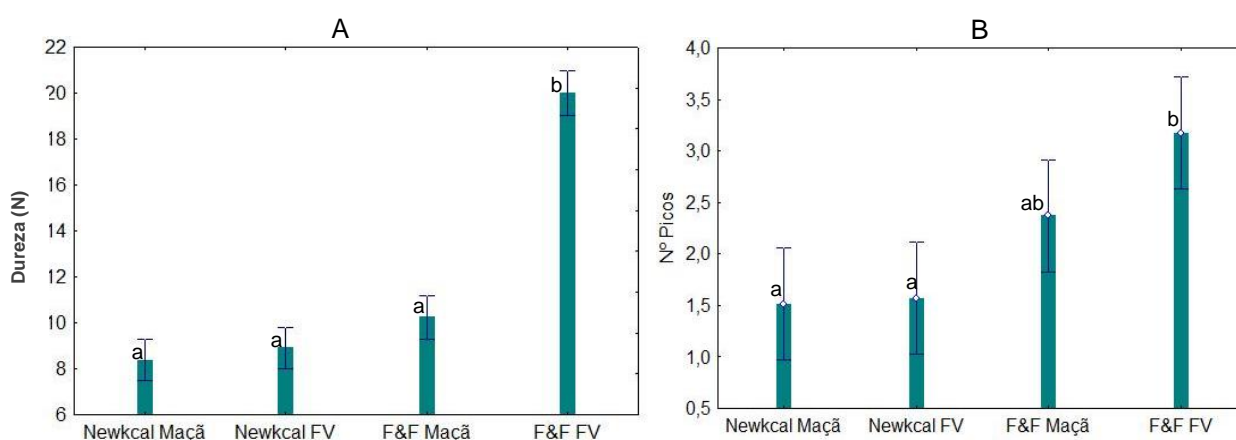


Figura 10: Textura das bolachas *Newkcal* (Maçã e Canela e FV) e *Fruit & Fit* (Maçã e Canela FV). As amostras cuja letra atribuída é a mesma não apresentam diferenças significativas para um intervalo de confiança de 95% (Unequal N HSD).

Analisando os gráficos apresentados da Figura 10, torna-se evidente a maior dureza da bolacha *Fruit & Fit Frutos Vermelhos (F&F FV)*, expressa pelo maior valor médio de força máxima exercida pela sonda durante os testes de perfuração efetuados, bem como a presença de uma textura mais porosa nesta bolacha, traduzida pelo maior número de picos observados. Estatisticamente concluiu-se que esta bolacha é a única que possui uma dureza diferente das restantes em estudo e, neste caso, significativamente superior.

Podem ser referidas diferenças entre o processamento das bolachas *Newkcal* e *F&F* que poderiam justificar a maior dureza observada nas últimas: os mantos de massa da bolacha *F&F* possuem o dobro da espessura dos da bolacha *Newkcal* (Fig. 11 e 12), incorporação de passas apenas nas bolachas *F&F* e incorporação de uma geleia nestas bolachas cuja dureza é superior à da geleia utilizada no fabrico de *Newkcal* (Tabela 6). Estes factos poderiam ter influenciado a textura da bolacha *F&F*, no entanto, como observado na Figura 10 (gráfico A), apenas a *F&F FV* possui uma dureza significativamente superior às restantes, inclusivamente superior à *F&F Maçã e Canela*, concluindo-se assim que estes mesmos fatores parecem não ser decisivos na textura destas bolachas.

Segundo Sumnu & Sahin (2008), estudos foram realizados concluindo-se que a maltodextrina, ingrediente utilizado aquando da formulação da massa *Fruit & Fit*, contribui para o aumento da firmeza do produto final. No entanto, este constituinte é usado em quantidades iguais em ambas as bolachas *F&F*, pelo que este facto também não justifica a diferença de durezas encontrada entre estas bolachas. Também a maior velocidade a que giram as pás da amassadeira durante o fabrico da massa *F&F* tende a aumentar a dureza da mesma, uma vez que uma maior quantidade de ar tende a ser incorporado na mistura, formando mais alvéolos de ar e desenvolvendo e fortalecendo a rede de glúten (Cauvian & Young, 2006). No entanto, a utilização de metabissulfito de sódio na formulação desta massa enfraquece a mesma, aumentando a sua extensibilidade (Sumnu & Sahin, 2008), pelo que a possível maior força da massa, originada pela maior velocidade de rotação das pás da amassadeira, é limitada pelo uso deste agente redutor.

Assim sendo, pode-se concluir que a diferença entre a textura da bolacha *F&F FV* e *Maçã e Canela* esteja relacionada com a única desigualdade observável durante a formulação destas duas massas: as diferentes proporções da farinha espuma e farinha B2 utilizadas. Note-se que na massa *Newkcal* apenas farinha de trigo espuma é utilizada. Como referido na Parte II - tópico 3.1, a farinha B2 possui um maior teor proteico, formulando uma massa mais forte e resistente, de menor extensibilidade. Este facto levará, portanto, à formação de bolachas de maior dureza, tal como se veio a comprovar pelas análises de textura realizadas às bolachas *F&F* e *Newkcal*. A massa da *F&F FV* é formulada utilizando 50% de cada uma destas farinhas. Já a massa *F&F de Maçã e Canela* é constituída por 70% de farinha espuma e 30% de farinha B2. Torna-se assim compreensível a maior dureza da bolacha com sabor a frutos vermelhos.

O número de picos observados durante os testes de perfuração indicou uma semelhança de textura entre as bolachas *Newkcal Maçã e Canela*, *Newkcal Frutos Vermelhos* e *F&F Maçã e Canela*, podendo a estrutura interna destas bolachas ser considerada idêntica. O número de picos observados na bolacha de *F&F FV* é apenas estatisticamente idêntico ao observado na bolacha *F&F Maçã e Canela*, pelo que a estrutura interna de ambas pode também ser considerada semelhante. Segundo Manley (1998c), durante a calibração do manto de massa, grande parte do ar aí incorporado e existente é expelido. Deste modo, quanto maior a compactação do manto, ou seja, quanto mais fino o manto for, mais ar será expelido do interior do mesmo e uma maior quantidade de alvéolos de ar são eliminados, o que justifica as bolachas *F&F* possuírem, em média, um número de picos superior às bolachas *Newkcal*. Os

mantos de massa *Newkcal* são calibrados individualmente com o objetivo de atingirem metade da espessura dos mantos de *F&F* (1mm). Já os mantos de massa *F&F* são calibrados conjuntamente, pelo que a força de compactação exercida pelos cilindros calibradores é menor. A abertura entre os cilindros do último calibrador (superior e inferior) atravessada pelo manto de massa *F&F* é cerca de 2,5 mm, sendo que esta abertura é reduzida para 0,5 mm quando atravessada pelo manto de massa *Newkcal*. É assim perceptível que a agressão sofrida pela massa desta última bolacha é bastante superior, conduzindo a uma maior expulsão do ar aí existente.

Parece possível relacionar a porosidade da estrutura interna da bolacha com o número de picos observados em cada gráfico representativo de cada teste de perfuração efetuado. Facilmente é perceptível que numa estrutura porosa a sonda do texturómetro se depara intervaladamente com massa e ar, pelo que cada reencontro entre a sonda e a massa traduz-se num pico no gráfico mencionado. As Figuras 11 e 12 ilustram a secção transversal das bolachas *Newkcal* e *Fruit & Fit*, sendo possível observar a estrutura interna das mesmas.



Figura 11: Secção transversal bolacha *Newkcal* Figura 12: Secção transversal bolacha *F&F*

A estrutura oca da bolacha *Newkcal* (Figura 11) justifica o baixo número de picos observados nestas bolachas, uma vez que a sonda tende a perfurar a massa uma única vez, deparando-se em seguida com ar. Já a perfuração da bolacha *Fruit & Fit* é marcada por sucessivos “encontros” entre a sonda e a massa da bolacha, sendo que a sonda atravessa diversos alvéolos de ar durante o seu percurso. Note-se que a existência de uma estrutura oca na bolacha *Newkcal* deve-se ao facto dos mantos não serem conjuntamente calibrados, pelo que não se encontram verdadeiramente unidos e pegados. Deste modo, o gás formado durante a etapa de cozedura tem uma maior liberdade para se expandir e aumentar o volume da bolacha. Para esta maior liberdade e facilidade contribui também o facto de os mantos de massa desta bolacha terem uma dureza inferior aos da bolacha *F&F*. A estratificação da estrutura da bolacha *F&F* poderá ser devida à expansão do gás, durante a cozedura, incorporado nos diversos pequenos alvéolos presentes na massa.

4 - Scale up do projeto *Newkcal* – ensaios de produção à escala industrial

Os ensaios de produção à escala industrial visaram atingir o fabrico em contínuo da bolacha *Newkcal* conforme as especificações pré-definidas para o mesmo produto à escala piloto (Tabela 9). Para tal pretendeu-se ajustar e calibrar os diferentes equipamentos envolvidos no processo de produção da bolacha *Newkcal*, definindo parâmetros de trabalho (valores padrão) para os mesmos. Estes são estabelecidos recorrendo aos parâmetros empregados durante a produção à escala piloto (guias de apoio), ao conhecimento empírico da equipa presente aquando dos ensaios de produção e a métodos iterativos.

Tabela 9: Especificações pré-definidas à escala piloto para bolacha *Newkcal*

Produto final	
Peso bolacha	12,3 g
Percentagem de geleia	41%
Peso geleia	5,04 g
Peso massa*	7,26 g
Comprimento bolacha	90 mm
Largura bolacha	36 mm
Espessura bolacha	9 mm

*Considerando que 41% do peso total do produto corresponde ao peso da geleia e 59% ao peso da massa. Considerou-se insignificante o peso da cobertura da bolacha e o peso da solução com a qual esta é banhada.

O ajuste do processo de produção da nova bolacha à escala industrial foi faseado, tendo-se pretendido estabilizar individualmente cada uma das etapas do processo de fabrico. Apenas após a estabilização de uma dada etapa segue-se o ajustamento da etapa seguinte.

O processo de transferência do projeto *Newkcal* para a escala industrial requereu a presença e envolvimento de responsáveis de diversos departamentos. As suas funções gerais são descritas na Tabela 10.

Tabela 10: Funções da equipa responsável pelo *scale up* do projeto *Newkcal*

Departamento	Funções
Engenharia Central	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento e planificação do projeto ao nível industrial; Dimensionamento dos equipamentos necessários à produção da bolacha; Procura de empresas fornecedoras que possibilitem a aquisição dos novos equipamentos necessários e escolha pela melhor opção.
Pesquisa e Desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> Observação do processo de produção da bolacha à escala piloto, com vista a replicar o mesmo à escala industrial sem comprometer as especificações pretendidas para o produto; Definição das especificações finais do produto.
Pesquisa e Desenvolvimento - Embalagem	<ul style="list-style-type: none"> Escolha dos materiais de embalagem a utilizar, garantindo o tempo de vida útil pretendido para o produto; Definição das dimensões corretas para o material de embalagem.
Produção	<ul style="list-style-type: none"> Acompanhamento e colaboração nos ensaios de produção; Orientação contínua, após a finalização dos ensaios de produção, do processamento da bolacha com vista à comercialização da mesma.
Técnicos enviados pelas empresas fornecedoras dos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> Ajuda no processo de ajustamento dos equipamentos; Realização de formações acerca do funcionamento dos equipamentos, presenciadas pela equipa responsável pela manutenção de equipamentos da fábrica e pelo responsável pelo departamento de produção,

4.1 - Amassadura

A otimização da etapa de amassadura decorreu em seis passos, sendo que numa primeira fase o objetivo centrou-se em optar por uma das duas receitas formuladas e

praticadas à escala piloto. Em seguida pequenos ajustes na receita foram realizados, a fim de otimizá-la para a produção da bolacha *Newkcal* à escala industrial.

1º passo: Transferência para a escala industrial da exata receita utilizada nos ensaios à escala piloto. Tal como é demonstrado pela Tabela 11, duas formulações da massa *Newkcal* foram postas em prática, sendo que ambas foram bem-sucedidas. Assim sendo, numa primeira fase ambas as receitas foram experimentadas numa tentativa de encontrar a mais viável à escala industrial.

Tabela 11: Duas possíveis formulações da massa *Newkcal*

Número de fases/ tempo batadura	Matéria-prima	Número de fases/ tempo batadura
Formulação 1		Formulação 2
1ª fase – 1 min (velocidade lenta)	Óleo de palma	1ª fase – 1 min (velocidade lenta)
	Açúcar granulado	
	Xarope de Glucose-frutose (20%)	
	Sal	
	Lactosoro	
2ª fase – 1min (velocidade lenta)	Amido de milho pré-gelatinizado	2ª fase – 9 min (velocidade lenta)
	Carbonato de cálcio	
	Protease	
	Bicarbonato de sódio	
	Bicarbonato de amónio	
	Água para dissolver amónio	
	Farinha de Espuma	
3ª fase – 8 min (velocidade lenta)	Água quente	

Problema: A formulação 2 demonstrou-se inviável devido à formação de uma grande quantidade de grumos nas massas elaboradas, evidenciando uma deficiente homogeneização da mesma. O mesmo ocorre com a formulação 1 sendo, no entanto, a quantidade de grumos formada bastante inferior.

Possível causa: Segundo Sumnu & Sahin (2008), o lactosoro é um ingrediente de fácil e rápida re-hidratação e geralmente, devido sobretudo à presença da lactose, bastante higroscópico, com tendência para aglomerar-se (Dairy Export Council,2009). O amido pré-gelatinizado, também de fácil e rápida re-hidratação, possui um elevado poder espessante que aumenta a viscosidade da massa preparada (Sumnu & Sahin, 2008). Deste modo, estes ingredientes, devido à sua rápida absorção de água, têm tendência para a formação de grumos.

Solução adotada: Colocação do amido e do lactosoro na amassadeira apenas após a deposição da farinha na mesma e mistura destes ingredientes antes da junção da água. A farinha é o ingrediente presente em maior quantidade, sendo menos higroscópico que o amido pré-gelatinizado e o lactosoro, pelo que se pretende misturar estes três ingredientes de modo

homogéneo, a fim de evitar a absorção brusca de água por parte dos dois últimos. A Tabela 12 ilustra a fórmula final de fabrico da massa *Newkcal*.

Tabela 12: Formulação final da massa *Newkcal* à escala industrial

Número de fases/ tempo batadura	Matéria-prima
1ª fase – 1 min (velocidade lenta)	Óleo de palma
	Açúcar granulado
	Xarope de Glucose-frutose (20%)
	Sal
2ª fase – 1 min (velocidade lenta)	Carbonato de cálcio
	Protease
	Bicarbonato de sódio
	Bicarbonato de amónio
	Água para dissolver bicarbonato de amónio
	Farinha de Espuma
	Amido de milho pré-gelatinizado
Lactosoro	
3ª fase – 8 min (velocidade lenta)	Água quente

2º passo: Medição do fluxo de energia fornecida, pelo motor da amassadeira, à massa.

Problema: A medição da energia fornecida em função do tempo decorrido, durante a mistura de uma massa *Newkcal*, nunca atinge um período de estabilidade, o que se traduz numa não homogeneização da massa. No início da amassadura a energia fornecida à massa tende a aumentar devido ao desenvolvimento de glúten, no entanto, quando a massa é totalmente homogeneizada a sua resistência à mistura torna-se constante durante dado período de tempo, levando a um fornecimento de energia, por parte do motor da amassadeira à massa, também ele constante. Note-se que a mistura excessiva da massa proporciona a degradação da rede glúten e, como tal, a perda de força da massa (Cauvian e Young, 2006).

Possíveis causas:

- As pás da amassadeira podem não ser as adequadas para o tipo de massa a amassar. O tipo de pás escolhidas para o equipamento depende sobretudo da viscosidade que a massa atinge durante a amassadura (Doran, 1995). As pás presentes na amassadeira em questão são helicoidais o que, de acordo com Doran (1995), permite uma eficiente homogeneização de misturas de alta viscosidade (máximo de 10^4 Pa.s) (Holland, 1966).
- O procedimento da amassadura poderá não estar devidamente ajustado. A 3ª fase da amassadura poderá ter de ocorrer a maior velocidade durante menos tempo, de modo a alcançar uma melhor homogeneização sem, contudo, promover o desenvolvimento de glúten. Segundo Cauvian e Young (2006), maiores velocidades de rotação das pás da amassadeira, bem como maiores tempos de amassadura proporcionam uma maior transferência de energia para a massa, uniformizando toda a mistura. Note-se ainda que quanto maior o tempo de amassadura, maior será a incorporação de ar na massa, o que leva a um maior desenvolvimento da rede de glúten (Manley, 1998b).

- A quantidade de água depositada na formulação da massa pode ser escassa. Cauvian & Young (2006) afirmam que a viscosidade da massa aumenta com a redução da quantidade de água adicionada, requerendo maiores tempos de mistura. A adição de mais água tornará a massa mais maleável, facilitando esta operação unitária, uma vez que será necessário um menor fornecimento de energia para garantir a homogeneização da massa.
- A quantidade total de cada massa elaborada é demasiado excessiva, não permitindo uma mistura uniforme da mesma. De acordo com Hui (2006), a transferência de energia para a massa é fortemente afetada pela quantidade de ingredientes presentes.

Solução adotada: Optou-se por uma solução que não acarreta riscos de alteração das características finais da massa: reduziu-se a quantidade de ingredientes colocados na amassadeira, passando-se de 384 kg para 350 kg, sem alteração da receita. A mudança de pás da amassadeira seria sempre a última solução a ser empregue por questões financeiras e logísticas. A solução encontrada mostrou-se eficaz, melhorando a homogeneização da massa.

3º passo: Reformulação da primeira massa do dia a ser produzida.

Problema: A primeira massa produzida em cada dia apresenta-se sempre mais seca e com uma consistência mais dura que as restantes produzidas nesse mesmo dia. Esta mesma massa torna o seu processo de calibração muito mais complicado, uma vez que é quebradiça e menos extensível. A variação na consistência das massas obriga a alterações dos parâmetros de trabalho estipulados para a etapa de calibração e afeta a forma do produto final.

Possíveis causas:

- Utilização, devido a erro humano, de uma farinha cuja absorção de água é maior que a especificada.
- Descarregamento de uma menor quantidade de água para a amassadeira do que aquela estipulada pela receita da bolacha.
- A temperatura final da massa não está de acordo com a pretendida.

O aumento da quantidade de água adicionada durante a formulação da massa e da temperatura final alcançada pela mesma traduz-se na obtenção de uma massa mais maleável, extensível e mole (Manley, 1996; Cauvian & Young, 2006). O inverso torna, portanto, a massa seca, dura e menos extensível, dificultando o processo de calibração da mesma.

Solução adotada: Dado os problemas observados surgirem diariamente apenas na primeira massa fabricada em cada dia, parece improvável a frequente deposição incorreta da quantidade de água na amassadeira. Também os lotes de farinha utilizados eram os adequados e mostraram que esta matéria-prima estava conforme as especificações definidas para a mesma. Confirmou-se, portanto, que o problema se devia à reduzida temperatura atingida por estas massas, cerca de 35 °C, ao invés de se encontrar no intervalo estabelecido (38 a 43°C). Esta situação pode ser resultado de um sub-aquecimento da água destinada à

amassadeira, por parte das caldeiras. Optou-se pela utilização de uma nova receita para a formulação destas massas (primeira massa fabricada em cada dia): mais 3 litros de água quente do que aqueles estipulados pela receita original e 10 minutos de mistura da massa na 3ª fase ao invés de apenas 8 minutos.

4º passo: Otimização da dissolução do bicarbonato de amónio.

Problema: Imediatamente após o início da cozedura, ainda na primeira zona do forno, ocorre a formação de inúmeras bolhas nas bolachas.

Possíveis causas:

- Agentes levedantes concentrados em zonas específicas proporcionam nesses mesmos locais um aumento excessivo do volume da bolacha (bolhas). De acordo com Wade (1988), a utilização de agentes químicos levedantes deve ser feita com os mesmos em solução, alcançada, de forma a garantir a sua uniformização na massa.

Solução adotada: Dissolução do bicarbonato de amónio, antes da introdução deste na amassadeira, numa maior quantidade de água (4L de água em vez dos 2L iniciais).

5º passo: Tentativa de redução do a_w da massa.

Problema: A massa *Newkcal* possui um valor de a_w de 0,94. A empresa *Mondeléz*, por razões de segurança alimentar, possui políticas de limpeza regulares para equipamentos quando as massas produzidas apresentam um a_w superior a 0,85. Assim, pretendeu-se reduzir o a_w da massa *Newkcal* para um valor inferior ao mencionado, de modo a evitar as limpezas frequentes obrigatórias da linha de produção.

Soluções possíveis:

- Redução do teor de água incorporado na formulação da massa.
- Aumento do tempo de mistura na 3ª fase, de modo a tentar obter-se uma maior ligação da água aos restantes ingredientes aí colocados.
- Utilização de lecitina de soja como tentativa de estabelecer uma maior ligação entre a água e o óleo de palma. Sendo um emulsionante, a lecitina funciona como uma ponte entre estes dois líquidos imiscíveis, favorecendo a ligação entre estes (Cauvian & Toung, 2006).
- Utilização de levedura seca desativada (*Saccharomyces cerevisiae*), devido à elevada higroscopicidade da mesma (Hui, 2006). Note-se que estas leveduras não afetam as propriedades reológicas da massa obtida, pois não têm capacidade fermentativa (Hui, 2006).

Soluções experimentadas/ resultados obtidos:

- Redução da quantidade de água utilizada na formulação da massa em 1 e 2 litros e aumento do tempo de amassadura da 3ª fase em 1 minuto. A redução de uma maior quantidade de litros de água ou um maior aumento do tempo de amassadura não foram equacionados, uma vez que tal poderia levar à obtenção de uma massa final com uma

consistência bastante diferente da pretendida, dificultando a sua operação de calibração. As ações postas em prática não revelaram nenhum efeito significativo no a_w da massa.

- A utilização de 300 gramas de lecitina de soja, bem como de levedura seca desativada, durante a amassadura, também não influenciaram o a_w da massa.

Não foi, portanto, possível a redução do a_w da massa, pelo que ao fim de cada 3 turnos de produção da bolacha *Newkcal* toda a linha de produção deve ser limpa, com recurso a ar comprimido, a fim de expelir vestígios de massa seca que possam ter permanecido na mesma.

6º passo: Controlo da temperatura da massa.

Após amassada a massa deverá possuir uma temperatura entre 38 a 43°C, de modo a garantir que a consistência da mesma é favorável à sua calibração. Contudo, nomeadamente quando a deposição de água quente na amassadeira apresenta uma temperatura excessivamente elevada (superior a 50°C), a massa final obtida irá apresentar uma temperatura superior ao intervalo estipulado.

Problema: A temperatura elevada da massa torna-a muito maleável e elástica, dificultando o seu processo de calibração. Esta elasticidade traduz-se num encolhimento excessivo do manto de massa após o seu corte. Assim sendo, o produto final obtido terá um menor comprimento do que o pretendido (Manley. 1998b).

Soluções possíveis: Segundo Cauvian & Young (2006), a temperatura elevada da massa pode ser facilmente controlada com recurso a água fria, gelo ou ao arrefecimento da amassadeira encamisada através da passagem de água fria por entre o seu encamisamento. Assim sendo, foi estipulado um plano de atuação por fases que evita a obtenção sucessiva de massas com temperaturas acima do intervalo delimitado:

1º: Começa-se por substituir 5 dos litros de água quente utilizados no fabrico da massa por 5 litros de água da rede.

2º: Como segunda opção, esses mesmos 5 litros de água mencionados poderão ser de água fria (arrefecida pelo equipamento arrefecedor de água auxiliar à amassadeira).

3º: Por último, caso necessário, liga-se o arrefecedor de água conectando-o ao encamisamento da amassadeira.

A sequência do plano de atuação descrito visa a poupança de energia.

4.2 - Tempo de repouso

Nesta etapa foi necessário determinar qual a duração ideal do tempo de repouso que permite à massa atingir a textura requerida e ótima à sua calibração.

Procedeu-se à medição da dureza de uma mesma massa ao longo do tempo (Figura 13), de modo a perceber como é que esta propriedade varia em função do tempo de atuação das proteases. Verificou-se que a dureza da massa *Newkcal* ao longo do tempo decresce de um valor próximo de 700 gf para um valor próximo de 350 gf. Este decréscimo é superior nos primeiros 30 minutos de repouso. Após 90 minutos de repouso, a dureza da massa estabiliza. Este comportamento é justificado pela ação das proteases incorporadas na formulação da

massa, que quebraram ligações proteicas da rede de glúten, reduzindo a força do mesmo, tornando a massa mais extensível (Mathewson, 2000).

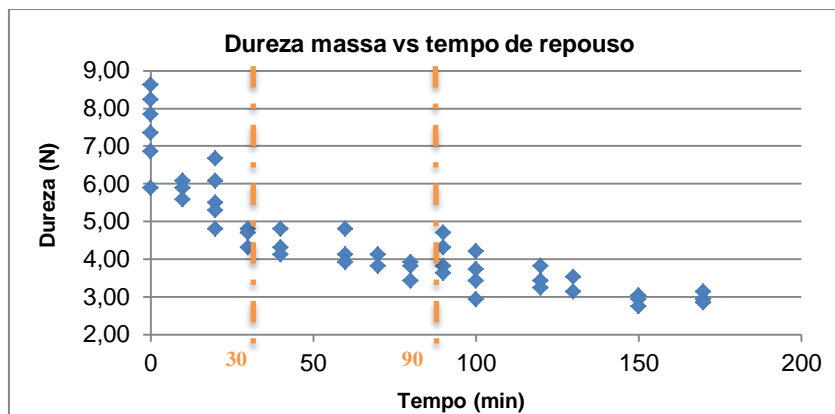


Figura 13: Variação da dureza da massa *Newkcal* em função do tempo

A verificação de qual a consistência adequada para a massa poder ser facilmente calibrada foi realizada através da calibração de massas com diferentes tempos de repouso. Concluiu-se em estabelecer como limite mínimo e máximo de tempo de repouso, 30 e 90 minutos, respectivamente. Justifica-se esta escolha pela insuficiente extensibilidade da massa e instabilidade de resultados, referentes à dureza da mesma, obtidos em tempos inferiores a 30 minutos e pela textura demasiado mole, pegajosa e extensível, dificultando o seu processo de calibração, após os 90 minutos de repouso. De acordo com Manley (1998b) e Wade (1988), 30 minutos são, efetivamente, o tempo tido como limite mínimo para uma atuação eficaz das proteases em massas desenvolvidas e semi-doces.

Será importante referir que o pH e a temperatura da massa são fatores condicionantes da atividade enzimática (Dendy & Dobraszczyk, 2001), no entanto, nesta receita em particular, o uso de água quente (50°C) favorece a ação destas enzimas, assim como o pH aproximadamente neutro da massa (Manley, 1998b).

4.3 - Calibração da massa

Toda a etapa de calibração foi ajustada a partir dos parâmetros definidos durante os ensaios à escala piloto. A obtenção de mantos de massa com 1 mm de espessura final foi um pré-requisito estipulado, pelo que o ajuste de toda a etapa visou atingir este objetivo. Esta espessura foi considerada ser aquela que garante a obtenção da espessura e peso final pretendido para a bolacha. Os principais parâmetros a serem controlados nesta etapa são: a velocidade dos cilindros dos calibradores, a velocidade das lonas de transporte e distância entre os cilindros de cada calibrador. O ajuste destes deve ser realizado garantindo que todos os calibradores têm capacidade para aceitar a massa que esteja a ser debitada pelo calibrador anterior (Almond, 1991). Também as lonas de transporte correspondentes a cada calibrador devem ter capacidade para aceitar a massa, independentemente da velocidade que esta esteja a ser aí depositada (Almond, 1991).

Os parâmetros dos equipamentos começaram por ser ajustados para uma velocidade de trabalho (velocidade de rotação dos motores responsáveis pelo funcionamento dos moldes de corte/gravação) de 6,4 r.p.m., para ambos os formatos de embalagem *Newkcal* (8 e 6) e ambos os sabores do produto final (Maçã e Canela e Frutos Vermelhos). Esta velocidade de trabalho garante a produção de 1075 bolachas/minuto, fluxo que, segundo as empresas fornecedoras do equipamento embalador, é facilmente embalado, permitindo também dar vazão às estimadas futuras encomendas do produto.

1º passo: Reajuste da velocidade de trabalho.

Problema: A velocidade de trabalho referida proporciona o sobre aquecimento dos motores responsáveis pelo transporte dos mantos de massa ao longo da etapa de calibração, conduzindo à paragem dos mesmos e, conseqüentemente, da produção da bolacha *Newkcal*.

Possível causa: A velocidade mencionada é demasiado reduzida, o que leva os motores a entrar em esforço e em sobre aquecimento, uma vez que os mesmos estão dimensionados para funcionarem a velocidades superiores.

Solução adotada: Aumento da velocidade de rotação dos motores responsáveis pelo funcionamento dos molde de corte para 7,4 r.p.m.. Esta solução traduz-se numa produção de 1243 bolachas /minuto e permitiu um funcionamento eficaz dos motores responsáveis pelo transporte dos mantos de massa, evitando o esforço e sobre aquecimento destes.

2º passo: Reajuste dos parâmetros de calibração, devido ao aumento da velocidade de trabalho.

A alteração da velocidade de trabalho é um fator crítico que condiciona toda a etapa de calibração (Sumnu & Sahin, 2008). O incremento desta traduz-se num aumento da velocidade das lonas de transporte de massa, que direcionam a massa até aos calibradores, pelo que os restantes parâmetros de controlo do processo tiveram de ser redefinidos. Para evitar uma acumulação de massa à entrada de cada calibrador e facilitar a sua passagem foi necessário, através de métodos iterativos, aumentar a velocidade dos cilindros dos calibradores e/ou aumentar a abertura existente entre os mesmos (exceto a abertura dos últimos calibradores, inferior e superior, garantindo sempre a espessura final dos mantos de 1 mm).

3º passo: Determinação do peso da bolacha em massa crua.

Foi necessário definir o peso da bolacha em massa crua, a fim de esta atingir, após cozedura, o peso especificado (12,3g). Assim, o peso da bolacha antes da cozedura foi determinado a partir do cálculo do *baking loss* da mesma. O *baking loss* é definido como a razão entre o peso da bolacha crua e o peso da bolacha cozida e é um fator representativo da massa que o produto perde durante a etapa de cozedura. Este é determinado a partir da receita da bolacha e do valor alvo de humidade pretendido para a mesma. As quantidades dos vários ingredientes necessários à produção de toda a bolacha (incluindo recheio, banho e cobertura) foram convertidas para base seca, a partir dos coeficientes secos de cada um dos ingredientes (valores tabelados). Foi posteriormente considerado que a soma destas quantidades de

ingredientes (base seca) corresponde a 93% do peso de uma bolacha, uma vez que esta possui 7% de humidade (valor alvo estabelecido para a humidade do produto final). Assim sendo, acrescentando-se os 7% de humidade ao peso total dos ingredientes em base seca, obteve-se o peso final total dos mesmos após a sua cozedura. A razão entre o peso da quantidade total dos ingredientes incorporados na receita da bolacha ainda por cozer e o peso dos mesmos ingredientes após a cozedura da bolacha corresponde ao *baking loss* do produto. A partir das proporções (valor percentual) em que cada ingrediente se encontra incorporado na receita global do produto e do seu respetivo *baking loss*, determina-se o peso da massa, geleia e banho/cobertura de uma bolacha crua. A Tabela 13 ilustra o resultado obtido, bem como a determinação do peso da bolacha em massa ainda crua.

Tabela 13: Especificações do produto antes da cozedura

Produto não cozido	
Baking loss	1,220
Peso bolacha (g)	15,007
Percentagem de massa (%)	64%
Percentagem de geleia (%)	34%
Percentagem de banho + cobertura (%)	2%
Peso massa (g)	9,9
Peso geleia (g)	5,1

4º passo: Nova alteração da velocidade de trabalho da linha de produção.

Problema: Constantes falhas do equipamento envolvido na etapa de embalagem do produto, que originam constantes paragens dos mesmos, atrasando toda a produção da bolacha *Newkcal*. No entanto, estes problemas ocorrem sobretudo durante a produção da bolacha *Newkcal* com o formato de embalagem 6.

Possível causa: Durante a produção do formato 6 a velocidade de funcionamento dos equipamentos envolvidos na etapa de embalamento é superior àquela utilizada durante a produção do formato 8. Esta diferença de velocidades é perceptível pois para embalar a mesma quantidade de produto por unidade de tempo, durante a produção de ambos os formatos, é necessário embalar uma maior quantidade de cartolinas durante a produção de formato 6, uma vez que cada cartolina encerra menos saquetas no seu interior. A excessiva velocidade de trabalho destes equipamentos conduz a uma menor eficiência dos mesmos. Os problemas mais frequentes, observados na diversa maquinaria envolvida na etapa de embalagem, serão discutidos na Parte II - tópico 4.13.

Solução adotada: Redução da velocidade de trabalho para 6,6 r.p.m.. Uma vez que esta redução poderia originar novamente os problemas de sobre aquecimento dos motores responsáveis pelo transporte dos mantos de massa, optou-se por reduzir consideravelmente a abertura entre os cilindros dos calibradores primários (inferior e superior). Tal obrigou a um aumento da velocidade das lonas de transporte da massa dos calibradores primários para os respetivos calibradores secundários pois, caso contrário, escassa quantidade de massa por unidade de tempo chegaria ao calibrador secundário, o que iria provocar a excessiva extensão

do manto de massa e a sua possível quebra. Os parâmetros dos restantes calibradores foram também redefinidos. O aumento da velocidade das lonas permitiu evitar o sobre aquecimento dos motores mencionados.

5º passo: Definição de diferentes velocidades de trabalho para a produção de cada formato *Newkcal*.

Foi dada a garantia, pelos fornecedores dos equipamentos envolvidos em toda etapa de embalagem do produto que, durante a produção de *Newkcal* formato 8, a velocidade dos mesmos poderia ser aumentada sem causar quaisquer obstáculos à embalagem do produto. Como tal, a velocidade de rotação dos motores responsáveis pelo funcionamento dos molde de corte/gravação (velocidade de trabalho) foi incrementada para 8,2 r.p.m.. Assim, a etapa de calibração foi novamente reajustada. Note-se que esta situação levou à estipulação de parâmetros de trabalho para esta etapa diferentes para a produção de ambos os formatos. Refira-se que, efetivamente, esta velocidade não prejudicou a embalagem do produto.

6º passo: Definição dos parâmetros de trabalho (valores padrão) e especificações para a massa crua.

Após o ajuste e estabilização da etapa, os parâmetros utilizados em cada equipamento são definidos e registados, podendo ser visualizados na Tabela 14. Estes valores padrão são aqueles que mostraram garantir um eficiente desempenho da calibração da massa *Newkcal*. O estabelecimento destes valores padrão é essencial para que sempre que se produza esta bolacha se possa ajustar sem dificuldades o processo de calibração (Manley, 1998e).

São também definidas especificações para o peso dos mantos de massa, inferior e superior, após cada calibração (Tabela 15). O alcance do peso final definido para o manto de massa é essencial para se obter o peso final determinado para a bolacha antes da cozedura (15,7 g). O peso estipulado para os mantos de massa, ao longo do seu processo de calibração, correspondem aos parâmetros de trabalho estabelecidos que, por sua vez, garantem a obtenção de uma espessura final dos mantos de 1 mm, tal como é pretendido. Também as especificações estipuladas para o peso dos mantos de massa são diferentes para os dois tipos de formatos do produto final, dada a diferente velocidade de trabalho a que ambos são fabricados

É importante referir que os parâmetros de trabalho definidos estão sujeitos a alterações sempre que decorra a calibração de uma massa cujas propriedades sejam ligeiramente diferentes daquelas para as quais os mesmos foram estabelecidos. São vários os fatores que podem alterar as propriedades físicas da massa: temperatura final muito elevada, o que origina uma massa pegajosa e mole; temperatura final reduzida, conduzindo à obtenção de uma massa seca e dura; descarregamento excessivo de macro-ingredientes. As alterações destes parâmetros devem, contudo, respeitar a espessura e peso final dos mantos a fim de garantir a obtenção de um produto final conforme o especificado.

Tabela 14: Parâmetros definidos para a calibração inferior e superior da bolacha *Newkcal* formato 6 e 8

Calibrador	Parâmetro	Formato 6		Formato 8	
		Manto Inferior	Manto Superior	Manto Inferior	Manto Superior
Primário	Espessura - cilindros superiores (mm)	6,6	8,8	6,8	10,42
	Espessura - cilindros inferiores (mm)	6,0	6,03	7,0	7,49
	Velocidade cilindros (m/min)	0,793	0,626	0,758	0,614
	Velocidade lona (m/min)	0,674	0,549	0,621	0,536
Secundário	Espessura (mm)	2,5	3,21	3,5	3,41
	Velocidade cilindros (m/min)	1,3	0,95	1,2	1,11
	Velocidade lona (m/min)	1,18	0,83	1,04	0,96
Terciário	Espessura (mm)	1,6	0,55	2	0,55
	Velocidade cilindros (m/min)	2,06	3,98	2,01	5,26
	Velocidade lona (m/min)	1,69	3,61	1,68	5,04
Quaternário	Espessura (mm)	0,58	-	0,42	
	Velocidade cilindros (m/min)	4,83		6	-
	Velocidade lona (m/min)	4,14		5,25	

Tabela 15: Especificações definidas para o peso dos mantos de massa *Newkcal*

Formato	Manto	1º calibrador	2º calibrador	3º calibrador	4º calibrador
Formato 6	Inferior	144 a 146 g	73 a 77 g	53 a 55 g	19 a 21 g
	Superior	144 a 146 g	73 a 77 g	19 a 21 g	-
Formato 8	Inferior	183 a 190 g	96 a 106 g	64 a 66 g	19 a 21 g
	Superior	183 a 190 g	96 a 106 g	19 a 21 g	-

As velocidades das lonas, bem como a velocidade dos cilindros dos calibradores, são superiores à medida que a massa vai sendo calibrada. À medida que a calibração ocorre o manto de massa fica mais longo, pelo que cada lona, após cada equipamento de calibração, deve estar a uma velocidade mais rápida que a anterior (Hui, 2006).

4.4 - Perfuração do manto de massa superior

O ajuste da etapa de perfuração do manto de massa superior foi realizado para a utilização de dois tipos de anéis constituintes do molde perfurador da massa, cuja superfície picotada é diferente. Ambos os anéis foram utilizados durante a produção à escala piloto, pelo que a escolha pelo mais eficiente apenas foi realizada durante os ensaios de produção da bolacha *Newkcal* à escala industrial.

1º passo: Perfuração do manto de massa utilizando os anéis do molde de perfuração testados à escala piloto.

Como mencionado os dois tipos de anéis possuem uma superfície constituída por pinos salientes de diferente configuração. Uma vez que durante a produção da bolacha à escala piloto não se concluiu qual o melhor anel a utilizar, a nível industrial optou-se pela utilização de um molde formado por 6 anéis de cada tipo (A e B), de modo a perceber qual o mais eficiente. Cada anel é responsável pela realização de duas filas perfuradas que, consequentemente correspondem a duas filas de bolachas formadas. A configuração dos pinos dos anéis referidos pode ser visualizada nas Figuras 14 e 15.

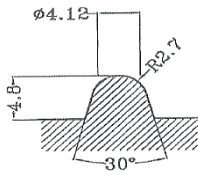


Figura 14: Configuração dos anéis A

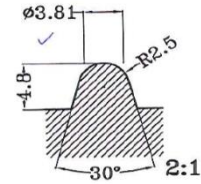


Figura 15: Configuração dos anéis B

Os pinos dos anéis A são de maior diâmetro e mais arredondados (R 2,7) e os pinos dos anéis B de menor diâmetro e mais pontiagudos (R 2,5).

2º passo: Ajuste do equipamento a fim de estabilizar a etapa de perfuração do manto superior.

Para estabilizar esta etapa foram ajustados os seguintes parâmetros: pressão exercida pelo molde de perfuração no manto de massa e na consequente lona de transporte, velocidades do molde e da lona que transporta a massa sob o molde, nivelção e centralização do molde e alinhamento dos anéis constituintes do molde.

A pressão exercida pelo molde pode ser facilmente controlada: fazendo-o descer ou subir aumenta-se ou diminui-se a pressão efetuada pelo mesmo no manto de massa. Por meio de tentativa e erro encontra-se a pressão suficiente para perfurar a massa, ou seja, a posição ideal a que o molde se deve encontrar. Esta posição é ajustada através de uma escala que não possui quaisquer unidades, sendo apenas uma forma de quantificar este parâmetro.

Esta etapa é bastante dependente das características da massa a perfurar. Uma massa que apresente uma temperatura reduzida, como já explicado, torna-a seca e dura, pelo que a sua perfuração será dificultada, sendo necessário uma maior pressão por parte do molde.

De acordo com Manley (1998c), e tal como se veio a confirmar durante os ensaios de produção da bolacha *Newkcal*, uma velocidade do molde demasiado rápida origina rasgos na massa durante a perfuração da mesma. Constatou-se também que uma velocidade da lona superior à velocidade do molde causava furos demasiado grandes e um arrastamento da massa, no local do furo, para trás.

Mecanicamente o molde foi nivelado, a fim de exercer uma pressão uniforme ao longo da largura do manto de massa. A centralização do molde, bem como o posicionamento correto dos seus anéis são essenciais para garantir uma uniformização da perfuração das bolachas *Newkcal*. Todos os anéis devem estar posicionados da mesma forma, de modo a que todas as bolachas sejam perfuradas no mesmo local. Além disso, a uniforme distribuição da perfuração nas bolachas evita a formação de bolhas (Figura 16).

A Figuras 17 e 18 ilustram esquematicamente os problemas ocorridos com mais frequência durante o ajuste da pressão do molde responsável pela perfuração do manto de massa.



Figura 16: Perfuração do manto descentralizada: bolacha com bolha

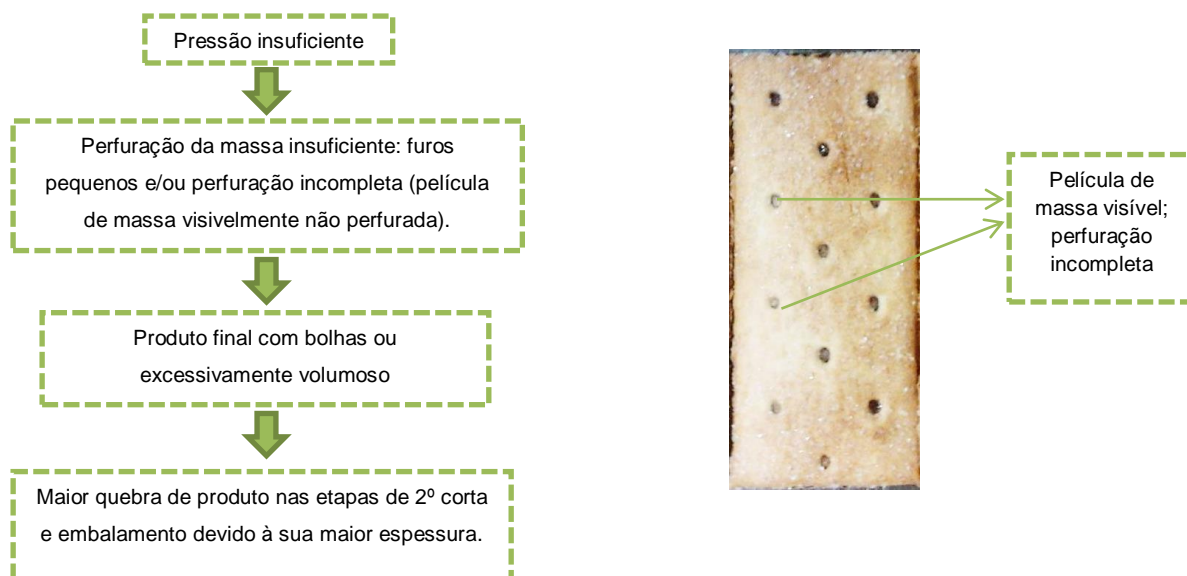
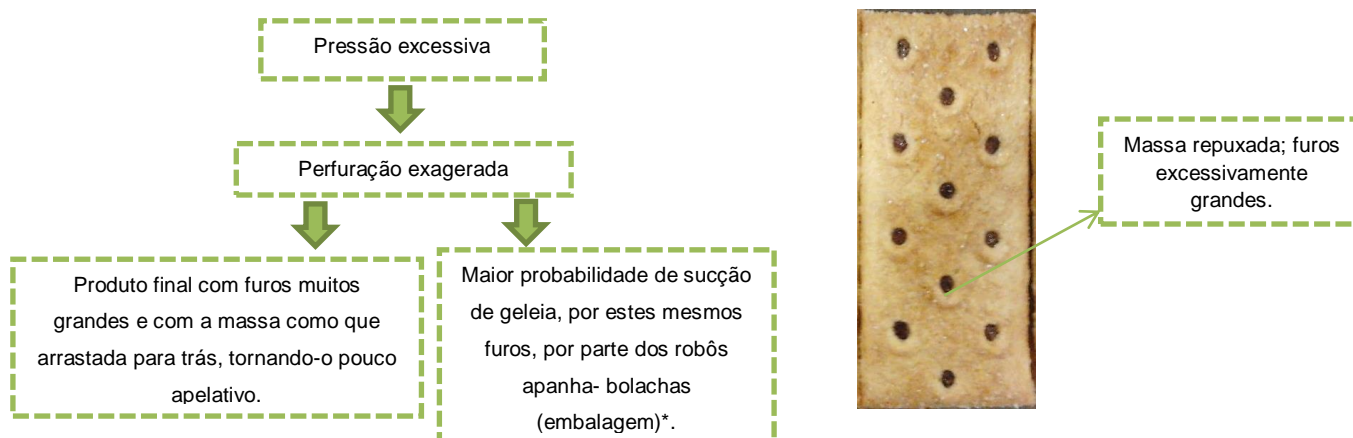


Figura 17: Esquema das consequências de uma perfuração insuficiente da massa e respectiva imagem de uma bolacha *Newkcal* com uma perfuração insuficiente



*Este problema surge na etapa de embalagem e será posteriormente referido e descrito.

Figura 18: Esquema das consequências de uma perfuração excessiva da massa e imagem de uma bolacha *Newkcal* com uma perfuração exagerada

É importante salientar que, ao longo dos ensaios de produção, durante os ajustes efetuados nesta etapa do processo de fabrico, observou-se uma melhor eficiência de perfuração da massa por parte dos anéis B.

3º passo: Substituição da lona responsável pelo transporte da massa sob o molde de perfuração da mesma.

Problema: Começou por observar-se que as extremidades da lona referida roçavam cada vez mais nos encaixes a que estava lateralmente acoplada. O atrito originado entre os encaixes e a lona teve como consequência o rasgamento da mesma.

Possível causa: Observou-se que o repentino atrito mencionado se deveu a um aumento da largura da lona. Tal poderia estar relacionado com a excessiva pressão exercida pelo molde de perfuração na massa e, conseqüentemente, na lona. Eram notórias as marcas causadas pelos pinos na superfície da lona.

Solução adotada: Aquisição de uma nova lona idêntica àquela já existente na linha de produção e de 3 novos pares de anéis cujos pinos possuem diferentes configurações. Foi aconselhado pela empresa fornecedora da lona adquirida a utilização do molde de perfuração numa posição de 32 valores, a fim de evitar a degradação da lona. É de salientar que até esse momento a posição utilizada rondava os 43 valores. Assumindo-se como impossível a obtenção de uma perfuração eficiente utilizando os anéis já existentes na unidade fabril (A e B) a uma posição do molde de 32 valores, optou-se pela aquisição de anéis com configurações diferentes que visam o alcance deste mesmo objetivo. A configuração dos pinos dos novos anéis adquiridos é ilustrada pela Figuras 19.

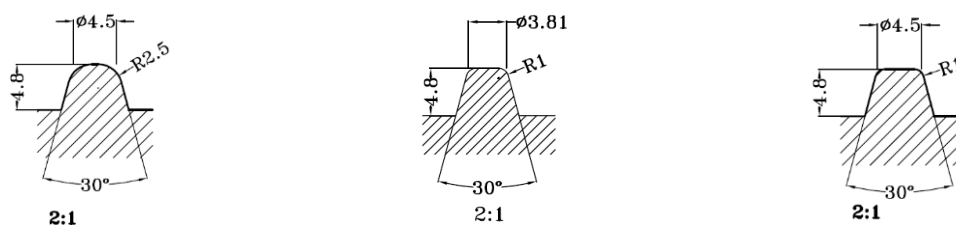


Figura 19: Configuração dos anéis C, D e E (da esquerda para a direita)

Os anéis C são idênticos aos anéis B, já utilizados na unidade industrial, possuindo apenas um maior diâmetro. Já os anéis D e E são similares entre si, variando também só na sua dimensão. Os anéis D possuem o mesmo diâmetro que os anéis B e os anéis E o mesmo diâmetro que os C. Ao invés de serem arredondados/pontiagudos como os restantes, os anéis D e E detêm um acabamento completamente reto.

Por meio de tentativa e erro a eficiência dos novos anéis foi testada reduzindo-se gradualmente a pressão efetuada pelos mesmos. Estas reduções foram acompanhadas de ajustes de outros parâmetros como a velocidade do molde e da lona de transporte, com vista a garantir sempre a eficiente perfuração do manto. No anexo III, podem ser visualizadas fotos do produto final cujo manto de massa foi perfurado utilizando diferentes pressões, sendo que para cada pressão distinguem-se as diferenças da utilização dos vários anéis.

Os anéis B acabaram por ser aqueles que mostraram uma maior eficiência a perfurar a massa, utilizando a posição do molde de 32 valores. O facto de estes anéis serem os mais pontiagudos e de menor diâmetro a serem testados proporcionou uma melhor perfuração da massa, durante a realização de reduzidas pressões por parte do molde. Apesar dos furos provocados pelos mesmos serem de pequenas dimensões, ao utilizar-se uma posição do molde de 32 valores, não foi detetado a obtenção de um produto final com bolhas. Assim sendo, a escolha por estes anéis foi evidente, concluindo-se que a compra de novos anéis foi desnecessária.

4º passo: Definição final dos parâmetros de trabalho.

Os parâmetros finais de trabalho foram definidos para cada formato de produção *Newkcal*. Os valores padrão definidos para esta etapa são apresentados na Tabela 16 e foram estipulados para a utilização dos anéis B, visto terem sido estes a mostrar uma maior eficiência de perfuração.

Tabela 16: Parâmetros de trabalho definidos para a etapa de perfuração do manto de massa

	Velocidade molde (m/min)	Velocidade lona (m/min)	Posição
Newkcal Formato 6	4,74	4,65	32
Newkcal Formato 8	5,32	5,24	32

4.5 - Deposição de geleia

A otimização da etapa de deposição de geleia sobre o manto de massa inferior passou pelo ajuste dos parâmetros de trabalho da máquina depositadora desta matéria-prima. O surgimento de problemas, durante os ensaios de produção, relacionados com as características da própria geleia foi o que mais condicionou a estabilização desta etapa.

1º passo: Ajuste dos parâmetros de trabalho.

O equipamento depositador da geleia foi ajustado, por meio de métodos iterativos, de modo a depositar a quantidade pretendida de recheio (Tabela 13). Os parâmetros ajustados foram a pressão de alimentação da geleia (pressão que transfere a geleia da máquina de enchimento para o cabeçal) e a velocidade de deposição da mesma sobre o manto de massa (Tabela 17). Este último parâmetro é expresso em percentagem, sendo 100% a velocidade máxima com a qual a geleia pode ser expelida pelo equipamento. O ajuste destes parâmetros possibilita o fácil controlo da quantidade de geleia depositada sobre o manto de massa por unidade de tempo, controlando-se assim a massa (peso) da bolacha antes da sua cozedura.

Os parâmetros mencionados foram ajustados gradualmente, uma vez que sempre que a velocidade de trabalho da linha de produção era alterada também estes parâmetros sofriam variações no mesmo sentido.

Tabela 17: Parâmetros de trabalho definidos para a deposição de geleia

Velocidade de deposição da geleia (%)		Pressão de alimentação
Newkcal formato 8	Newkcal formato 6	4 bares
9,3%	8,5%	

2º passo: Uniformização da geleia na bolacha.

Problema: Deposição descontínua de geleia devido à existência de falhas e entupimentos que quebram a continuidade das filas de geleia expelidas pelo equipamento.

Desde logo constataram-se entupimentos frequentes nas bocas injetoras de geleia e a existência de uma falha que quebrava a continuidade das filas de geleia, conduzindo à obtenção de um produto final de massa (peso) reduzida e deformado e, portanto, não conforme

(Figura 20). Uma vez deformado, a bolacha torna-se mais propícia à quebra durante a etapa de segundo corte. A falha de geleia referida ocorria sempre com o mesmo intervalo de tempo.

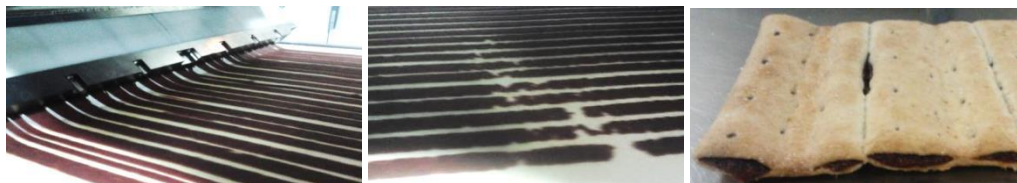


Figura 20: Entupimentos de geleia (à esquerda), falha cíclica da geleia (meio) e bolacha com falha de geleia (à direita)

Possíveis causas:

- A existência de pedaços sólidos constituintes da geleia: a origem dos entupimentos parece estar diretamente relacionada com as porções sólidas encontradas no recheio (pedaços de maçã constituintes da geleia de maçã e sementes de framboesa/morango constituintes da geleia de frutos vermelhos).
- Problemas no equipamento: a existência de uma falha de geleia que ocorre sempre com o mesmo intervalo de tempo leva a questionar a existência de problemas no funcionamento da maquinaria.
- Características reológicas da geleia: A viscosidade da geleia poderá não ser a adequada, ou não estar de acordo com as especificações, dificultando a sua deposição.

Soluções adotadas:

- Numa primeira tentativa, os parâmetros de trabalho do equipamento foram ajustados de modo a inibir o mais possível as falhas e entupimentos de geleia, sendo que os valores referenciados na Tabela 17 foram aqueles que demonstraram uma melhor eficiência no cumprimento deste objetivo.
- Aquisição de filtros com poros de dimensão inferior ao de origem (parte constituinte do equipamento depositador de geleia). O filtro existente no equipamento possuía poros com 4 mm de diâmetro, pelo que foram adquiridos dois filtros com poros de 3 e 2 mm de diâmetro. Os entupimentos foram significativamente reduzidos com a utilização do primeiro filtro. O segundo filtro constatou-se ser de impossível utilização pois requeria a execução, por parte do equipamento, de uma pressão de alimentação de geleia demasiado elevada que colocava em perigo o funcionamento do mesmo.
- Foi exigido à empresa produtora das geleias que melhorasse a etapa de filtração do seu processo de produção, a fim de ser garantido apenas a presença de pedaços de maçã e sementes muito mais pequenos no seu produto final, diminuindo significativamente o número de entupimentos ocorridos durante a deposição da geleia sobre o manto de massa *Newkcal*.
- Aquisição de um novo sistema interno para o cabeçal (equipamento para o qual é transferida a geleia, pela máquina de enchimento, e que divide o fluxo desta matéria prima pelas vinte e quatro bocas injetoras aí existentes), por aconselhamento da empresa

fornecedora do equipamento depositador de geleia. O sistema de origem é constituído por inúmeras peças, de maior e menor dimensão, que são unidas através de barras cilíndricas de aço, tal como ilustra a Figura 21. No novo sistema, a grande diferença encontra-se no posicionamento destas barras que atravessam

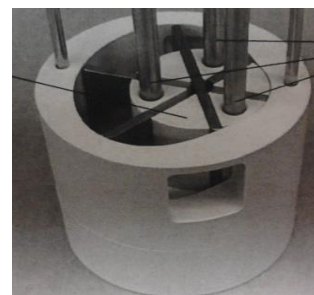


Figura 21: Peças constituintes do cabeçal da geleia – sistema de origem

apenas as peças de maior dimensão. Assim sendo, as barras de aço deixam de contactar diretamente com a geleia o que, segundo a empresa fornecedora do equipamento depositador, facilitaria o percurso desta matéria-prima, evitando a existência de falhas durante a deposição da mesma. Apesar das expectativas, foi impossível utilizar o novo sistema adquirido, uma vez que o seu uso provocava uma deposição do recheio bastante irregular e instável.

- Aquisição de bocas injetoras com um comprimento de 34 mm, possuindo as de origem 36 mm. Partiu-se do princípio com um menor comprimento das bocas injetoras, a pressão exercida ao bombear a geleia seria maior e suficiente para depositar a mesma de uma forma contínua e uniforme, evitando-se a ocorrência de falhas. No entanto, a pressão necessária para utilizar as novas bocas injetoras mostrou-se excessiva, colocando em perigo o funcionamento de toda maquinaria.

- Todas as fichas técnicas, enviadas pelo respetivo fornecedor, de cada lote de geleia foram averiguadas, de modo a verificar o cumprimento de todas as especificações por parte desta matéria-prima. Em alguns lotes foram detetados um teor de °brix superior (78°brix) ao especificado (77 °brix é o limite máximo estabelecido) (Tabela 18), o que se traduz numa geleia mais viscosa, dificultando a sua deposição sobre a massa. A empresa produtora desta matéria-prima foi devidamente notificada, a fim de evitar repetições do sucedido.

Tabela 18: Especificações das geleias *Newkcal*

Geleia <i>Newkcal</i>	°Brix			a _w			Textura (Testes de extrusão - N)			Espalhamento (mm)		
	Mín.	Alvo	Máx.	Mín.	Alvo	Máx.	Mín.	Alvo	Máx.	Mín.	Alvo	Máx.
Maçã e Canela	75	76	77	0,64	0,6	0,68	35	65	100	35	45	55
Frutos Vermelhos	75	76	77	0,62	0,65	0,68	35	65	100	47	-	55

3º passo: Fixação do cabeçal (equipamento divisor do fluxo de geleia).

Problemas: O cabeçal do equipamento depositador da geleia era bastante suscetível ao deslocamento. Quando este se desloca as bocas injetoras de geleia ficam posicionadas incorretamente, pelo que as filas de geleia são depositadas na massa de forma desalinhada e incorreta. As filas de geleia devem ser depositadas de forma a ficarem centradas com o emolde de corte longitudinal do manto de massa. O corte longitudinal deve ser feito por entre as filas de geleia, de modo a que as mesmas fiquem centradas nas bolachas formadas. A realização do corte longitudinal sobre as filas de geleia conduz à formação de bolachas “abertas”, uma

vez que a geleia impede a união dos dois mantos de massa, que tendem a afastar-se um do outro durante a cozedura da bolacha. Nestes casos, a geleia tende expandir-se para fora da bolacha “aberta”, agregando-se à bolacha vizinha, o que origina a quebra destas mesmas bolachas durante a etapa de segundo corte (Figura 22).

Soluções adotadas: Implementação de encaixes, em aço, aparafusados ao chão, que prendem o cabeçal numa posição fixa.



Figura 22: Bolacha partida, após a etapa do 2º corte (à esquerda) e bolacha “aberta” (à direita)

4º passo: Resolução do “efeito barco” das bolachas.

Problema: As bolachas que se encontram nas extremidades da cinta do forno surgem côncavas (efeito barco) no final da cozedura (Figura 23), uma



Figura 23: Bolachas côncavas

vez que estas são submetidas a uma maior transferência de calor que as restantes. A discussão aprofundada deste problema será realizada na Parte II - tópico 4.11.

Solução experimentada: Com recurso a uma seringa, foi manualmente depositada geleia nas bolachas referidas, antes do manto de massa superior se sobrepor ao inferior. A geleia foi colocada na lateral da bolacha que se encontra mais próxima da extremidade da cinta do forno. As bolachas obtidas após a utilização deste método possuíam uma forma significativamente mais reta e uma massa (peso), claro, superior às restantes. A pressão exercida pela geleia na massa das bolachas pode ter sido o fator que impediu as mesmas de se tornarem côncavas. Esta experiência foi apenas um teste, no entanto, uma vez que o produto côncavo continua a ser distribuído para o mercado, dado o problema ainda não ter sido totalmente solucionado, tal como será referido posteriormente no presente trabalho, a solução poderá passar pelo aumento da quantidade de geleia nestas bolachas.

5º passo: Redefinição das especificações da geleia.

Problema: Excessivo espalhamento da geleia, durante a cozedura das bolachas.

Para além dos entupimentos e falhas na deposição de geleia, surge um novo problema com esta matéria-prima. Alguns lotes de geleia de maçã e canela revelaram-se problemáticos, na medida em que este recheio, durante a etapa de cozedura, sofria um espalhamento/escoamento excessivo, saindo para fora das bolachas. Contudo, de acordo com as fichas técnicas enviadas pela empresa produtora da geleia, todos os lotes estavam conforme as especificações.

Solução adotada: Pela Tabela 18 pode ser observado que as especificações definidas para as geleias possuem intervalos bastante alargados, nomeadamente, no que diz respeito à sua textura e espalhamento. A dimensão destes intervalos apenas facilita o seu cumprimento por parte da empresa produtora de geleia, não sendo favoráveis à produção da bolacha *Newkcal* pois, como referido, apesar da geleia se encontrar conforme as especificações, determinados lotes originaram um espalhamento excessivo da mesma durante a cozedura das bolachas. Deste modo, a *Mondeléz* requereu a redefinição das especificações relativas à textura e ao espalhamento da geleia (Tabela 19). Comparativamente com os dados apresentados na Tabela 18, constata-se que o intervalo especificado para o espalhamento da geleia foi restringindo e que o limite máximo especificado para o teste de extrusão realizado à geleia baixou de 100 para 75 N. Pretendeu-se que a geleia fosse rececionada com uma menor dureza, de modo a que a sua deposição sobre o manto de massa fosse facilitada.

Tabela 19: Especificações redefinidas das geleias *Newkcal*

Geleia	Textura (Testes de extrusão - N)			Espalhamento (mm)		
	Mín.	Valor alvo	Máx.	Mín.	Valor alvo	Máx.
Maçã e Canela	35	-	75	35	-	45
Frutos Vermelhos	35	-	75	47	-	45

A Figura 24 resume os problemas observados nesta etapa do processamento da bolacha *Newkcal*. De modo a evitar os mesmos, o controlo desta etapa deve ser rígido e preciso, evitando o desperdício de produto e a insatisfação do consumidor (no caso de produto defeituoso ser comercializado).

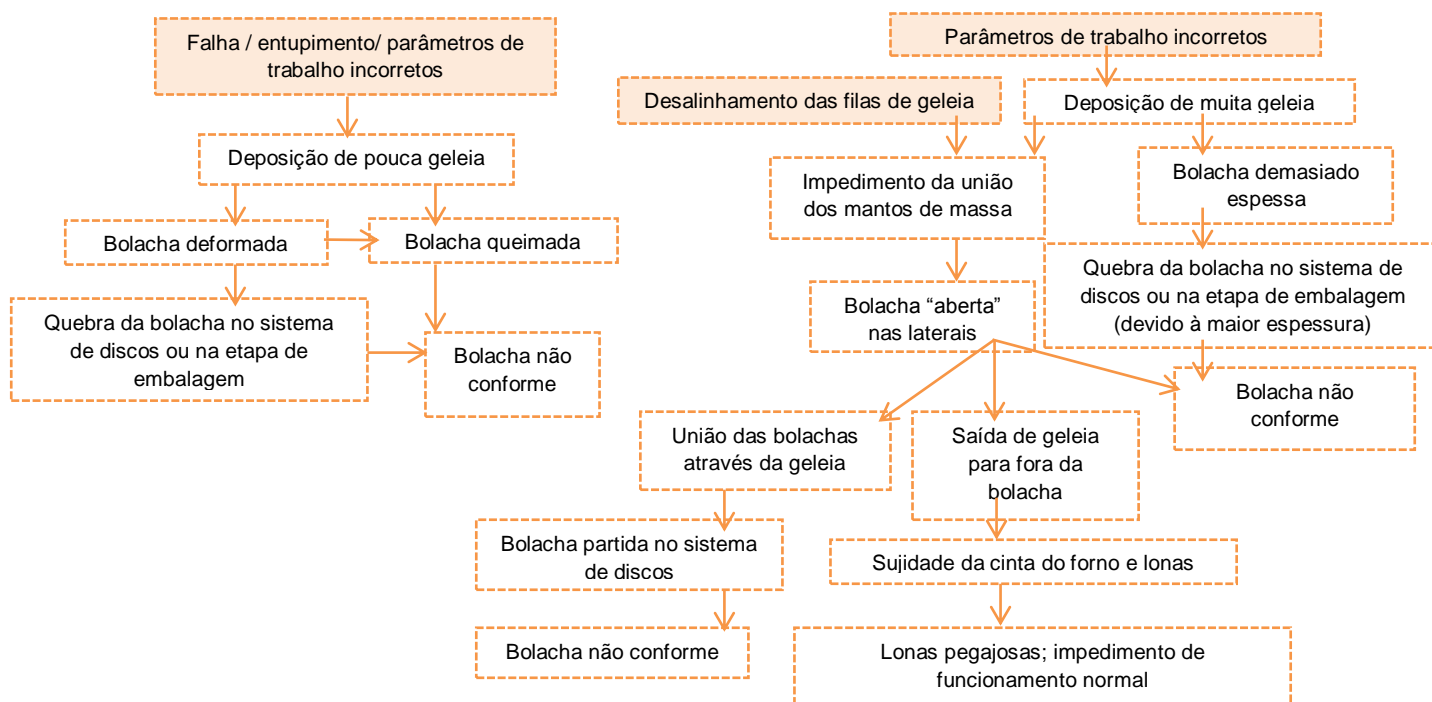


Figura 24: Esquema síntese dos problemas-consequências observados na etapa de deposição de geleia

Otimizações propostas para a etapa:

- A falha na deposição da geleia deverá ser solucionada, evitando definitivamente a receção de bolachas defeituosas por parte dos consumidores. A solução pode passar pela melhoria do funcionamento de todo o equipamento depositador, de modo a garantir sempre a exerceção de uma pressão de alimentação de geleia constante ao longo do tempo.
- Para inibir totalmente os entupimentos das bocas injetoras poderá exigir-se, à empresa fornecedora da geleia, uma total filtração da mesma, de modo a serem retirados completamente os pedaços sólidos presentes na mesma. A presença destes não é sentida sensorialmente pelo consumidor, acarretando apenas problemas durante o processamento da bolacha. Caso se prosseguisse com esta resolução, a rotulagem do produto final teria de ser modificada, pois está expressamente descrito a presença de pedaços de maçã na geleia.
- A solução para impedir a obtenção de bolachas côncavas, após a sua cozedura junto à extremidade da cinta do forno, poderia residir em aumentar o comprimento das bocas injetoras de geleia situadas nas extremidades do cabeçal, de modo a que uma fila de geleia de maior largura fosse aí depositada sobre o manto de massa. No entanto, neste caso, estas bolachas iriam sempre possuir uma quantidade de geleia superior às restantes, o que economicamente não será viável.

4.6 - Junção dos mantos

O controlo e ajuste da etapa de junção dos dois mantos de massa é realizado ajustando a velocidade da lona de transporte do manto superior, bem como ajustando a inclinação desta, de modo a que o manto superior se sobreponha suavemente ao inferior, evitando ficar aglomerado ou esticado. Quando o manto superior se encontra esticado tende a encolher durante o processo de cozedura das bolachas, expondo a geleia. Para evitar o alongamento do manto superior aumenta-se a velocidade da lona de transporte do mesmo ou diminui-se a inclinação desta mesma lona. Nesta etapa não foram definidos parâmetros de trabalho, pelo que estes são ajustados à medida que necessário.

4.7 - Primeiro corte: Corte transversal e gravações longitudinais

A estabilização da etapa do primeiro corte do processamento da bolacha *Newkcal* consistiu em ajustar os parâmetros de trabalho da mesma, de modo a que estes permitissem a obtenção de um produto final cujas dimensões fossem iguais ou próximas daquelas estabelecidas à escala piloto (Tabela 9). Para tal, foram ajustados parâmetros como a velocidade dos moldes, a velocidade da lona de transporte do manto de massa sob os molde e a pressão exercida pelos moldes no manto de massa (posição dos moldes).

Para aumentar ou diminuir o comprimento da bolacha recorre-se à diminuição ou aumento, respetivamente, da velocidade do molde, mantendo constante a velocidade de rotação dos motores responsável pelo funcionamento dos mesmos, ou seja, a velocidade de trabalho da linha de produção.

A pressão que os dois moldes exercem no manto de massa é controlada individualmente em cada um deles. A pressão exercida pelo molde de corte transversal deve ser suficiente para permitir um corte total e eficaz. A pressão exercida pelo molde de gravação

longitudinal deve possibilitar a impressão de gravações com uma profundidade suficiente que assegure uma etapa de segundo corte facilitada, não podendo ser excessiva, a fim de evitar que as bolachas sejam totalmente separadas umas das outras. Em caso de separação das mesmas, estas distanciam-se da sua posição original durante a sua transferência entre lonas o que, conseqüentemente, conduz à sua quebra durante a etapa de segundo corte.

Problema: Obtenção do produto final com uma largura bastante superior (≥ 39 mm) ao pretendido (≈ 36 mm). Esta largura dificultava o processo de embalamento do produto.

Solução adotada: Optou-se por trocar a ordem original dos moldes (ordem utilizada durante a os ensaios à escala piloto): a massa passou a ser gravada longitudinalmente primeiro e, só posteriormente, cortada transversalmente. Esta ação permitiu reduzir significativamente a largura das bolachas (para 37 mm). A realização das gravações longitudinais em porções de massa de menor dimensão (após o corte transversal do manto de massa) pareceu conduzir a um aumento da largura das mesmas, na medida em que estas possuem mais liberdade para expandir. O mesmo não ocorre quando as gravações são elaboradas no manto de massa ainda presente como uma única peça (antes do corte transversal).

A Tabela 20 ilustra os valores padrão definidos para esta etapa. O operador deve verificar regularmente as dimensões do produto final que se está a fabricar. Ao detetar não conformidades, os parâmetros de trabalho devem ser alterados.

Nesta etapa são também especificadas as velocidades da lona de recolha e transporte do retalho. As velocidades estipuladas devem ser suficientes para impedir que o retalho seja transportado para o interior do forno.

Tabela 20: Parâmetros de trabalho definidos para a etapa de primeiro corte

Bolacha	Vel.molde (m/min)	Vel.lona (m/min)	Vel. recolha retalho (m/min)	Vel. transporte retalho (m/min)	Posição molde de corte transversal	Posição molde de gravação longitudinal
Newkcal formato 8	5,35	5,42	6,03	4,8	35*	2*
Newkcal formato 6	6,6	4,35	4,56	4,08		

* O controlo da posição dos moldes é auxiliado pela existência de uma escala que não possui unidades.

Otimizações propostas para a etapa: Seria favorável a troca dos moldes de corte originais por um tipo de moldes que permitissem o completo corte do manto de massa nesta etapa, sem provocar a abertura da bolacha durante a sua cozedura. Desta forma, seria dispensável a existência da etapa de segundo corte. Sendo o sistema de discos bastante complexo, sensível a pequenas variações e portanto pouco fiável, a eliminação do mesmo seria economicamente benéfica, evitando-se a quebra de produto e, conseqüentemente, o desperdício do mesmo.

4.8 - Banho

Na etapa de banho procedeu-se ao ajuste dos parâmetros de trabalho do equipamento de banho, utilizando uma solução de banho preparada de acordo com as concentrações utilizadas nos ensaios à escala piloto (50% água – 50% xarope de glucose-frutose). Como parâmetros a controlar podem ser referidos a velocidade da lona que transporta a massa sob o equipamento de banho, a pressão requerida para bombear a solução para o equipamento de

banho, a pressão reguladora da quantidade de solução nebulizada e o regulador de nebulização que controla a dispersão da solução.

Problema: A quantidade mínima de solução possível de ser aspergida, pelo equipamento de banho, sobre as bolachas parece ser ainda excessiva: a bolacha obtida apresenta uma tonalidade mais escura que o pretendido e a lona de transporte, que atravessa por debaixo da máquina de banho, apresenta problemas de movimentação. Apesar das filas de bolachas se encontrarem próximas umas das outras, parte da solução aspergida contacta com a lona de transporte tornando-a pegajosa, o que conduz à geração de atrito entre a lona e os cilindros de aço sobre os quais esta se move.

Solução adotada: Por meio de tentativa e erro, a concentração de açúcar utilizada na solução aspergida foi gradualmente reduzida até ser possível a eliminação dos problemas de atrito mencionados sem, contudo, se prejudicar a cor do produto final, ou seja, sem o aclarar excessivamente. A percentagem de açúcar incorporada na solução de banho que pareceu ser a mais adequada, permitindo atingir o objetivo pretendido, foi a de 22%. A Tabela 21 ilustra os parâmetros de trabalho definidos para esta etapa do processo de fabrico da bolacha *Newkcal*.

Tabela 21: Parâmetros de trabalho estabelecidos para a etapa de banho

Bolacha	Vel.lona (m/min)	Regulador da capacidade da bomba	Electroválvula de nebulização	Regulador de nebulização
<i>Newkcal</i> formato 8	5,6	0,6 bar	0,3 bar	1,3 bar
<i>Newkcal</i> formato 6	4,56			

Otimizações propostas para a etapa:

Atualmente, os aspersores constituintes da máquina de banho projetam a solução preparada apenas em duas direções. Futuramente prevê-se a aquisição de novos aspersores que proporcionem uma aspersão radial, permitindo uma melhor uniformização da aspersão da solução. Pretende-se também modificar o equipamento de banho, de modo a que se torne possível diminuir a quantidade de solução aspergida por unidade de tempo. Deste modo, a concentração de açúcar poderá ser aumentada, caso necessário, sem acarretar problemas de deslocação da lona que transporta a massa sob a maquinaria de banho.

4.9 – Deposição da cobertura

Procedeu-se à otimização da etapa de deposição de cobertura da bolacha *Newkcal* ajustando os parâmetros de trabalho, de modo a garantir um consumo semelhante àquele consumido durante os ensaios à escala piloto (8,29 kg de mistura composta por açúcar e canela por tonelada de produto cru durante a produção da bolacha *Newkcal Maçã e Canela* e 8,31 kg de açúcar por tonelada de produto cru durante o fabrico de *Newkcal de FV*). Os ajustes deverão também ter em consideração o formato da embalagem *Newkcal* a produzir, dado que os dois formatos são produzidos utilizando diferentes velocidades da linha de produção.

Os parâmetros de trabalho possíveis de controlar nesta etapa são: a velocidade do motor responsável pela rotação do cilindro depositador de cobertura, a posição da “faca” e a velocidade da lona de transporte do produto sob o depositador da cobertura. Por esta “faca” entende-se um mecanismo que permite ser aproximado ou afastado do cilindro depositador da

cobertura, controlando-se assim a quantidade da mesma que é depositada sobre as bolachas. Um maior afastamento da “faca” confere mais espaço disponível para ser ocupado pela cobertura, pelo que maior quantidade desta é depositada por unidade de tempo. Esta “faca” não possui qualquer escala de referência, pelo que o seu ajuste é realizado empiricamente.

Problema: A velocidade mínima de funcionamento do motor resulta num consumo de cobertura por tonelada de produto cru superior ao valor pretendido.

Solução adotada: Aquisição de um outro motor cuja velocidade mínima de rotação é menor do que a do motor de origem, permitindo alcançar o consumo de cobertura pretendido por tonelada de produto cru. O novo motor possui uma velocidade mínima de rotação de 2 r.p.m., enquanto a velocidade mínima do motor de origem era de 6 r.p.m..

O consumo de cobertura foi ajustado por meio de tentativa e erro, variando a velocidade do motor do depositador de cobertura. A partir da quantidade de produto final fabricado por hora (936 kg/h durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 8 e 814 kg/h durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 6), calculou-se a quantidade de produto cru fabricado por unidade de tempo, multiplicando a produção de produto cozido pelo *baking loss* do mesmo. Finalmente, adquirindo como nível de referência o depósito de açúcar totalmente preenchido, manteve-se o açúcar junto a esse nível durante o período necessário ao fabrico de uma tonelada de produto cru. A quantidade de cobertura colocada manualmente no depósito, necessária para que este permanecesse cheio, corresponde à quantidade da mesma consumida. Na Tabela 22 encontram-se os parâmetros de trabalho definidos, para esta etapa, que permitem o alcance do consumo de cobertura pretendido.

Tabela 22: Parâmetros de trabalho definidos para a etapa de deposição de cobertura

	Velocidade do motor do depositador de cobertura (%)		Velocidade lona (m/min)
	<i>Newkcal</i> Maçã e Canela – cobertura de açúcar com canela	<i>Newkcal</i> Frutos Vermelhos – cobertura de açúcar	
<i>Newkcal</i> formato 6	26	15	4,4
<i>Newkcal</i> formato 8	30	18	6,5
Consumo cobertura (kg/ton produto cru)	8,29	8,31	

A velocidade do motor é sempre superior durante a produção de *Newkcal* Maçã e Canela do que na produção de *Newkcal* Frutos Vermelhos, independentemente do formato produzido. A diferença entre a cobertura de ambas as bolachas consiste na presença de canela na cobertura da bolacha de maçã e canela. A reduzida superfície específica das partículas de canela conduzem a uma menor porosidade da mistura de açúcar e canela quando comparada a uma mistura constituída apenas por açúcar (grãos de maior dimensão e relativamente esféricos), sendo que por porosidade entende-se a razão entre o volume de vazios e o volume total de uma amostra. A existência de menos espaços vazios entre a canela e o açúcar torna a estrutura desta mistura mais compacta, dificultando a sua deposição sobre as bolachas. Desta forma, para o consumo da mistura de açúcar e canela por tonelada de produto cru ser semelhante ao consumo de açúcar, a velocidade do motor do depositador necessita de ser superior durante a deposição da primeira cobertura (açúcar e canela).

4.10 - Segundo corte

A otimização e ajuste da etapa de segundo corte foi um processo moroso e complexo, dada a existência de vários parâmetros a ajustar no sistema de discos, sem contudo existir qualquer escala de apoio que permita a fixação de valores padrão. O ajuste deste sistema é realizado através do controlo dos contrapesos de cada um dos discos, que controlam a pressão exercida pelos discos nas bolachas, e pela distância existente entre cada um dos discos. Os discos estão divididos em dois grupos podendo ser controlada a posição simultânea de todos os discos constituintes de cada grupo (mais a cima ou mais abaixo, consoante a pressão que se pretende realizar nas bolachas). Uma pressão insuficiente por parte dos discos não separará as bolachas e uma pressão excessiva poderá parti-las. A distância existente entre os discos deve ser ajustada garantindo a exatidão de pressão, por parte dos mesmos, no exato local da gravação longitudinal (anteriormente realizada na etapa de primeiro corte). Um incorreto posicionamento dos mesmos conduz à quebra de produto.

Problema: Apesar das inúmeras tentativas de ajuste do equipamento, o mesmo continuava a dar sinais de ineficiência, quebrando uma quantidade elevada de produto final quando sujeito a ligeiras variações e desajustes. A percentagem média de bolachas partidas nesta etapa chegou a alcançar 1,2%.

Solução adotada: Foram adquiridos novos discos de configuração diferente. Enquanto os discos de origem possuíam uma forma totalmente arredondada, os novos discos, tal como demonstra a Figura 25, possuem uma forma mais recortada em que a parte mais externa e pontiaguda incide nas gravações longitudinais, que definem as laterais das bolachas, a fim de separá-las. O recorte do disco sobrepõe-se e molda-se à bolacha, não exercendo pressão na mesma, o que reduz significativamente a sua probabilidade de quebra. Com a utilização dos novos discos a percentagem média de bolachas partidas nesta etapa foi substancialmente reduzida, sendo quase insignificante (cerca de 0,37%).

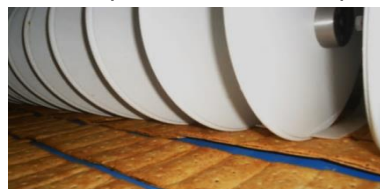


Figura 25: Novos discos adquiridos pela Mondeléz

Otimizações propostas para a etapa:

Aquisição de um outro equipamento, cujo controlo seja simples, facilitado e imprima um corte nas bolachas mais limpo e perfeito que o efetuado pelo sistema de discos presente atualmente na unidade fabril. Como é possível observar na Figura 26, as laterais das bolachas, após este corte, apresentam diversas irregularidades.



Figura 26: Lateral da bolacha Newkcal após a etapa de 2º corte

4.11 – Cozedura

O ajuste do perfil de temperaturas do forno e do tempo de cozedura para o processamento da bolacha Newkcal foi realizado recorrendo a ajuda externa, através de um perito nesta matéria que se deslocou até à unidade fabril. A otimização de toda a etapa decorreu em 7 passos distintos.

1º passo: Ajuste do perfil de temperaturas do forno e tempo de cozedura.

São ajustados, para cada zona do forno, as temperaturas utilizadas, o número de queimadores superiores e inferiores ligados, a eficiência dos queimadores, a abertura ou fecho de extrações, a repartição de ar (na zona 4) e, por, fim o tempo global de cozedura. Recorrendo a um medidor do fluxo de calor, que se desloca pelo interior do forno sob a cinta do mesmo, foram medidos os fluxos de calor, variações de temperatura e de pressão de vapor existentes em cada zona. Numa primeira fase os parâmetros do forno foram ajustados conforme os parâmetros utilizados durante os ensaios de produção à escala piloto. Numa segunda fase, foram sendo realizadas alterações, conforme o necessário, de modo a otimizar-se a cozedura da bolacha em questão. O objetivo seria sempre o de alcançar um produto final cozido, de cor e humidade conforme as especificações. Apesar de existirem referências da cor pretendida para o produto final, no início dos ensaios de produção à escala industrial esta ainda estava por ser definitivamente decidida. Quanto à humidade final do produto, o objetivo será alcançar as especificações definidas para a mesma, estabelecidas à escala piloto (Tabela 23).

Dada a diferente velocidade da linha de produção, no fabrico dos dois formatos *Newkcal*, o tempo de cozedura para os mesmos será também diferente, pelo que dois perfis de temperaturas de forno foram definidos.

Tabela 23: Humidade final do produto: Especificações definidas durante os ensaios de produção à escala piloto

Limite mínimo	Valor alvo	Limite máximo
6%	7%	8%

Problema Formação de bolhas e de bolachas côncavas (“efeito barco”).

Possíveis causas:

- O surgimento de bolhas no produto final está relacionado com dois fatores: com o excessivo calor, gerado pelos queimadores superiores do forno, a que as bolachas estão sujeitas durante a sua cozedura e com a descentralização do molde de perfuração do manto de massa superior. A descentralização deste resulta numa perfuração da bolacha não uniforme, o que durante a cozedura da mesma conduz à formação de bolhas nos locais não perfurados.

- O designado “efeito barco” ocorre devido ao excessivo calor, provindo dos queimadores inferiores do forno, que afeta o fundo da bolacha. Segundo Manley (1998d), um calor excessivo provindo dos queimadores inferiores do forno tende a originar um produto final côncavo. No entanto, esta concavidade surge sobretudo nas bolachas situadas nas extremidades da cinta do forno, levando a pressupor que tal se deve à maior transferência de calor a que estas bolachas estão sujeitas. Uma vez que uma das laterais destas bolachas se situa na extremidade da cinta do forno, não se encontra unida a nenhuma outra bolacha, estando sujeita a uma maior transferência de mais calor.

Soluções adotadas:

- A temperatura da primeira e segunda zona do forno foram reduzidas e os queimadores superiores da primeira zona do forno foram reajustados: apenas permaneceram ligados um em

cada dois queimadores. O molde de perfuração do manto de massa superior foi devidamente centralizado, o que permitiu uma perfuração uniforme das bolachas. Estas medidas permitiram evitar a formação de quaisquer bolhas.

- A eliminação do “efeito barco” foi praticamente conseguida através do desligamento gradual dos queimadores inferiores do sistema de pré-aquecimento, até restar apenas um de cada dois ligado, o que reduziu significativamente o calor transferido para o fundo das bolachas. Desligar queimadores inferiores da zona 1 não foi uma opção viável, na medida em que estes são necessários para atingir a completa cozedura do fundo das bolachas. Apenas as bolachas situadas nas extremidades da cinta do forno continuaram a formar-se côncavas. Esta situação continua ainda por ser solucionada, no entanto, temporariamente, um operador foi destacado para retirar manualmente estas bolachas da linha de produção, antes das mesmas serem embaladas.

2º passo: Otimização da humidade do produto final.

Problema: Obtenção de um produto final cujo valor médio de humidade (aproximadamente 8,5%) se encontra acima do intervalo pré-especificado à escala piloto.

Possíveis causas:

- Temperaturas do forno insuficientes.
- Tempo de cozedura insuficiente.
- Humidade interna do forno muito elevada, impedindo o produto de perder humidade.
- Propriedades da geleia (a_w /humidade) fora das especificações definidas para a mesma.
- Perfuração do manto superior insuficiente (furos demasiado pequenos), o que poderá dificultar a evaporação do vapor de água do produto durante a sua cozedura.

Soluções adotadas:

- Realização de medições da humidade e do a_w de alguns lotes de geleia, constatando-se que as mesmas estavam conforme o especificado.
- Aumento gradual da temperatura da zona 3 do forno até aos 200°C e 210°C, durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 6 e 8 respetivamente. Acima destas temperaturas verificava-se um escurecimento acentuado do produto final.
- Aumento do tempo de cozedura de 9,4 para 9,6 minutos e de 9,8 para 10 minutos durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 8 e 6 respetivamente.
- Abertura das extrações das várias zonas do forno. De acordo com Manley (1998d), a aberturas destas possibilita a expulsão da humidade existente no interior do forno, possibilitando a entrada de ar, cuja temperatura e humidade é reduzida. O mesmo autor indica que uma elevada humidade atmosférica do forno inibe a secagem do produto a cozer.
- Através do desnivelamento do molde de perfuração do manto de massa, pretendeu-se que fossem realizados furos excessivamente alargados apenas num dos lados do manto. Deste modo, num dos lados do manto são efetuados furos demasiado grandes, enquanto do outro lado, dada a pressão exercida pelo molde ser menor, são efetuados furos do tamanho adequado. A humidade do produto final possuindo os furos de ambas as dimensões foi

determinada e comparada. A Tabela 24 demonstra os resultados obtidos, concluindo-se que a existência de furos alargados no manto superior da bolacha não influencia a perda de humidade do produto.

Tabela 24: Comparação da humidade de bolachas com maior e menor perfuração da massa

Observações	Humidade (%)		Condições de cozedura
	Bolacha com furos de maior dimensão	Bolacha com furos de menor dimensão	
1	8,42	8,39	Tempo de cozedura: 9,6 min
2	7,98	8,42	Zona 1: 205 °C
3	8,4	7,82	Zona 2: 190 °C
4	8,36	8,39	Zona 3: 210 °C
5	8,21	8,2	Zona 4: 172 °C

- A implementação das soluções mencionadas acima não afetaram significativamente o valor de humidade do produto final. Como tal, a derradeira solução encontrada foi a redefinição das especificações da humidade do produto final (Tabela 25). Não foram feitas distinções entre os sabores ou formatos da bolacha *Newkcal*, pois os dados recolhidos ao longo dos ensaios de produção, relacionados com a humidade das diferentes bolachas, não denotaram diferenças significativas. Durante a produção à escala piloto foram realizados testes de deterioração do produto final, cuja humidade do mesmo variava entre 6 a 8,5%. Estes testes permitiram assegurar que a qualidade do produto (com os valores de humidade mencionados) era preservada, durante o período de um ano (prazo de validade pretendido para a bolacha *Newkcal*). Não foram realizados testes de deterioração em bolachas com valores de humidade superiores aos referidos. No entanto e apesar disso, concluiu-se que a redefinição das especificações da humidade do produto final, estabelecendo como limite máximo 9%, seria uma opção viável e segura. O produto fabricado ao abrigo das novas especificações terá futuramente de ser testado, ao fim de treze meses de armazenamento, a fim de se perceber se ainda se mantém próprio para consumo. Caso não se mantenha, alguma variável terá de ser modificada para reduzir a humidade final do produto, nomeadamente aumentar novamente o seu tempo de cozedura, o que conduzirá a um aumento dos custos de produção.

Tabela 25: Humidade do produto final: Especificações finais definidas

Limite mínimo	Valor alvo	Limite máximo
7%	8%	9%

3º passo: Estabelecimento, por parte do departamento de *Marketing*, da cor alvo para as bolachas *Newkcal Maçã e Canela* e *Newkcal Frutos Vermelhos*, bem como dos limites mínimos e máximos de cor.

A aceitabilidade do produto, por parte do consumidor, deve ser assegurada sempre que a sua cor esteja dentro do intervalo estabelecido. Nos anexos IV e V encontram-se imagens do produto final que correspondem ao intervalo de cor delimitado e aceite para o mesmo.

4º passo: Definição do perfil de temperatura do forno para a produção das bolachas *Newkcal* formato 6 e 8 (Tabela 26).

Tabela 26: Parâmetros de trabalho do forno *Newkcal*

Forno	Parâmetro de controlo	Newkcal formato 8	Newkcal formato 6
Pré-aquecimento	Temperatura (°C)	34	34
Zona 1	Temperatura (°C)	205	205
	Eficiência superior (%)	0	0
	Eficiência inferior (%)	100	100
	Extração de vapor	Fechada	Fechada
Zona 2	Temperatura (°C)	190	190
	Extração de vapor	Fechada	Fechada
Zona 3	Temperatura (°C)	210	200
	Extracção de vapor	Fechada	Fechada
Zona 4	Temperatura (°C)	183	183
	Repartição ar superior (%)	50	50
	Repartição ar inferior (%)	50	50
	Extração de vapor	30% Aberta	30% Aberta
Tempo de cozedura (minutos)		9,6	10

Será importante, ainda que resumidamente, explicitar as funções principais que cada zona do forno exerce sobre o produto em questão e quais as formas de controlo estabelecidas para ajustar os parâmetros do mesmo à medida que seja necessário:

Pré-aquecimento: Sistema crucial para o controlo do dito “feito barco”. Menos queimadores ligados contribuem para uma menor transferência de calor para o fundo das bolachas, sendo inibida a formação de bolachas côncavas.

- **Zona 1 e 2:** Na zona 1 e 2 é realizado um controlo da espessura das bolachas: para obtenção de uma maior espessura aumenta-se a temperatura destas zonas. Desligando os queimadores superiores destas zonas torna-se possível a inibição da formação de bolhas no produto. Estabeleceu-se uma eficiência de 100% para os queimadores inferiores da zona 1, de modo a garantir uma total cozedura do fundo das bolachas. Esta necessidade deve-se ao facto de muitos dos queimadores do sistema de pré-aquecimento se encontrarem desligados, não podendo contribuir para este fim. As condições de cozedura estabelecidas para estas zonas devem ser mantidas sempre que possível, uma vez que são cruciais para evitar a formação de produto defeituoso.

- **Zona 3:** Através da variação da temperatura desta zona é possível controlar a humidade do produto final. O aumento da temperatura, a fim de alcançar uma diminuição da humidade do produto, não deve ser realizado na zona 1 e 2, de modo a não favorecer o aumento excessivo da espessura do produto, o que causará dificuldades no embalamento do mesmo, a formação de bolhas e/ou a formação de um produto côncavo.

- **Zona 4:** Nesta zona é realizado o controlo da cor através de variações da temperatura ou da repartição do ar: para escurecer o topo do produto deve ser aumentada a repartição de ar superior; para escurecer o fundo do produto, aumenta-se a repartição de ar inferior.

5º passo: Determinação definitiva das especificações do produto final.

As especificações definitivas do produto final foram apenas estipuladas durante a produção da bolacha *Newkcal* à escala industrial, a partir da recolha intensa de amostras ao longo dos ensaios de produção e após a estabilização de todo o processo de fabrico. Em cada recolha foram determinadas as médias para cada característica do produto (comprimento, largura, espessura, massa), bem como os valores mínimos e máximos medidos. As médias

globais, bem como as médias dos valores mínimos e máximos, foram determinadas e utilizadas para a definição final das especificações do produto. A Tabela 27 resume a determinação das médias globais dos dados obtidos, referentes às dimensões e massa (peso) do produto final. Por fim, a Tabela 28 ilustra as especificações finais definidas para a bolacha *Newkcal*.

Tabela 27: Médias globais determinadas da massa (peso) e dimensões do produto final

Global	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)
Média	88,46	37,71	8,51	12,60
Mínimo (média)	87,06	36,73	7,6625	12,13
Máximo (média)	89,69	38,56	9,71	12,93
Desvio padrão	0,966	0,852	0,453	0,459

Tabela 28: Especificações definitivas determinadas para o produto final (dimensões e massa)

Característica	Especificações finais		
	Mínimo	Valor Alvo	Máximo
Comprimento (mm)	87	88	89
Largura (mm)	36,5	37,5	38,5
Espessura (mm)	7,5	8,5	9,5
Massa (g)	12,2	12,3	12,5

Saliente-se que a definição das especificações das dimensões do produto teve em conta a configuração e limitações dos equipamentos necessários ao embalamento do mesmo. Foi necessário a certificação de que as especificações definidas garantiam um embalamento fácil e sem quebras do produto. A Tabela 29 compara as especificações pré-definidas para o produto à escala piloto com as especificações finais definidas à escala industrial.

Tabela 29: Especificações do produto definidas à escala piloto e à escala industrial

Característica (mm)	Especificações pré-definidas (escala piloto)			Especificações finais (escala industrial)		
	Limite mínimo	Alvo	Limite máximo	Limite mínimo	Alvo	Limite máximo
Comprimento	-	90	-	87	88	89
Largura	-	36	-	36,5	37,5	38,5
Espessura	-	9	-	7,5	8,5	9,5

6º passo: Comparação da humidade do produto final antes e após a sua entrada no túnel de arrefecimento.

Este passo visou confirmar que o produto, ao longo do percurso efetuado até à etapa de embalagem, atravessando o túnel de arrefecimento, não perde humidade e, consequentemente, massa de um modo significativo. A Figura 27 ilustra os gráficos elaborados que comparam a variação de massa e humidade do produto entre o momento da sua saída do forno e o instante prévio ao embalamento. As bolachas foram recolhidas após a etapa de cozedura, sendo que, posteriormente, bolachas situadas na proximidade daquelas

anteriormente recolhidas foram retiradas exatamente no momento anterior a serem embaladas. Desta forma garantia-se as bolachas analisadas em cada recolha, após a saída do forno e antes da etapa de embalagem, tinham sido submetidas às mesmas condições de cozedura.

Pela observação dos gráficos apresentados, conclui-se que não existe perda significativa, nem de humidade, nem de massa, por parte do produto final durante o seu percurso até à etapa de embalagem. No caso da hipótese testada ter sido confirmada, as especificações do produto final teriam de sofrer modificações, tendo em conta a percentagem de massa e humidade perdidas até ao momento de embalagem.

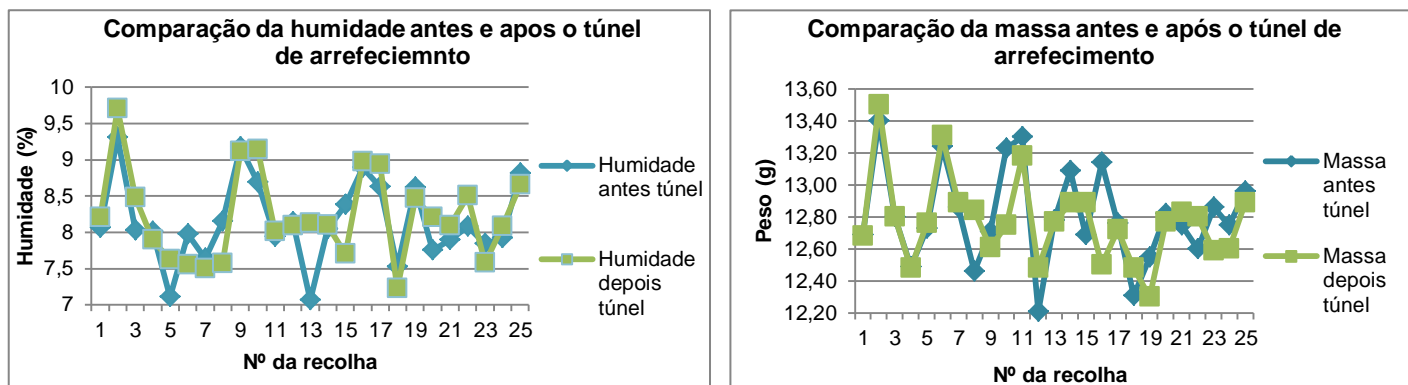


Figura 27: Comparação da humidade (à esquerda) e da massa (à direita) do produto antes e após o túnel de arrefecimento

7º passo: Determinação do teor de humidade da bolacha *Newkcal* em função do tempo.

A produção em larga escala da bolacha *Newkcal* traduz-se no fabrico de várias toneladas de produto por hora. A estonteante velocidade de trabalho dos equipamentos, sobretudo daqueles responsáveis pelo embalagem do produto, pode conduzir a perdas de eficiência que resultam em problemas e paragens do funcionamento dos mesmos. Sempre que tal ocorre o produto final não é embalado e é armazenado, a fim de ser reaproveitado. Assim que seja logisticamente possível o produto é encaminhado novamente para a etapa de embalagem. A medição da variação humidade das bolachas ao longo do tempo é fundamental para estabelecer o intervalo de tempo máximo em que é possível armazenar as mesmas (produto não embalado) preservando a sua qualidade. De acordo com Manley (1998e), as bolachas apresentam um teor de humidade bastante baixo, sendo alimentos muito higroscópicos, pois absorvem humidade da atmosfera muito rapidamente. O mesmo autor afirma que tal degrada a qualidade das bolachas, amolecendo a sua textura e reduzindo o seu tempo de vida útil. Na Figura 28 pode ser visualizado um gráfico que permite avaliar a evolução da humidade do produto final ao longo do tempo em que se encontra armazenado em caixas plásticas, apenas cobertas por sacos de plástico.

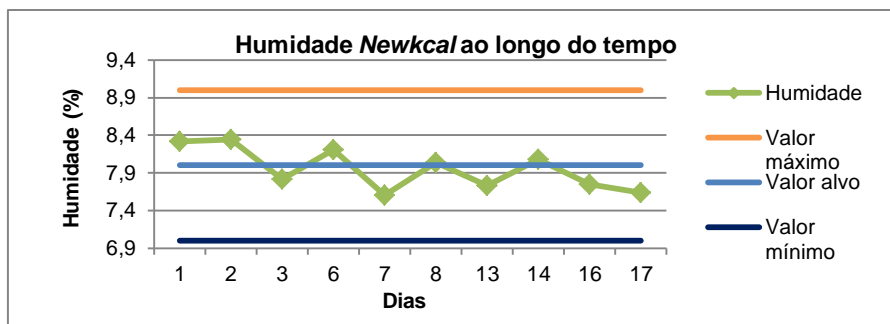


Figura 28: Variação da humidade da bolacha *Newkcal* ao longo do tempo

Constatou-se que o teor de humidade, determinado ao longo de 17 dias de armazenamento, manteve-se no intervalo especificado, rondado sempre o valor alvo estipulado, não se observando portanto nenhum ganho de humidade. A variabilidade do teor de humidade observada estará, possivelmente, relacionada com a quantidade de geleia existente em cada bolacha utilizada para determinação deste mesmo parâmetro. Devido aos entupimentos e às falhas de geleia observadas durante a sua deposição sobre a massa, a quantidade deste ingrediente que é depositado nas bolachas tende a não ser uniforme.

Também a textura do produto, ao longo dos dias de armazenamento, foi avaliada, contudo apenas sensorialmente. Concluiu-se que esta se mantém idêntica desde o primeiro dia até ao sexto, tornando-se ligeiramente mais mole a partir desse dia. Como tal, foi estabelecido, um período máximo de armazenamento de bolachas não embaladas de 6 dias, preservando-se assim o teor de humidade e textura das bolachas.

4.12 - Arrefecimento

Numa primeira fase, com o intuito de reduzir os gastos energéticos e, portanto, os custos económicos, testou-se produzir a bolacha *Newkcal* apostando apenas num arrefecimento natural da mesma, ou seja, sem recurso à utilização do túnel de arrefecimento. Uma vez que os ensaios de produção da bolacha *Newkcal* foram iniciados em Fevereiro, mês cujas temperaturas médias diárias são relativamente reduzidas, pressupôs-se que o arrefecimento do produto à temperatura ambiente fosse suficiente para poder embalá-lo.

1º passo: Arrefecimento natural das bolachas.

Problema: A temperatura das bolachas *Newkcal*, durante o início da sua etapa de embalagem, chegava a alcançar os 42 °C (sobretudo nos dias em que uma maior quantidade de fornos se encontrava em funcionamento na unidade fabril). Refira-se que, à escala piloto, após a realização de testes de detioração ao produto, concluiu-se o que o mesmo deverá ser embalado com uma temperatura inferior a 40°C, a fim de ser preservada a sua qualidade durante um ano.

Solução adotada: De modo a evitar riscos de detioração do produto optou-se por ligar o túnel de arrefecimento, mas por razões económicas apenas o sistema de ventiladores e a primeira zona do sistema de permutadores foram ligados. Consequentemente, a temperatura das bolachas aquando do seu embalagem foi reduzida para cerca de 35 °C.

2º passo: Ligação da segunda zona do sistema de permutadores.

Problema: Surgiram entupimentos nos robôs-apanha-bolachas, cuja função, lembrado, consiste na sucção do produto e colocação do mesmo no sistema de correias correspondente. Os mesmos deslocavam-se até junto das bolachas sem, contudo, as conseguirem sugar. Após a desmontagem dos robôs percebeu-se que o tubo, por onde é realizado o vácuo que permite a sucção do produto, se encontrava entupido por geleia. Sempre que este equipamento entope a produção da bolacha *Newkcal* é interrompida, a fim de o mesmo ser desmontado e limpo.

Solução adotada:

- Optou-se por ligar todo o túnel de arrefecimento, a fim de reduzir ainda mais a temperatura que as bolachas apresentam no momento em que são sugadas por estes robôs. Considerou-se que a redução da temperatura das bolachas, e portanto da geleia, permite aumentar a viscosidade do recheio, dificultando a sua sucção por parte dos robôs. A ligação da totalidade do túnel de arrefecimento permitiu reduzir a temperatura das bolachas para os 30°C. Esta solução pareceu limitar os entupimentos dos robôs, passando os mesmos a ocorrer de forma mais intervalada.

- Procedeu-se à implementação de um programa de limpeza dos robôs mencionados: ao fim de três turnos de produção da bolacha *Newkcal* os robôs são desmontados e limpos, garantindo assim o seu funcionamento contínuo durante os três turnos de trabalho seguintes.

A Tabela 30 ilustra os parâmetros de trabalho definidos para o túnel de arrefecimento, durante o processamento da bolacha *Newkcal*.

Tabela 30: Parâmetros de trabalho definidos para o túnel de arrefecimento

Sistema de Ventiladores - Temperatura (°C)		Sistema de Permutadores - Temperatura (°C)	
Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
14	12	10	9,5

4.13 – Embalamento

Após arrefecidas as bolachas são encaminhadas para a etapa de embalamento. Para embalar o produto, numa primeira fase, foram utilizados materiais de embalagem “em branco”, dimensionados a partir das especificações do produto pré-definidas durante os ensaios à escala piloto. Após confirmação de que as dimensões calculadas para o material de embalagem são as corretas, o mesmo foi impresso com o *design* estipulado pelo departamento de *Marketing*. A estabilização desta etapa decorreu em sete passos distintos.

1º passo: Ajuste e programação dos equipamentos envolvidos no processo de embalamento do produto.

A programação dos equipamentos é realizada por técnicos destacados pelas empresas fornecedoras dos mesmos. Foi necessário perceber quais as limitações de cada equipamento, ou seja, qual o valor máximo de comprimento, largura e espessura que o produto final pode apresentar para que não seja comprometido o seu embalamento. A definição final

das especificações do produto teve em conta os limites conhecidos da maquinaria responsável pelo embalamento do mesmo. A Tabela 31 apresenta os limites críticos mencionados e as especificações definitas estabelecidas para o produto final.

Tabela 31: Limitações do equipamento embalador e especificações da dimensão do produto

	Limitações dos equipamentos		Especificações finais	
	Máximo	Mínimo	Alvo	Máximo
Comprimento (mm)	92	87	88	89
Largura (mm)	40	36,5	37,5	38,5
Espessura (mm)	12	7,5	8,5	9,5

A espessura da bolacha é crítica em duas situações: durante a sucção do produto/saquetas pelos robôs e durante a formação da própria saqueta. No primeiro caso, os robôs são programados para se deslocarem até dada altura acima da lona de transporte, o que garante uma aproximação suficiente para sugar as bolachas/saquetas. Se o produto, e consequentemente as saquetas, possuírem uma espessura mais elevada que a altura programada nos robôs, estes últimos quebrar o produto.

A formação da saqueta em volta de bolachas muito espessas, excessivamente comprimidas ou largas é problemática devido ao tamanho diminuto da película para tal. Um comprimento excessivo das bolachas favorece também a sua quebra durante a formação da saqueta, devido ao contacto entre esta e as mandíbulas responsáveis pelo corte e selagem da película junto às extremidades do produto.

A programação da velocidade dos equipamentos é crucial para que a etapa de embalamento decorra sem percalços, embalando toda a produção realizada por unidade de tempo. Os detetores de metais foram ajustados para detetar metal sob películas metálicas (saqueta de *Newkca*).

2º passo: Novos ajustes e programação dos equipamentos.

Problema: A velocidade de funcionamento extrema dos equipamentos diminui a sua eficiência, causando paragens frequentes nos mesmos, atrasando todo o processo de produção. A Tabela 32 ilustra as causas mais frequentes das paragens dos equipamentos.

Tabela 32: Causas frequentes de paragens dos equipamentos responsáveis pelo embalamento

Equipamento	Causas de paragens
Sistema de correias	<ul style="list-style-type: none"> • Bolacha mal posicionada durante a formação da saqueta; • Prendimento da película; • Incorreto posicionamento da saqueta, originando a aglomeração de muitas outras saquetas.
Formadoras de cartolinas	<ul style="list-style-type: none"> • Formação incorreta da caixa de cartolina; • Incorreto posicionamento da cartolina na lona.
Robôs responsáveis pelo enchimento das cartolinas	<ul style="list-style-type: none"> • Aglomeração de saquetas conduz ao impedimento da entrada das mesmas nos correspondentes recetores.
Fechadora de cartolinas	<ul style="list-style-type: none"> • Cartolina mal posicionada na lona de transporte. • Cartolinas cuja espessura é excessiva (incorreta colocação das saquetas na mesma).
Encaixotadora de cartolinas	<ul style="list-style-type: none"> • Cartolina mal posicionada na lona de transporte; • Incorreta formação das caixas de cartão.
Balança dinâmica	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade elevada impede a pesagem das cartolinas, conduzindo à expulsão automática das mesmas.

Solução adotada: Como já mencionado no presente trabalho, as paragens dos equipamentos foram significativamente minimizadas através da redução da velocidade de trabalho da linha de produção, de modo a reduzir-se também a velocidade de funcionamento dos equipamentos referidos. Optou-se por diferentes velocidades de trabalho consoante o formato *Newkcal* a produzir: 8,2 r.p.m. e 6,6 r.p.m. para produção do formato 8 e 6 respetivamente.

3º passo: Contabilização da percentagem de bolachas partidas ao longo do seu processo de produção.

Dada a diferente velocidade de funcionamento dos equipamentos durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 8 e 6, foram recolhidas amostras durante a produção de ambos os formatos, a fim de determinar qual a percentagem média de bolachas partidas resultantes de todo o processo produtivo. Posteriormente determinou-se a percentagem de bolachas que eram partidas antes da etapa de embalamento e a percentagem de partidas durante esta mesma etapa, verificando qual a fase da etapa de embalamento que proporciona uma maior quebra de bolachas. A identificação das fases do processo produtivo que mais danificam o produto permite a intervenção nas mesmas, visando reduzir o número de bolachas partidas. As recolhas de amostras, durante a etapa de embalamento, foram realizadas nos seguintes locais: nos quatro sistemas de correias existentes (fase após a sucção das bolachas pelos robôs e após a formação da saqueta) e na fechadora de cartolinas (fase após as saquetas serem sugadas e colocadas nas respetivas cartolinas). Considerou-se que o funcionamento da encaixotadora de cartolinas não iria proporcionar a quebra de bolacha, uma vez nesta fase o produto encontra-se protegido mecanicamente por saquetas e cartolinas, pelo que neste equipamento não foram recolhidas amostras.

A *Mondeléz* estabeleceu como percentagem máxima permitida de bolachas partidas 8,3% e 6,25%, para a bolacha *Newkcal* formato 6 e 8 respetivamente. Ou seja, para ambos os formatos, cada cartolina pode conter apenas uma bolacha partida. Quando percentagens superiores às mencionadas são detetadas os lotes do produto são rejeitados. A Figura 29 ilustra os gráficos obtidos após a contabilização do total de bolachas partidas existentes em

amostras recolhidas no final de todo o processo de produção da bolacha *Newkcal*, ou seja, recolhidas após a finalização da etapa de embalagem das bolachas. Note-se que as recolhas de amostras foram realizadas apenas a partir do momento em que todo o processo produtivo foi considerado estabilizado

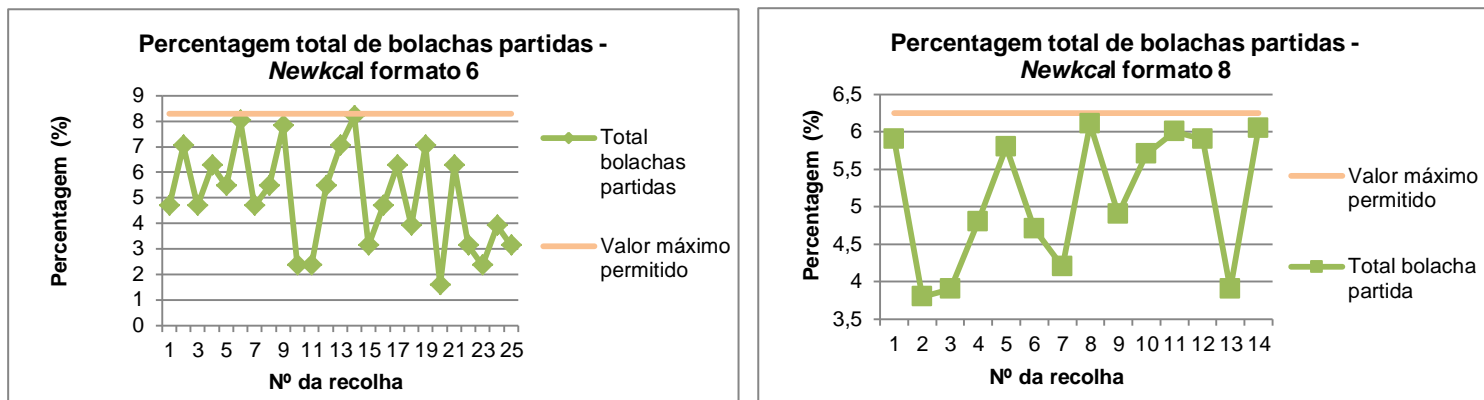


Figura 29: Percentagens totais de bolachas partidas: *Newkcal* formato 6 (à esquerda) e *Newkcal* formato 8 (à direita)

Apesar da grande variabilidade de percentagens de bolachas partidas obtidas, para ambos os formatos do produto estas nunca foram superiores aos limites estabelecidos. Contudo, algumas percentagens encontram-se bastante próximos do valor crítico. Relativamente às amostras recolhidas durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 6, obtiveram-se percentagens bastante inferiores àquelas obtidas durante a recolha de amostras da bolacha *Newkcal* formato 8. Pode assim deduzir-se que a produção da bolacha *Newkcal* formato 6 garante uma menor quebra de produto, o que pode ser justificado pela menor velocidade de funcionamento dos equipamentos responsáveis pelo processo de embalagem, uma vez que é nesta etapa, como observável na Figura 30, que uma maior percentagem de bolachas é quebrada. A hipótese de redução da velocidade de trabalho durante a produção de *Newkcal* formato 8 não foi considerada, dado que, apesar da maior percentagem de bolachas partidas gerada, a produção de uma maior quantidade de produto por unidade de tempo é compensatória.

A partir da recolha de produto, antes da etapa de embalagem e durante as várias fases da mesma, foi possível a construção dos gráficos apresentados pela Figura 30. Através dos mesmos conclui-se que percentagem de bolachas partidas ao longo de todo o processo produtivo, excetuando na etapa de embalagem, é insignificante. Esta última etapa do processo é onde claramente a maioria das bolachas são quebradas. Denote-se que o único ponto de quebra do produto, para além da etapa de embalagem do mesmo, é o sistema de discos (etapa de segundo corte).

É ainda possível concluir que, apesar de todas os sistemas de correias apresentarem uma percentagem de bolachas partidas relativamente elevada, o sistema de correias 3 tende a quebrar um maior número de bolachas, sobretudo durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 8. Novamente, tal poderá relacionar-se com a maior velocidade deste equipamento

durante a produção deste formato. No entanto, não parece existir uma razão plausível que justifique o facto do sistema de correias 3 quebrar um maior número de bolachas que os restantes até porque, à partida, a velocidade de funcionamento dos dois primeiros sistemas de correias são maiores que as dos restantes, uma vez que os primeiros são responsáveis pela recolha de 75% do fluxo de produto a embalar. Será exatamente por esta razão que o sistema de correias 4 possui a menor percentagem bolachas partidas. Dos quatros sistemas de correias, o sistema 4 é aquele que possui a menor velocidade de trabalho, uma vez que é responsável pela recolha de menor quantidade de produto por unidade de tempo.

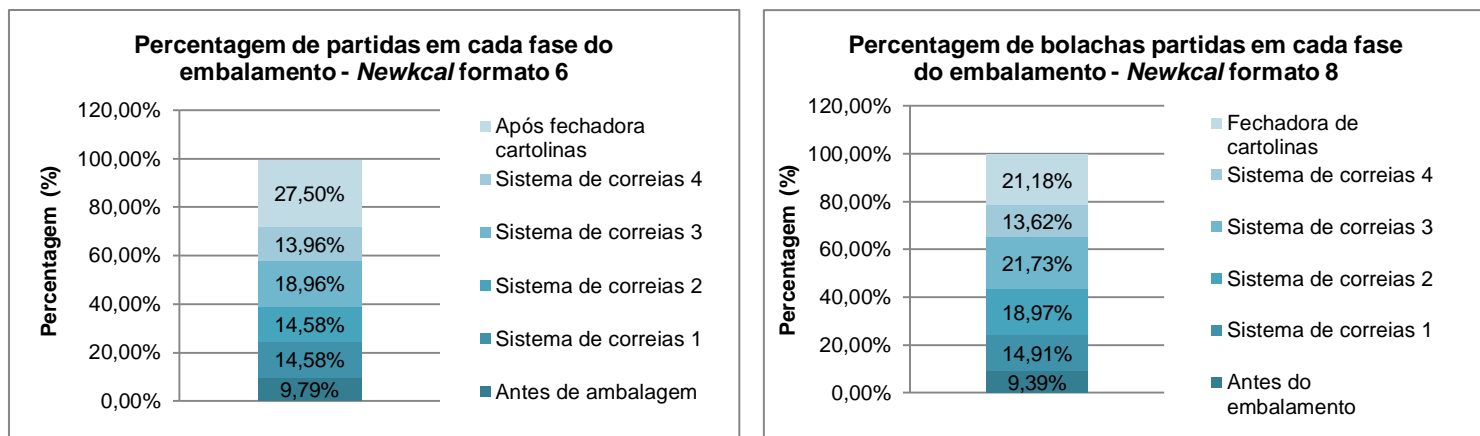


Figura 30: Percentagem de bolachas partidas antes da etapa de embalamento e durante as várias fases da mesma – *Newkcal* formato 6 (à esquerda) e formato 8 (à direita)

As Figuras 31 e 32 retratam a percentagem de produto partido em cada fase do processo de produção, distinguindo-se o local de quebra da bolacha (lado, meio, ponta). Novamente foram recolhidas amostras durante a produção de ambos os formatos *Newkcal*. A Figura 33 apresenta alguns exemplos de bolachas partidas em diferentes locais.

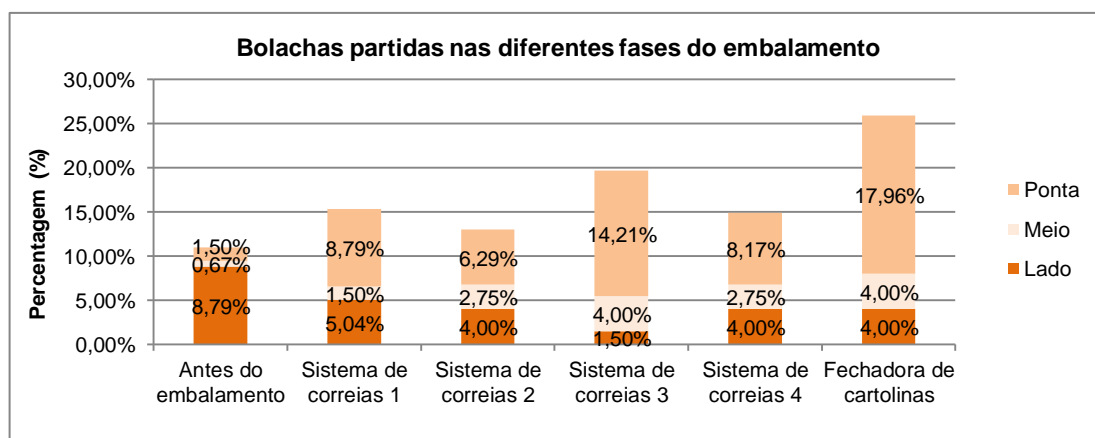


Figura 31: Percentagem de bolachas partidas distinguindo-se o local da quebra - *Newkcal* formato 6

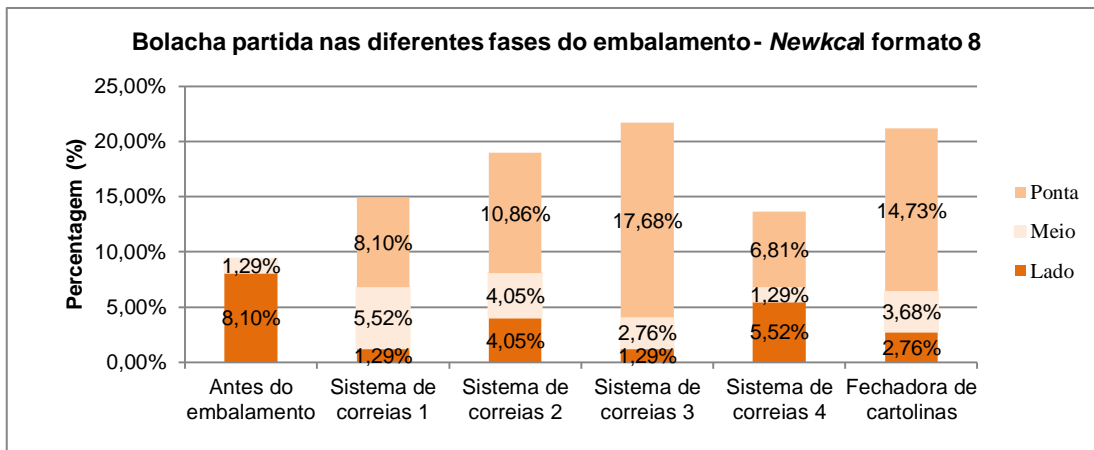


Figura 32: Percentagem de bolachas partidas distinguindo-se o local da quebra - *Newkcal* formato 8

Observando ambos os gráficos apresentados, torna-se perceptível que grande parte das bolachas partidas lateralmente são quebradas antes da etapa de embalagem, pelo que se conclui que o sistema de discos tende a quebrar as bolachas na sua zona lateral. Uma percentagem insignificante de bolachas é também partida no meio, durante a etapa de segundo corte (sistema de discos). A grande maioria das bolachas partidas na sua extremidade, identificadas nos gráficos como partidas na ponta, é quebrada nos sistemas de correias. A

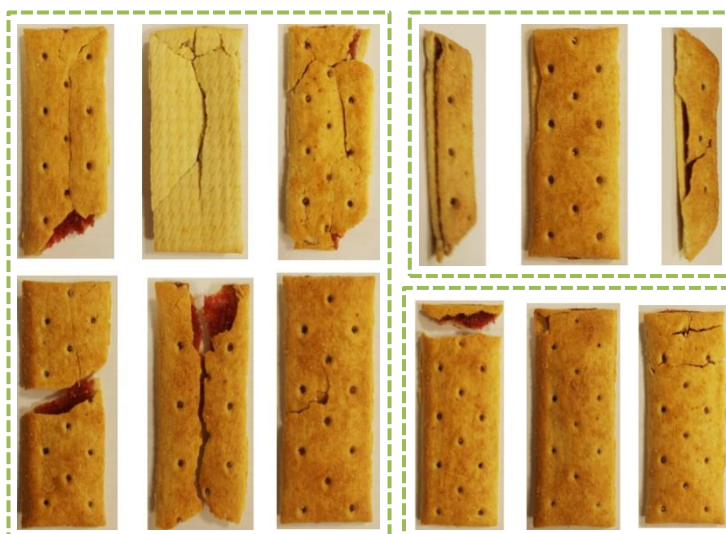


Figura 33: Exemplo de bolachas partidas a meio (à esquerda), partidas de lado (à direita, em cima) e partidas na ponta (à direita, em baixo)

elevada quebra de produto nestes equipamentos pode deve-se à pressão exercida por parte das mandíbulas responsáveis pelo corte e selagem da película junto às extremidades das bolachas. Uma percentagem significativa de bolachas partidas a meio é também encontrada nos sistemas de correias. A causa destas quebras poderá estar relacionada com a sucção realizada pelos robôs-apanha-bolachas, que tendem a capturar as mesmas colocando a sua ventosa no centro do produto. Como já referido, bolachas com uma maior espessura tendem a sofrer mais quebras durante o processo de sucção das mesmas. Note-se que, novamente, o sistema de correias 3 durante a produção de ambos os formatos de *Newkcal* apresenta uma percentagem total de bolachas partidas superior aos restantes sistemas de correias. A percentagem de bolachas partidas, sobretudo na extremidade, contabilizada no sistema de correias 2 e 3 são superiores durante a produção de *Newkcal* formato 8, o que estará novamente relacionado com a maior velocidade de trabalho dos equipamentos. Por fim, pode ser referido que as amostras recolhidas na fechadora de cartolinas apresentam também uma totalidade de bolachas partidas elevada. No entanto, dado que este equipamento recebe as

bolachas provindas dos sistemas de correias, a grande maioria do produto partido já provirá destes mesmos equipamentos. Apesar disso, a fase de sucção das saquetas para a sua deposição nas cartolinas poderá também provocar alguns danos no produto.

No Anexo VI encontram-se cartas de controlo \bar{p} (carta de controlo da fração de unidades defeituosas) elaboradas para as etapas anteriores à etapa de embalagem e para cada uma das fases da etapa de embalagem. A partir das cartas de controlo pode ser concluído se o processo em questão se encontra ou não estabilizado, verificando a variabilidade do parâmetro estudado. Se o mesmo se encontrar sempre dentro dos limites de controlo superior (LSC) e inferior (LIC) e estiver igualmente distribuído em torno do valor de \bar{p} (linha central), pode ser concluído que o processo se encontra estável.

Das cartas de controlo apresentadas pode-se concluir a existência de uma grande variabilidade da percentagem de bolachas partidas em todas as fases estudadas. Conclui-se também que todo o processo produtivo parece estar fora de controlo, estando bastante instável. Estas observações deverão ser tidas em conta, de modo a que todo o processo possa ser otimizando, reduzindo-se as percentagens de bolachas partidas obtidas. Nomeadamente dever-se-á tentar encontrar as possíveis razões, casuais ou crónicas, que estão a gerar quebra de produto, sobretudo nos locais mais críticos, ou seja, naqueles onde maior quebra de produto é encontrada. Saliente-se que, durante a construção de todas as cartas de controlo apresentadas, os limites de controlo inferior determinados possuíam valores negativos, pelo que se atribuiu a este limite o valor 0.

6º passo: Definição dos defeitos possíveis de surgir da bolacha *Newkcal*, para além da bolacha partida. Os mesmos tornam o produto não conforme. Assim sendo, os defeitos foram devidamente distinguidos (Figura 34) e exibidos aos operadores, de modo a que o produto não conforme seja retirado da linha de produção, evitando que o mesmo seja embalado.



Figura 34: Defeitos *Newkcal* (da esquerda para a direita): Manto de massa irregular; Geleia exposta; Falta de geleia; Existência de bolhas; Perfuração do manto excessiva

7º passo: Realização de testes de transporte.

Após a distribuição de paletes do produto foi realizada uma contabilização das bolachas partidas, a algumas dessas paletes no local de receção das mesmas. Estes testes têm fundamentalmente como objetivo perceber se o transporte do produto afeta o número de bolachas partidas que chega ao consumidor.

Após a contabilização de bolachas partidas, obtiveram-se os seguintes resultados: 2,56% de bolachas partidas na palete da bolacha *Newkcal Frutos Vermelhos* – formato 8 e 3,08% de bolachas partidas na palete da bolacha *Newkcal Maçã e Canela* – formato 8. Como

tal, conclui-se que o transporte do produto, independentemente do seu sabor, não acarreta consequências na percentagem final de bolachas partidas, uma vez que os valores obtidos encontram-se dentro da gama de percentagens de bolachas partidas contabilizadas imediatamente após a sua etapa de embalagem. Os testes foram apenas realizados em paletes com bolachas *Newkcal* formato 8, uma vez que é durante a produção deste tipo de formato que mais bolachas são quebradas.

Otimizações propostas para a etapa:

Como observado pelos dados apresentados, contabilizam-se, por vezes, percentagens de bolachas partidas muito próximas daquelas definidas como o limite máximo admissível. Assim sendo, seria uma mais valia garantir que estas percentagens são reduzidas, de modo a que o risco de ultrapassar o limite referido seja diminuído.

Foi também concluído que o sistema de correias 3 é aquele que mais contribui para a obtenção de uma maior percentagem de bolachas partidas, apesar de não existir à partida nenhuma razão que justifique este facto. Pode deduzir-se que, possivelmente, algo estará a prejudicar o funcionamento deste sistema, nomeadamente, das mandíbulas formadoras de saquetas. Assim sendo, o problema deveria ser encontrado e solucionado.

4.14 - Reavaliação das especificações definidas para o produto

É política da empresa *Mondeléz*, após 50 turnos de produção da bolacha, verificar se as especificações definidas para a mesma têm sido cumpridas ou, pelo contrário, se a definição destas foi despropositada e necessitam de uma reavaliação e uma redefinição. Deste modo, os dados de controlo registados pelos operadores ao longo do seu turno de produção, referentes à massa, comprimento, largura, espessura e humidade do produto final, foram agrupados e compilados. Em cada turno de trabalho foram analisados os dados registados e calculadas as médias dos parâmetros a estudar. Os resultados obtidos são apresentados na forma de gráfico no Anexo VII. Em cada gráfico está delimitado o valor alvo, limite máximo e mínimo especificado para cada parâmetro.

Deve ser referido que para o parâmetro humidade foram elaborados quatro gráficos, um para cada sabor e de formato da bolacha. O objetivo será perceber se existe a necessidade de definir especificações diferentes para a humidade do produto consoante o seu sabor e formato.

Analisando os referidos gráficos (anexo VII), pode ser concluído que a massa da bolacha é o parâmetro que mais frequentemente se encontra fora do intervalo especificado para a mesma. Na grande maioria dos dias representados (Figura A7 – anexo VII), a massa da bolacha ultrapassa o limite máximo permitido. Como tal, um maior controlo é necessário a fim de corrigir esta tendência e impedir que a massa da bolacha atinja valores acima de 12,5 gramas (limite máximo estipulado). Uma segunda hipótese será redefinir as especificações do parâmetro em questão, permitindo que o mesmo alcance valores superiores. No entanto, tal acarretará maiores custos de produção, uma vez que maior quantidade de matéria-prima terá de ser utilizada para a produção de uma bolacha.

Relativamente ao comprimento, largura e espessura do produto final, o mesmo parece estar, na grande maioria dos casos, conforme as especificações, contudo, em alguns dias denotaram-se algumas não conformidades. Relativamente à espessura, apesar de quase sempre esta se encontrar dentro dos limites especificados (Figura A10 – anexo VII), pode-se observar uma tendência desta para valores próximos do limite máximo estabelecido. Uma vez que o limite em questão foi definido para evitar problemas de embalamento do produto, todos os esforços deverão ser realizados para impedir que a espessura da bolacha o ultrapasse.

Por último pode-se também constatar que a humidade da bolacha *Newkcal*, independentemente do seu sabor e formato, parece na grande maioria das vezes atingir valores que se inserem dentro dos intervalos especificados. Pode ser apenas referido que a humidade da bolacha *Newkcal Maçã e Canela* – formato 6 (Figura A11 – anexo VII), apesar de se encontrar sempre conforme os limites estabelecidos, tende a atingir valores mais próximos do limite mínimo definido (6,5%). A menor humidade desta bolacha, quando comparada à bolacha *Newkcal Maçã e Canela* – formato 8, pode ser justificada pelo facto do seu tempo de cozedura ser superior ao utilizado durante a produção da bolacha *Newkcal* formato 8. A razão pela qual esta bolacha de maçã e canela (formato 6) atinge valores de humidade inferiores ao da bolacha com sabor a frutos vermelhos do mesmo formato, poderá estar relacionada com o facto da geleia de maçã e canela possuir um a_w ligeiramente inferior (0,64) ao a_w da geleia de frutos vermelhos (0,65). Assim sendo, poderá ser necessário a redefinição das especificações de humidade para esta bolacha em particular. Uma opção que parece viável para tal seria: 6% como valor do limite mínimo, 7% como o valor alvo e 8% como o limite máximo.

Conclusão

Ao longo de todo o processo de transferência da produção da bolacha *Newkcal* da escala piloto para a escala industrial tornou-se claro a complexidade do mesmo. Dificuldades inesperadas surgiram, resultantes da produção contínua e em larga escala. Problemas como os ocorridos na etapa de deposição de geleia, nomeadamente, as falhas e entupimentos observados, nunca antes tinham surgido nem nos ensaios de produção à escala piloto, nem nos testes realizados ao equipamento ainda na sua empresa fornecedora. Deste modo, a estabilização do processo de produção à escala piloto não garante de um modo absoluto que o mesmo processo de produção à escala industrial decorrerá sem complicações. Ainda assim, gradualmente as dificuldades encontradas foram sendo resolvidas e as etapas do processo de fabrico da bolacha, os seus parâmetros de trabalho e até mesmo a receita do produto, foram sendo reajustados à medida que necessário.

Apesar de funcionarem como guias de apoio, os parâmetros de trabalho das várias etapas do processo de produção estabelecidos à escala piloto não são de todo os mesmos utilizados à escala industrial, tendo estes sido ajustados gradualmente, por meio de tentativa e erro, de modo a otimizar cada uma das etapas do processo de fabrico. Grande parte dos ajustes efetuados, em cada operação unitária envolvida no fabrico da bolacha, foi realizada recorrendo a métodos iterativos e com base no conhecimento empírico da equipa envolvida no projeto *Newkcal* e presente na unidade fabril durante os ensaios de produção.

Deve ser salientado que todas as etapas do fabrico da bolacha estão totalmente interligadas, pelo que a variação de parâmetros de trabalho numa das fases do fabrico do produto, trará, muito provavelmente, consequências numa posterior etapa do processo de produção, pelo que os parâmetros de trabalho dessa etapa terão também de sofrer modificações. É crucial que as soluções implementadas, para a resolução de um dado problema ou dificuldade, não comprometam de modo algum a estabilização já alcançada em outras fases do processo de produção, bem como o cumprimento das especificações por parte do produto final.

A definição de parâmetros de trabalho, utilizados ao longo do fabrico da bolacha *Newkcal*, é essencial para a obtenção de um produto final cujas características estejam de acordo com as especificações definidas para o mesmo. Deste modo, sempre que decorra a produção da bolacha *Newkcal* os parâmetros de trabalho estipulados devem ser cumpridos, de maneira a que decorra a elaboração de um produto final conforme.

Os ensaios de produção à escala piloto mostram-se sobretudo fundamentais para tornar possível o pré-estabelecimento de especificações para o produto final. Como já mencionado, durante a implementação do projeto à escala industrial visa-se sempre que possível o cumprimento destas especificações pré-definidas. No caso do projeto *Newkcal*, foi relativamente fácil o cumprimento das especificações pré-definidas à escala piloto (Tabela 29). Relativamente ao comprimento e largura da bolacha, não foi possível uma maior aproximação das especificações finais aos valores pré-estabelecidos. No entanto, a maior largura e comprimento alcançado pela bolacha não impede nem prejudica o seu embalamento. A espessura final definida acabou por ser inferior à pré-estabelecida, de modo a evitar-se a formação de bolhas na bolacha durante a sua cozedura. O intervalo delimitado para a humidade do produto final foi redefinido devido a ter-se mostrado impossível o alcance de valores de humidade inferiores. No entanto, tal não acarreta, à partida, problemas de qualidade e segurança para o produto.

Bibliografia

Almond, Noel (1989). Biscuits, Cookies and Crackers. Vol 2: *The biscuit making process*. England: Elsevier.

Almond, Noel *et al.* (1991). Biscuits, Cookies and Crackers. Vol 3: *Composite Products*. England: Elsevier.

Bloskma, A.H. (1971). Rheology and chemistry of dough, in: *Wheat Chemistry and Technology*. 2^a ed., pp. 558–560. American Association of Cereal Chemistry, Saint Paul, Minnesota.

Cauvain, Stanley P.; Young, Linda S. (2006). *Baked Products: Science, Technology and Practice*. United Kingdom: Buckinghamshire.

Codex Alimentarius – International Food Standards, *Codex General Standard for Food Additives (GSFA)*. 192-1995.

Dairy Export Council (2009). *Sweet Whey Powder: Basic guidelines for composition, physical and chemical aspects*. Arlington, USA.

Dendy, D. A. V.; Debraszczyk, B. J. (2001). *Cereal and cereal products: chemistry and technology*. Gaithersburg, Maryland, USA: Aspen Publishers.

Doran, Pauline M. (1995). *Bioprocess Engineering Principles*. (s.l.): Academic Press.

Edwards, W. P. (2007). *The science of bakery products*. Cambridge, UK: RSCPublishing.

Fellows, P. J. (2006). *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. 2^a ed. Porto Alegre: Artmed.

Hadiyanto *et al.* (2005). *Heat and mass transfer during baking: product quality aspects*. Krakow, Polónia: Eurotherm.

Holland F. A.; Chapman F. S. (1966). *Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks*. New York, United States: Reinhold

Hui, Y. H. *et al.* (2006). *Baked products: science and technology*. Iowa, USA: Blackwell Publishing.

- Incropera, Frank P. *et al.* (2007). *Fundamentos e Transferência de Calor e Massa*. Rio de Janeiro, Brasil: LTC.
- Kraft Foods Inc. (2011). *Annual Report: pursuant to section 13 and 15d*. Thomson Reuters Accelus.
- Manley, Duncan (1996). *Technology of biscuits, cracker and cookies*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
- Manley, Duncan (1998a). *Biscuit, cookie and cracker manufacturing manual 1: Ingredients*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Manley, Duncan (1998b). *Biscuit, cookie and cracker manufacturing manual 2: Biscuit dough*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Manley, Duncan (1998c). *Biscuit, cookie and cracker manufacturing manual 3: Biscuit dough piece forming*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Manley, Duncan (1998d). *Biscuit, cookie and cracker manufacturing manual 4: Baking and cooling of biscuit*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Manley, Duncan (1998e). *Biscuit, cookie and cracker manufacturing manual 6: Biscuit packaging and storage*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Manley, Duncan (2001). *Biscuit, cookie and cracker recipe for food industry*. England: Woodhead Publishing Limited.
- .
- Marcelino, J. (2008). *Desenvolvimento de uma mistura integral e orgânica para bolo sabor chocolate com cobertura orgânica sabor chocolate*. Monografia (Especialização) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Mathewson, P.R. 2000. Enzymatic activity during bread baking. *Cereal Food World*. Vol. 45: pp.98-101.
- Moraes, K. S. *et al.* (2010). *Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variação nos teores de lipídeo e açúcar*. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, Brasil.
- Moretto, Eliane; Fett, Roseane (1999). *Processamento e análise de biscoitos*. São Paulo, Brasil: Livraria Varela.

Pylar, E. J., Gorton, L. A. (1998). *Baking science & technology*. Vol. 2. Kansas, USA: Sosland Publishing Company.

Reis, José (2012). *Medidas do coeficiente de transferência de calor em forno combinados*. Dissertação (Mestrado). Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, Brasil.

Sumnu, S. G.; Sahin, S. (2008). *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. USA: CRC Press.

Szczesniak, Alina (2001). *Food Quality and Preference: Texture is a sensory property*. New York, USA: Elsevier.

The Nielson Company: *Nielsen – Anuário Food 2010* (2011)

Tromp, R. et al. (2003). On the mechanism of stabilization of acidified milk drinks by pectin. *Food Hydrocolloids. Journal Elsevier*, Vol. 18: pp. 565

Vitti, P.; Garcia, E. E. C.; Oliveira, L. M. (1998). *Tecnologia de biscoito, manual técnico nº1*. Campinas, Brasil: Instituto de Tecnologia de Alimentos. pp. 86

Wade, Peter (1988). *Biscuits, cookies and crackers*. Vol 1. The principles of the craft. England: Elsevier.

Wieser, H. (2003) *The use of redox agents*. In: *Breadmaking Improving Quality*. pp. 424–46. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Webgrafia

Kraft Foods Company. Acedido a 29 de Janeiro de 2013 em:
<http://pteu.kraftfoodscompany.com/KFE/About/index.aspx>

Tate & Lyle (fornecedor amido de milho pré-gelatinizado). Disponível em:
<http://www.tateandlyle.com/ingredientsandservices/chooseaningredientorservice/asiapacific/pages/foodstarches-instant.aspx>. Acedido a 24 de Abril de 2013.

Anexos

Anexo I

Desenhos técnicos da linha de produção: etapa de calibração

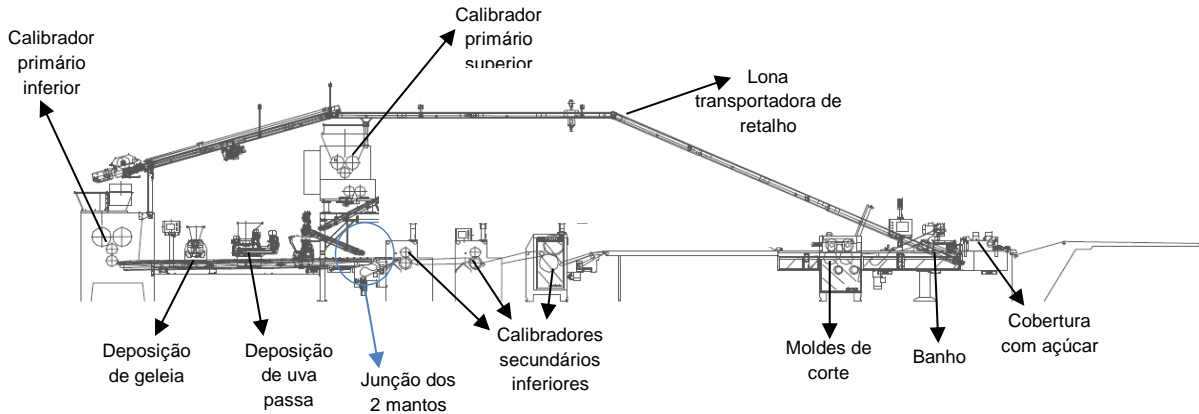


Figura A1: Desenho técnico representativo dos equipamentos de calibração – processamento da bolacha *Fruit & Fit* (antes da aquisição de equipamentos para processamento da bolacha *Newkcal*) (Fonte: *Mondeléz International, Inc.*)

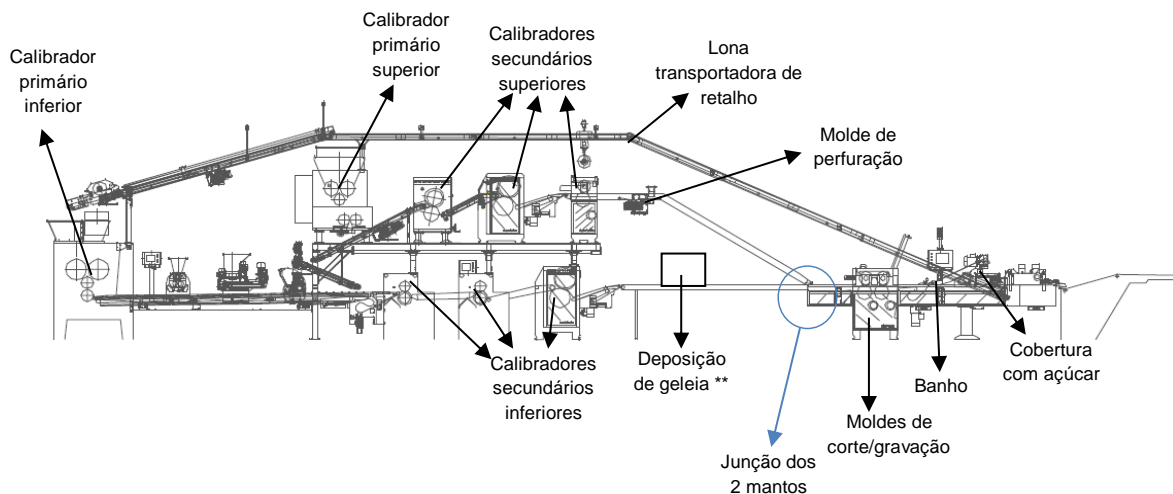


Figura A2: Desenho técnico representativo da zona de calibração – processamento da bolacha *Newkcal** (Fonte: *Mondeléz International, Inc.*)

* No desenho técnico representado pela Figura A2 estão apenas legendados os equipamentos utilizados para o fabrico de *Newkcal*.

** Não foi possível representar devidamente o equipamento de deposição de geleia.

Anexo II

Representação esquemática da produção da bolacha *Newkcal*.

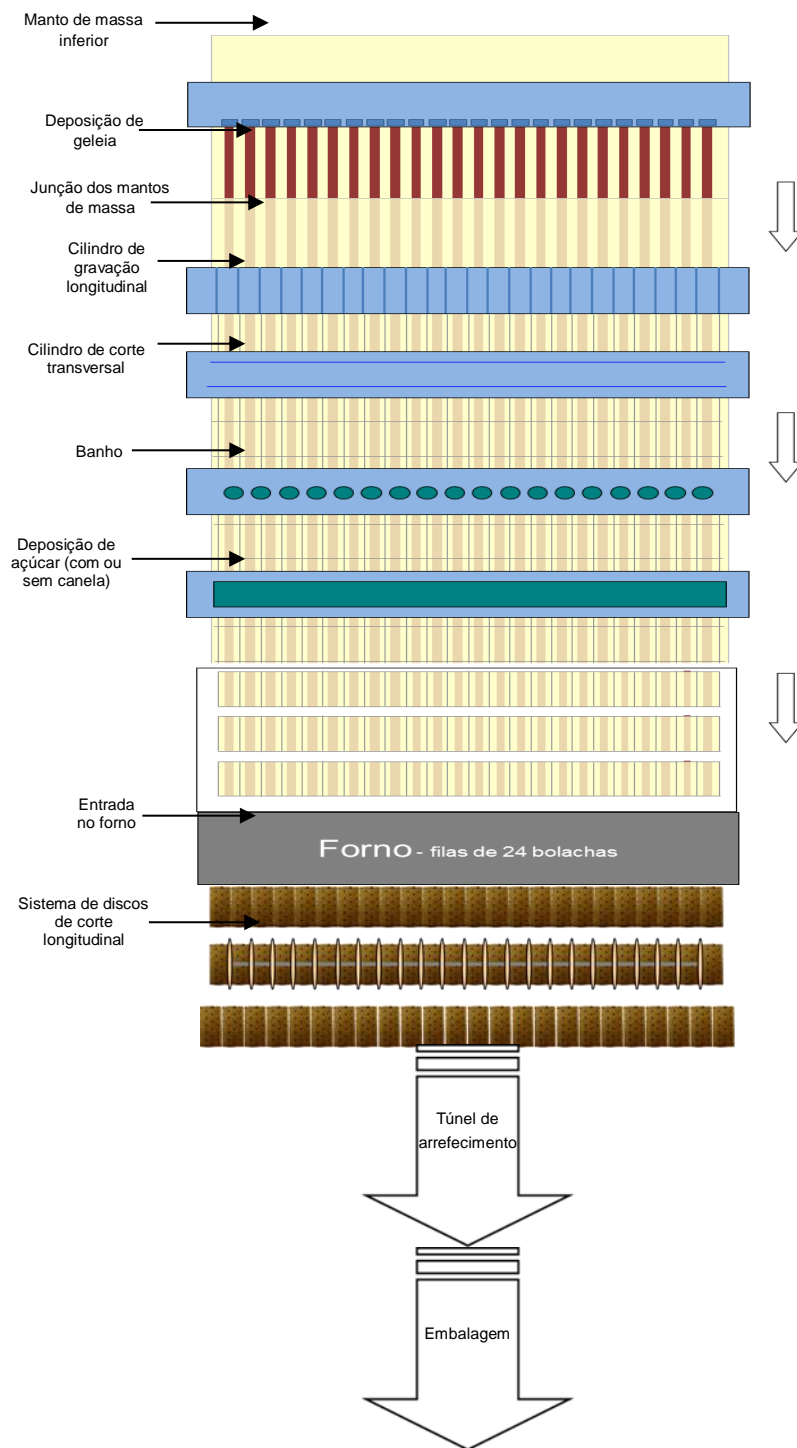


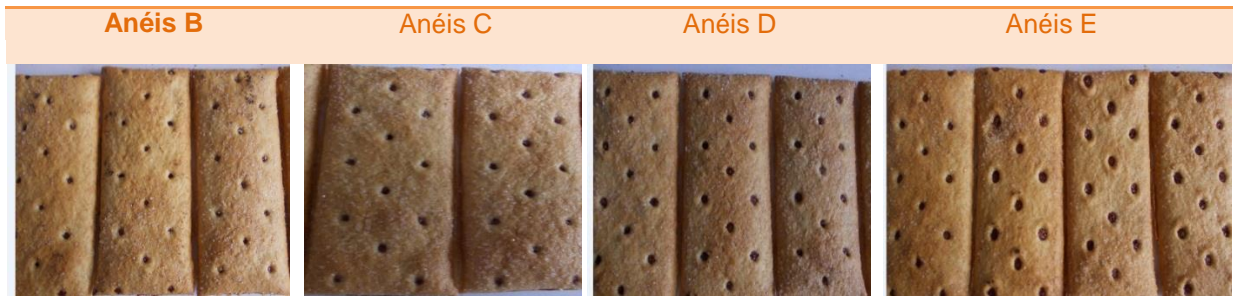
Figura A3: Esquema de produção da bolacha *Newkcal*

(Fonte: *Mondeléz International, Inc.*)

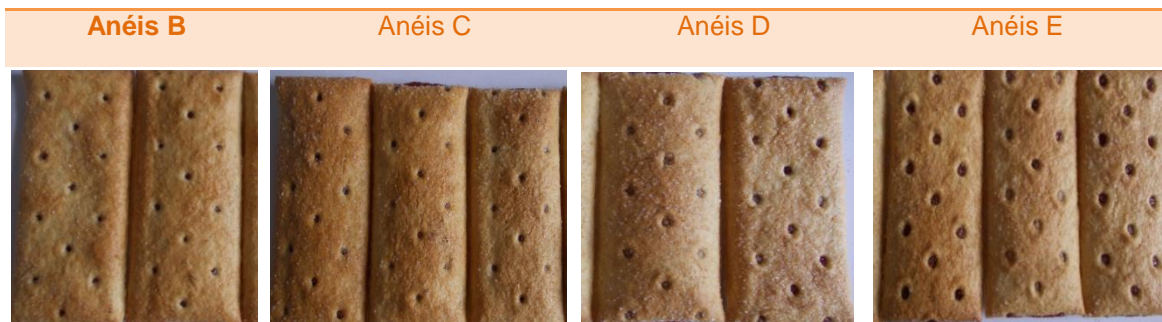
Anexo II

Resultados dos testes de experimentação dos diferentes anéis de superfície picotada, utilizados na etapa de perfuração do manto de massa superior: Produto final perfurado com os diferentes anéis testados, utilizando o molde em diferentes posições, ou seja, exercendo diferentes pressões sobre o manto de massa.

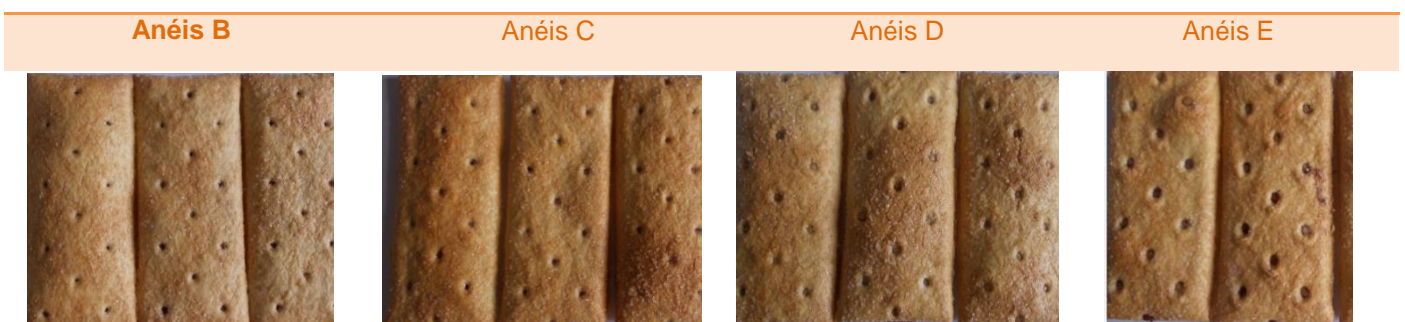
Posição do molde de perfuração: 35 valores



Posição do molde de perfuração: 33 valores








Posição do molde de perfuração: 32 valores






Anexo IV




Especificações finais definidas para a cor do topo da bolacha *Newkcal Maçã e Canela*.

Especificação de cor <i>NewKcal Maçã Canela</i> Topo da Bolacha			
Cor Fora de Especificação	Limite Mínimo	Alvo	Limite Máximo
Muito Clara	Cor clara	Cor Objectivo	Cor Escura
L: 72,49; C*: 34,94; hº: 88,73	L: 68,55; C*:35,67; hº: 84,48	L: 65,57; C*: 38,19; hº: 79,39	L: 61,43; C*: 39,27; hº: 75,28
			
			Cor Fora de Especificação Muito Escura
			L: 56,92; C*: 37,36; hº: 72,89
			

Anexo V

Especificações finais definidas para a cor do topo da bolacha *Newkcal Frutos Vermelhos* e para a cor do fundo das bolachas *Newkcal*.

Especificações de cor <i>NewKcal Frutos Vermelhos</i>		
Topo da Bolacha		
Limite Mínimo	Alvo	Limite Máximo
Cor clara	Cor Objetivo	Cor Escura
L: 71,66; C*: 36,96; hº: 87,2	L: 67,54; C*: 38,12; hº: 82,73	L: 62,43; C*: 38,32; hº: 78,39
		

Especificações de cor <i>NewKcal</i>		
Fundo da Bolacha		
Cor Fora de Especificação	Alvo	Cor Fora de Especificação
Muito Clara	Cor Objetivo	Muito Escura
L: 79,67; C*: 27,42; hº: 97,79	L: 78,16; C*: 31,13; hº: 93,68	L: 74,79; C*: 32,99; hº: 90,79
		

Anexo VI

Cartas de Controlo \bar{p} elaboradas para as etapas anteriores à etapa de embalagem e para as várias fases da etapa de embalagem da bolacha *Newkcal*.

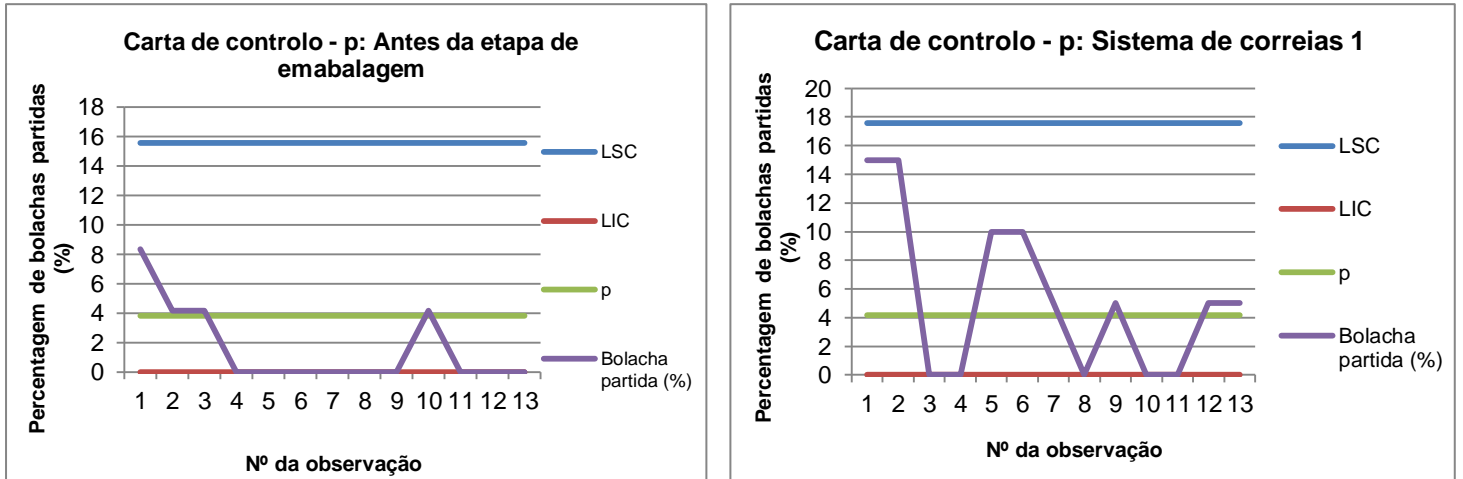


Figura A4: Carta de controlo para a fase anterior à etapa de embalagem (à esquerda) e carta de controlo para o sistema de correias 1 (à direita)

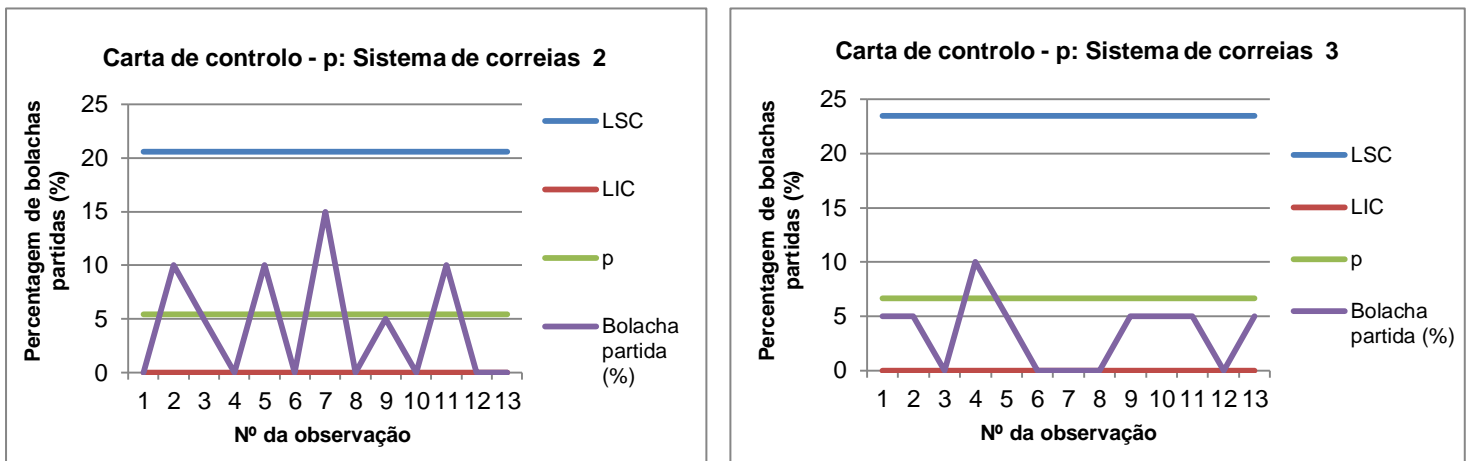


Figura A5: Carta de controlo para o sistema de correias 2 (à esquerda) e carta de controlo para o sistema de correias 3 (à direita)

Anexo VI (Continuação)

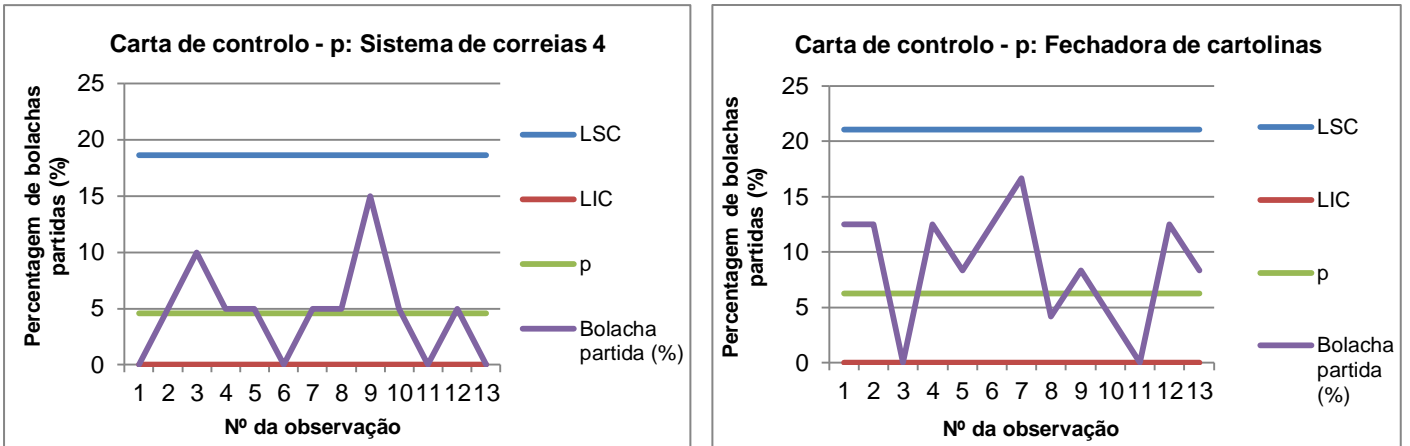


Figura A6: Carta de controlo para o sistema de correias 4 (à esquerda) e carta de controlo para a fechadora de cartolinas (à direita)

Anexo VII

Gráficos representativos da variação da massa (peso), comprimento, largura, espessura e humidade da bolacha *Newkcal* ao longo de 50 turnos de produção. Para cada gráfico são representados os valores alvo, limites mínimos e máximos especificados para o parâmetro em estudo, a fim de se verificar a conformidade do produto final.

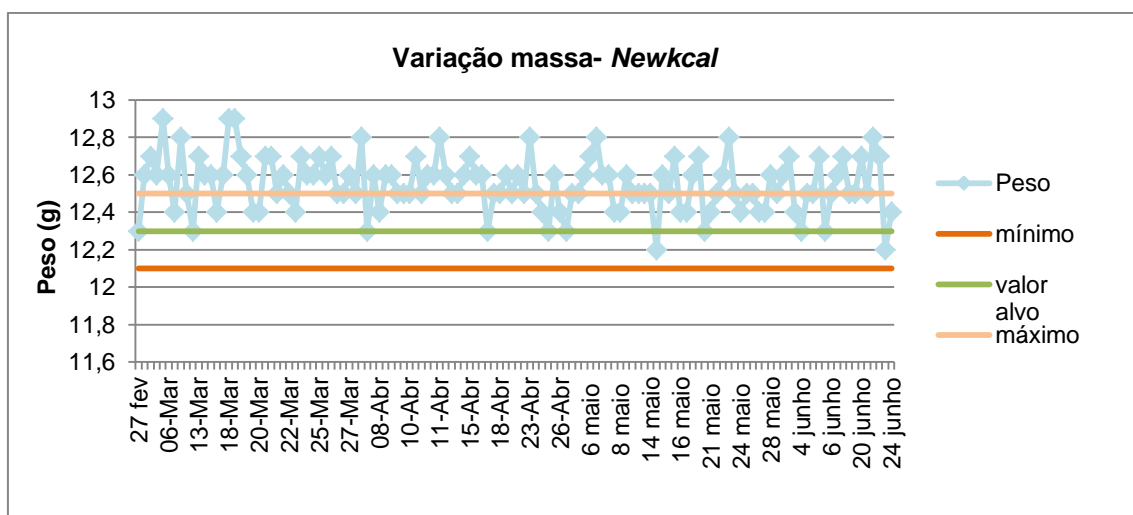


Figura A7: Variação da massa de *Newkcal* ao longo de 50 turnos de produção

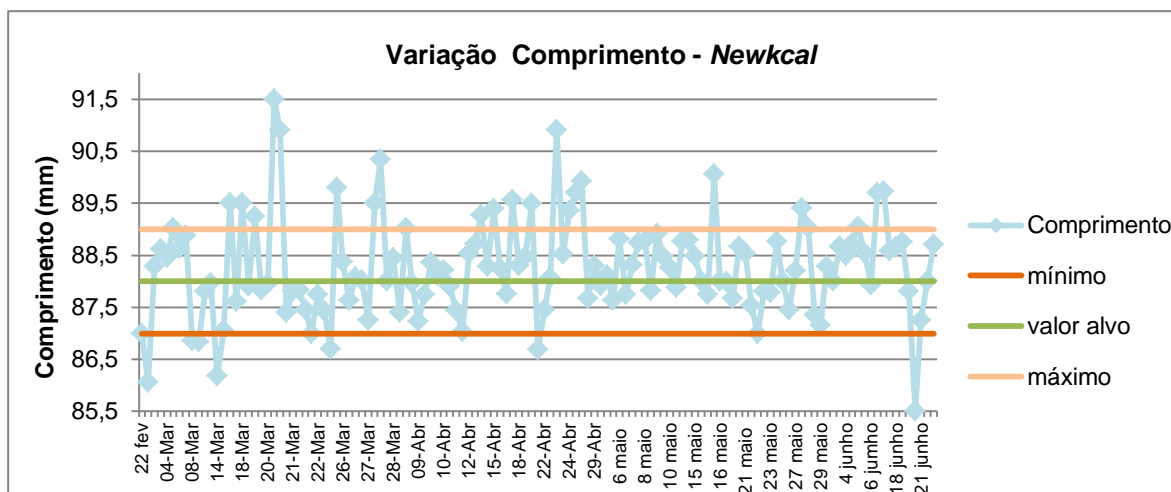


Figura A8: Variação do comprimento de *Newkcal* ao longo de 50 turnos de produção

Anexo VII (Continuação)

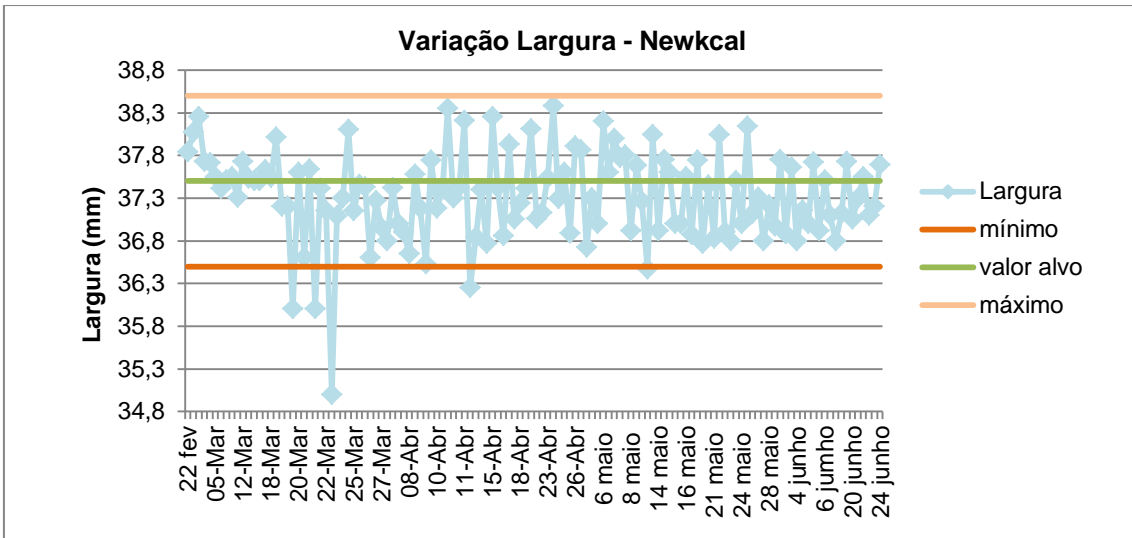


Figura A9: Variação da largura de *Newkcal* ao longo de 50 turnos de produção

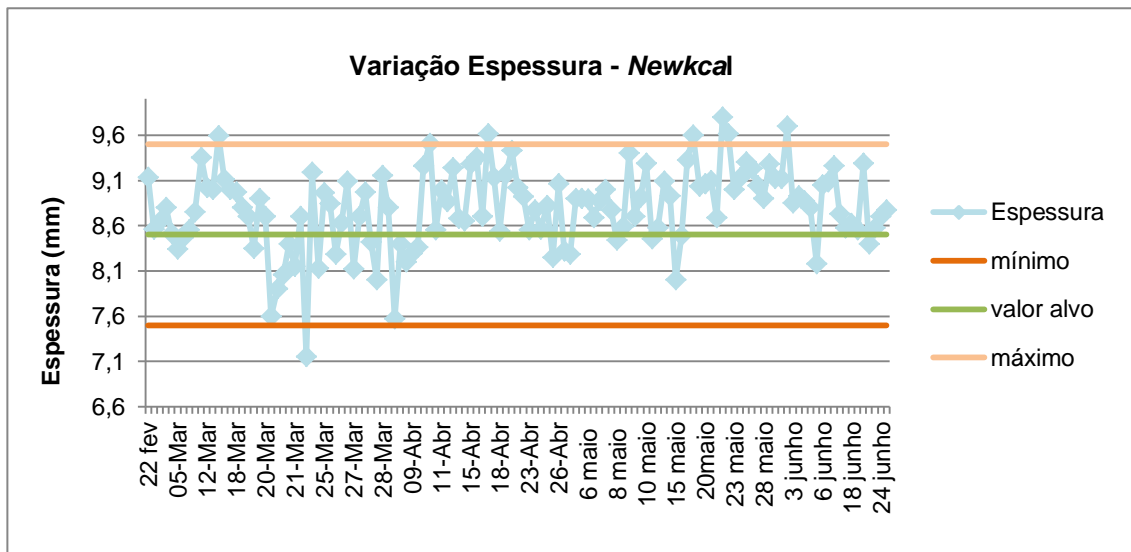


Figura A10: Variação da espessura de *Newkcal* ao longo de 50 turnos de produção

Anexo VII (Continuação)

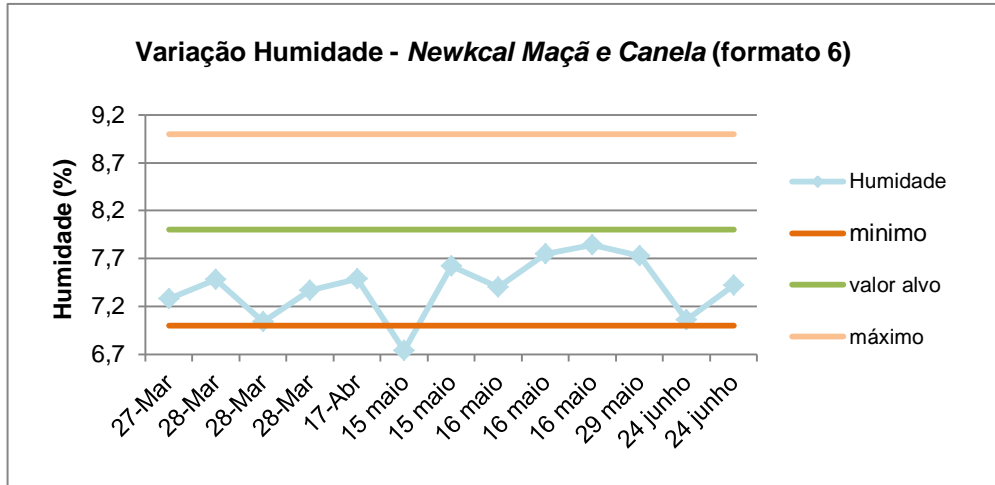


Figura A11: Variação da humidade de *Newkcal Maçã e Canela* (formato 6) ao longo de 50 turnos de produção

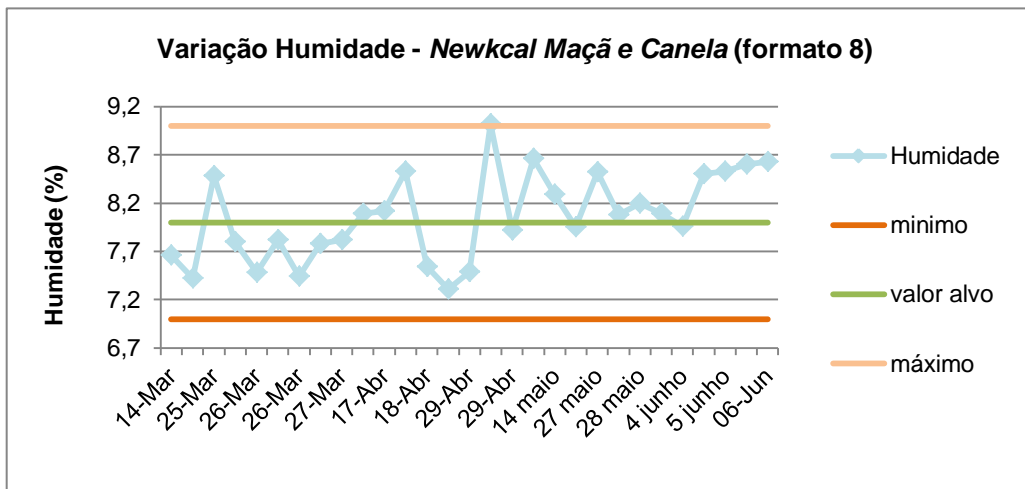


Figura A12: Variação da humidade de *Newkcal Maçã e Canela* (formato 8) ao longo de 50 turnos de produção

Anexo VII (Continuação)

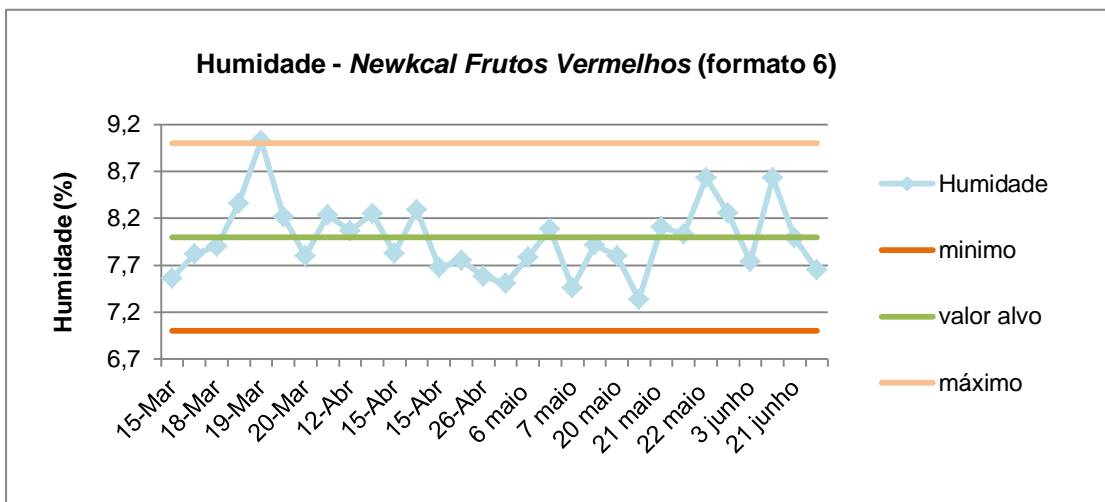


Figura A13: Variação da humidade de *Newkcal Frutos Vermelhos* (formato 6) ao longo de 50 turnos de produção

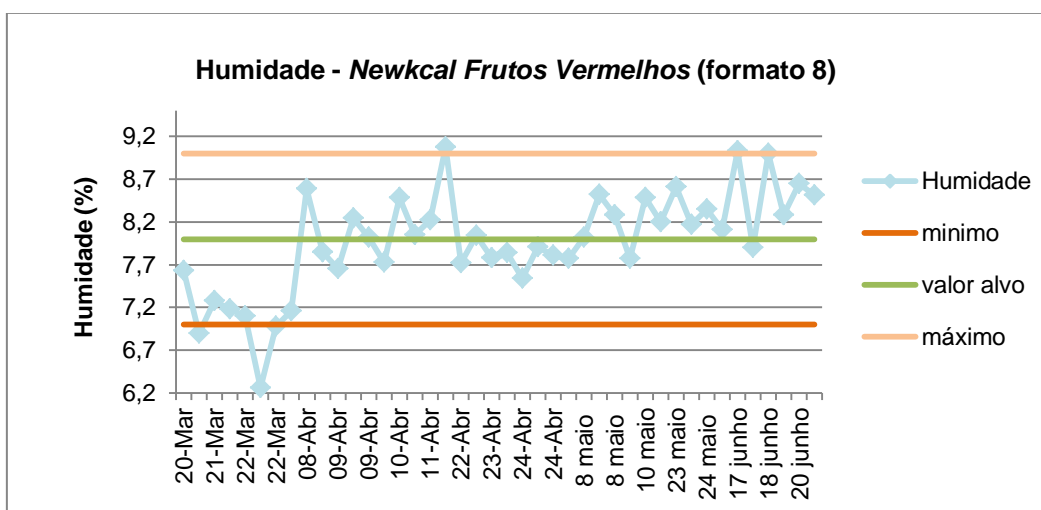


Figura A14: Variação da humidade de *Newkcal Frutos Vermelhos* (formato 8) ao longo de 50 turnos de produção