

DESENVOLVIMENTO DE MIXES DE PANIFICAÇÃO ISENTOS DE GLÚTEN A PARTIR DE SUBPRODUTOS ALIMENTARES

Joana Ferreira da Silva

Dissertação para obtenção do grau mestre em

Engenharia Alimentar

Orientador: Doutora Anabela Cristina da Silva Naret Moreira Raymundo

Co-orientador: Doutora Isabel Maria Nunes de Sousa

Júri:

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

Vogais: Doutora Anabela Cristina da Silva Naret Moreira Raymundo, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Carla Maria Cadete Martins Moita Brites, Investigadora Auxiliar com Agregação do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P .

Lisboa, 2014

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio e colaboração de várias pessoas que contribuíram, de certa forma, para a realização deste estudo. Por isso quero agradecer:

- ❖ À Doutora Anabela Raymundo pela orientação, disponibilidade, apoio, críticas construtivas e sugestões ao longo de todo este período.
- ❖ À Doutora Isabel Sousa pela sua colaboração e sugestões durante os estudos efetuados.
- ❖ À Engenheira Patrícia Fradinho e aos restantes técnicos de laboratório do PAI, pelo apoio e esclarecimento de dúvidas nos ensaios experimentais.
- ❖ À minha família, aos meus pais e irmãos, pelo apoio, carinho e confiança em mim, pois sem o seu incentivo seria mais difícil chegar até aqui. Muito obrigada por tudo.
- ❖ Ao meu namorado, Pedro Fialho, pelo apoio e paciência ao longo desta etapa de mestrado.
- ❖ Às minhas queridas colegas de mestrado, Diana Penim, Joana Rufino, Laura Carrilho e Margarida Faísca pelo grande apoio em todos os momentos durante esta fase.
- ❖ Às minhas amigas de sempre Inês Luíz, Lúgia Figueiredo, Sara Carvalheiro, Vanessa Luíz e Vera Goes pelo seu apoio incondicional.
- ❖ A todos os colegas de mestrado pelo convívio durante o período de mestrado.
- ❖ A todos os professores do Mestrado pela transmissão de experiências e conhecimentos.
- ❖ Às indústrias Nova Arroz e Valente Marques que cederam as farinhas e farelos de arroz.
- ❖ A todos que não denominei e participaram direta ou indiretamente na concretização deste estudo.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

Atualmente, devido ao aumento do número de pessoas intolerantes ao glúten, o mercado de produtos isentos de glúten tem vindo a progredir, no entanto, os produtos são quase todos importados e com preços muito elevados. O principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de mixes de panificação isentos de glúten a partir de subprodutos da indústria de arroz. Foi produzida uma formulação base fundamentada em várias receitas, que posteriormente foi melhorada com a adição de ovo fresco e em pó. Realizaram-se estudos a nível de textura e reologia das massas, estrutura interna e textura dos pães, cor e a_w (atividade da água) dos miolos, e de capacidade de expansão das massas ao longo da fermentação (percentagem *over-run*). Verificou-se que a formulação com adição de ovo em pó apresentou uma massa mais forte e com maior grau de estruturação, relativamente a um mix já existente no mercado. Esta formulação, comparativamente com as formulações acrescentadas de ovo fresco e isentas de ovo apresentou melhor estrutura interna, menor firmeza ao longo de quarenta e oito horas e valores superiores de percentagem *over-run*, aproximando-se assim das características do pão pretendido.

Palavras-chaves: farinha de arroz; farelo de arroz; pão isento de glúten; subprodutos; ovo.

ABSTRACT

Currently, due to the increasing number of gluten intolerant people, the market for gluten-free products has progressed, however, the products are mostly imported and present highly priced. The main objective of this work was the development of gluten-free baking mixes from the by-products of rice industry. A base formulation was produced, based on several recipes, which was subsequently improved with the addition of fresh and powdered egg. Tests were performed in terms of rheology and texture of the dough, the internal structure and texture of the breads, color and aw (water activity) of the crumbles and expandability of the dough throughout the fermentation (over-run percentage). It was found that the formulation with the addition of egg powder presented a stronger dough, with greater structure, than an existing market mix. This formulation compared to the formulations with fresh egg added and egg free, showed better internal structure, lower firmness over forty-eight hours and higher values of over-run percentage, being closer to the characteristics of the desired bread.

Key-words: Broken rice flour, rice bran, gluten-free bread, by-products, egg.

EXTENDED ABSTRACT

The market for gluten-free products has been experiencing a growing demand for gluten-free breads, with accessible prices, since gluten-free are imported and highly prices relative to breads with gluten. The main objective of this study was the development of a gluten-free baking mix from by-products of the rice industry. This study purposes the valorization of by-products from the rice industry by developing the formulation of a mix for gluten-free bread less expensive compared to the comercialy existing products. A base formulation was produced, based on several recipes, which was subsequently improved with the addition of fresh and powdered egg. For the preparation of dough the ingredients were mixed in a beater for 10 minutes, subsequently the dough was placed in a rectangular box for fermentation during ninety minutes in a temperature-controlled bath at 37 ° C. After fermentation, the dough was baked in a ventilated electric oven at 180 ° C for 40 minutes. Breads were also produced in the bread machine, the same procedure but with various programs at different time. Tests were performed in terms of texture of rheology and texture of the dough, the internal structure and texture of the breads, color and a_w (water activity) of the crumbles and expandability of the doughs throughout the fermentation period (over-run percentage).

In developing the basic recipe – gluten-free recipe with characteristics already acceptable by the consumer –, it was found that the addition of hydrocolloids, in general, did not favor the characteristics of rice bread because the gluten-free breads presented a very compact crumble structure and reduced number of alveoli and high values of firmness among other parameters. At this stage, the bread with the best characteristics was formulated with rice flour and rice bran, 33.8% water, tapioca starch and potato starch, a smaller amount of yeast and without hydrocolloids, and showed the best overall sensory characteristics, structure, texture and over-run percentage.

In relation to the incorporation of fresh egg or powdered egg, it was concluded that the breads with fresh egg and powdered egg, without oil, were the breads that had the best characteristics. These breads were based on the basic recipe, but with few adjustments, the oil was removed from the formulation and made changes in the percentages of water and flour to incorporate the egg in the recipe.

Regarding the last development stage, the fresh egg bread with different types of flour, it was found that the *carolino* rice flour was most suitable for the production of this type of bread.

Finally, the influence of the processing machine bread in breads with fresh egg and powdered egg. As regard the bread programs, it was found that the faster program (1:40 minutes) was the program in which the bread presented the better form, because it has been found that this type of gluten-free dough might not resist to longer programs. It has been found that the bread with powdered egg was the one that proved to be the final bread with characteristics closer to traditional bread, presenting the better structure, the upper cohesive and lower firmness over of the forty-eight hours, when compared with bread with fresh egg. Comparatively to commercial bread, the bread made from powdered egg has presented a bread with advantages in terms of odor and color, approaching to commercial bread in the level of appearance and taste. However, the commercial bread presenting best characteristics at the level of texture. At the level of viscoelastic properties of the bread with addition of powdered egg proved to be the bread with high values of viscoelastic components relatively to commercial bread, verifying that has a stronger degree of structuring.

It is concluded that the formulation with powdered egg had the best internal structure, less firmness over forty-eight hours and greater over-run percentage when compare to the base formulation and the fresh egg formulation, being closer to the retail mix and to the desired characteristics of bread.

Key-words: Broken rice flour, rice bran, gluten-free bread, by-products, egg.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
EXTENDED ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICES DE TABELAS	xiii
INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS.....	1
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Doença Celíaca	4
1.2. Glúten.....	6
1.3. Arroz.....	7
1.3.1. Estrutura e composição química do grão de arroz.....	7
1.3.2. Variedades de arroz	9
1.3.3. Valorização de subprodutos da indústria arroseira	10
1.4. Panificação isenta de glúten	11
1.4.1. Farinhas e amidos	11
1.4.2. Proteínas	12
1.4.3. Hidrocolóides.....	13
1.4.4. Gorduras e emulsionantes.....	14
1.4.5. Principais etapas de fabrico dos vários tipos de pão.....	15
1.4.5.1. Papel do amido nos produtos de panificação.....	15
1.5. Caracterização do pão: propriedades físicas e sensoriais	16
1.5.1. Comportamento reológico.....	16
1.5.2. Avaliação das propriedades de textura.....	18
1.5.3. Análise Sensorial.....	20
2. MATERIAIS E MÉTODOS	21
2.1. Materiais.....	21
2.2. Métodos.....	21
2.2.1. Processo de fabrico do pão	21
2.2.1.1. Processamento manual (tradicional).....	21
2.2.1.2. Processamento na máquina do pão	22
2.2.2. Desenvolvimento da receita base – Ensaio preliminares	23
2.2.2.1. Formulações de pães isentos de glúten.....	23
2.2.3. Otimização da receita base - Incorporação de ovo fresco ou em pó.....	23

2.2.3.1.	Formulações com adição de ovo	24
2.2.4.	Avaliação da aparência da estrutura interna dos pães.....	25
2.2.5.	Análise instrumental da cor do miolo do pão.....	25
2.2.6.	Avaliação da textura da massa e pão	25
2.2.7.	Análise da atividade da água (aw) do miolo do pão	26
2.2.8.	Avaliação do aumento de volume da massa ao longo da fermentação..	26
2.2.9.	Propriedades viscoelásticas das massas de pão.....	26
2.2.10.	Análise Sensorial.....	27
2.2.11.	Análise Estatística	28
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1.	Análise de mercado – Mixes de panificação	29
3.2.	Avaliação das propriedades físicas dos pães para o desenvolvimento da receita base	30
3.2.1.	Aparência da estrutura interna dos pães produzidos para o desenvolvimento da receita base.....	30
3.2.2.	Avaliação da textura dos pães produzidos, com e sem hidrocolóides, para desenvolvimento da receita base.....	31
3.2.3.	Avaliação dos vários parâmetros de cor dos pães desenvolvidos para a receita base	33
3.2.4.	Atividade da água (aw) dos pães para desenvolvimento da receita base	34
3.2.5.	Avaliação da capacidade de expansão das massas ao longo da fermentação no desenvolvimento da formulação base.	35
3.2.6.	Análise do perfil de envelhecimento da formulação com as melhores características (receita base - 56% de água, sem hidrocolóides).....	36
3.3.	Efeito da Incorporação de ovo na receita base	36
3.3.1.	Aparência da estrutura interna dos pães produzidos para o desenvolvimento do pão com a adição de ovo.....	37
3.3.2.	Efeito da adição de ovo na textura das massas de pão.	37
3.3.3.	Influência da adição de ovo na textura do pão.....	39
3.3.4.	Impacto da incorporação de ovo na cor dos pães isentos de glúten	41
3.3.5.	Efeito da adição de ovo na atividade da água dos pães produzidos	42
3.3.6.	Efeito da adição de ovo na capacidade de expansão das massas.	42
3.3.7.	Impacto da adição de ovo no perfil de envelhecimento do pão base	43
3.4.	Efeito das farinhas de trinca de arroz agulha e vaporizado no mix de pão otimizado com incorporação de ovo fresco	44

3.4.1.	Avaliação do efeito do tipo de farinha na aparência da estrutura interna do pães com ovo fresco.....	44
3.4.2.	Impacto dos diferentes tipos de farinha de trinca de arroz na textura das massas de pão acrescentadas de ovo fresco	45
3.4.3.	Efeito da variedade de farinha de trinca de arroz no perfil de envelhecimento e coesividade do pão com incorporação de ovo fresco	46
3.4.4.	Efeito do tipo de farinha de trinca de arroz na cor do pão acrescentado de ovo fresco	48
3.4.5.	Efeito do tipo de farinha na atividade da água do pão com adição de ovo fresco	49
3.4.6.	Capacidade de expansão das massas, após fermentação, para os diferentes tipos de farinha de trinca de arroz.	49
3.5.	Efeito do processamento da máquina do pão nas características dos pães comercial e com ovo	50
3.5.1.	Influência do processamento da máquina de pão na aparência da estrutura interna.....	51
3.5.2.	Análise do perfil de envelhecimento e coesividade do pão obtido nas diferentes condições de processamento	51
3.5.3.	Avaliação da cor dos pães produzidos com diferentes condições de processamento	53
3.5.4.	Avaliação da atividade da água nos pães produzidos com diferentes processamentos	54
3.6.	Propriedades reológicas das massas comercial e com ovo em pó	54
3.7.	Análise sensorial dos pães comercial e com ovo em pó	57
4.	CONCLUSÕES.....	59
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	61
	ANEXOS.....	I
	ANEXO I – Poster – 12º Encontro de Química dos Alimentos	II
	ANEXO II – Resumo – 12º Encontro de Química dos Alimentos.....	III
	ANEXO III-Análise Sensorial de Pão sem glúten	IV

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Mucosa intestinal de um indivíduo saudável e (b) de um indivíduo celíaco	4
Figura 2 – Selo da Associação Portuguesa dos Celíacos.....	6
Figura 3- Estrutura do glúten	6
Figura 4 - Esquema do grão de arroz.	7
Figura 5 – Cadeia de amido, constituída por ligações α -1,4 e α -1,6.....	8
Figura 6 - a) Arroz tipo índica; (b) Arroz tipo japónica;	10
Figura 7 - Processo de gelatinização do amido.....	16
Figura 8 - Espectros mecânicos A) Emulsões não estruturadas – gel fraco; B) Emulsões estruturadas – gel forte.....	18
Figura 9 – Texturograma de um testes de perfil de textura	19
Figura 10 - Conceito atual de análise sensorial.....	20
Figura 11 - Fluxograma do processo manual de produção do pão isento de glúten....	22
Figura 12 - Aparência da estrutura interna dos pães desenvolvidos para a receita base.	30
Figura 13 – Análise da firmeza dos pães produzidos com e sem hidrocolóides, 2h após a sua preparação.....	31
Figura 14 – Análise da coesividade dos miolos de pães em estudo.....	32
Figura 15- Análise dos parâmetros $L^*a^*b^*$ dos miolos de pães produzidos para receita base.....	33
Figura 16 – Atividade da água dos miolos dos pães desenvolvidos para a receita base, ao fim de 2h e 48h.	34
Figura 17 – Avaliação da capacidade de expansão das massas desenvolvidas para a receita base, ao fim de 90 minutos de fermentação.	35
Figura 18 – Perfil de envelhecimento do pão produzido a partir da receita base (receita sem hidrocolóides com 56% de água).	36
Figura 19 – Aparência da estrutura interna dos pães controlo (pão de trigo), pão isento de glúten e pães isentos de glúten com ovo.	37
Figura 20 - Firmeza das massas dos pães com e sem adição de ovo após fermentação.....	38
Figura 21- Adesividade das massas dos pães com e sem adição de ovo após 90 minutos de fermentação.	38
Figura 22- Coesividade das massas dos pães com e sem adição de ovo após 90 minutos de fermentação.	39

Figura 23 - Análise do parâmetro de firmeza do miolo dos pães desenvolvidos com ou sem adição de ovo.....	40
Figura 24 - Avaliação da coesividade do miolo dos pães desenvolvidos com e sem ovo.....	40
Figura 25 - Análise dos parâmetros de luminosidade (L*) e cromaticidade (a*b*) dos pães em estudo.	41
Figura 26 - Avaliação da atividade da água dos miolos com e sem adição de ovo, ao fim de 2 e 48h.....	42
Figura 27 - Variação de volume das massas produzidas com ou sem adição de ovo até fermentação completa (1h30min.).....	42
Figura 28 - Perfil de envelhecimento dos pães produzidos com e sem adição de ovo.43	
Figura 29 – Aparência da estrutura interna do pão controlo (farinha de trigo) e pães formulados a partir das farinhas de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado.	44
Figura 30- Firmeza das massas do pão controlo (trigo) e pães obtidos com farinha de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado após 90 minutos de fermentação.	45
Figura 31 - Adesividade das massas do pão controlo (trigo) e pães obtidos com farinhas de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado após 90 minutos de fermentação.....	45
Figura 32 - Coesividade das massas dos pães produzidos com as diferentes farinhas, após fermentação.	46
Figura 33 - Avaliação do perfil de envelhecimento do pão controlo (trigo) e pães com diferentes tipos de farinha de trinca de arroz, ao fim de 2h, 24h e 48h.	47
Figura 34 - Avaliação da coesividade dos miolos de pães com diferentes farinhas.	47
Figura 35- Avaliação da Luminosidade (L*) e parâmetros de cromaticidade (a* e b*) dos pães desenvolvidos com farinhas de trigo e trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado.....	48
Figura 36 - Avaliação da atividade da água dos miolos do pão controlo (trigo) e pães produzidos com diferentes tipos de farinha, ao fim de 2h e 48h.....	49
Figura 37 - Percentagem de <i>over-run</i> das várias massas até fermentação completa (1h30min.)	50
Figura 38 – Aparência da estrutura interna dos pães com ovo fresco, ovo em pó e comercial, produzidos nos vários programas da máquina do pão.....	51
Figura 39 - Avaliação do perfil de envelhecimento dos pães obtidos com diferentes tipos de processamento, após 2h, 24h e 48h.....	52
Figura 40 – Avaliação da coesividade dos miolos de pães desenvolvidos na máquina do pão com diferentes programas.....	52

Figura 41 - Avaliação da Luminosidade (L*) e parâmetros de cromaticidade (a* e b*) dos diferentes pães desenvolvidos na máquina do pão.	53
Figura 42 - Avaliação da atividade da água dos vários miolos de pão ao fim de 2h e 48h.	54
Figura 43 - Espectros mecânicos das massas dos mixes de ovo em pó e comercial, com períodos de fermentação de 1:30h.	55
Figura 44 – Testes de varrimento de tempo aplicados à massas dos mixes de ovo pó e comercial.	56
Figura 45 – Relação entre os espectros mecânicos das massas dos mixes de ovo em pó e comercial, com períodos de 3:00h e 1:30h de fermentação.	57
Figura 46 – Perfil sensorial relativamente aos 6 atributos dos pães com ovo em pó e comercial.	58

ÍNDICES DE TABELAS

Tabela 1 - Possíveis manifestações clínicas da DC.....	5
Tabela 2 - Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e vaporizado polido.....	8
Tabela 3 – Formulações de mixes de pães isentas de glúten;	23
Tabela 4 - Formulações controlo, base e com incorporação de ovo fresco e ovo em pó.	24
Tabela 5 - Comparação dos vários mixes de panificação isentos de glúten, disponíveis no mercado.....	29

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projeto QREN nº38749 “Arroz +” – Valorização de subprodutos da indústria de arroz para produção de alimentos de valor acrescentado.

Atualmente, devido ao aumento do número de pessoas intolerantes ao glúten, o mercado de produtos isentos de glúten tem vindo a progredir, no entanto, os produtos possuem elevados custos e níveis de qualidade inferiores, relativamente aos produtos com glúten.

A doença celíaca (DC) é uma inflamação intestinal crónica estimulada pela ingestão de glúten, proteína característica de vários cereais como o trigo, centeio, cevada, algumas variedades de aveia e híbridos como o triticale. O único tratamento eficaz para a DC consiste numa dieta sem glúten ao longo de toda a vida. O glúten é a fração proteica responsável pelas propriedades viscoelásticas da massa necessárias para produzir pães de boa qualidade (Sciarini, *et al.*, 2012).

O arroz, naturalmente isento de glúten, é um dos cereais de maior produção e consumo no mundo. O seu processamento, descasque e branqueamento, produz elevadas quantidades de subprodutos, nomeadamente o farelo e a farinha de trinca de arroz (Matos e Rosell, 2013).

A farinha de arroz é uma das farinhas de cereais mais adequadas para preparação de produtos sem glúten, devido às suas propriedades naturais, hipoalergénica, baixo teor de sódio e de gordura, e alta quantidade de hidratos de carbono facilmente digeríveis (Sciarini, *et al.*, 2012; Júnior, *et al.*, 2009). Pelo facto de o arroz conter menor quantidade de proteína e ser isento de glúten surge muitas vezes a necessidade de recorrer a outros aditivos que melhorem as suas propriedades tecnológicas, nomeadamente as características viscoelásticas das massas produzidas com farinha de arroz, *e.g.*, gomas, emulsionantes, proteínas ou produtos lácteos (Júnior, *et al.*, 2009). O aproveitamento do farelo de arroz para o desenvolvimento de produtos industrializados é visto como uma mais valia, uma vez que é uma excelente fonte de fibras, vitaminas, minerais, proteínas e lípidos, e ainda possui boa capacidade de absorção de água e óleo, no entanto, a introdução de farelo na panificação resulta em pães de cor mais escura e volume menor que o normal, por isso deve ser utilizado em percentagens reduzidas (Matos e Rosell, 2013; Sabanis, Lebesi e Tzia, 2009). As proteínas do ovo são consideradas uma alternativa para melhorar as características dos pães sem glúten, sendo estudadas como agentes formadores de espuma e

estabilizadores do miolo, criando conseqüentemente uma estrutura de certo modo semelhante às proteínas do glúten (Houben, *et al.*, 2012).

O principal objetivo deste estudo foi o desenvolvimento de mixes de panificação isentos de glúten a partir de subprodutos da indústria de arroz e de outras matérias-primas, com custos acessíveis e apropriadas a doentes celíacos, que dessem origem a um pão semelhante ao tradicional. Mais concretamente, os mixes a desenvolver consistem em misturas de ingredientes secos para a preparação de pão pelo consumidor em casa. Propõe-se, portanto, a valorização de subprodutos da indústria arroseira através da obtenção de um produto de valor acrescentado - mixes de panificação especialmente direcionados para doentes celíacos, que se possam lançar no mercado com custos mais baixos e características sensoriais mais aceitáveis.

O desenvolvimento dos mixes de panificação foi realizado considerando quatro fases fundamentais:

- ❖ Desenvolvimento da receita base: chegar a uma receita isenta de glúten com características já aceitáveis pelo consumidor, a partir de vários ensaios preliminares;
- ❖ Incorporação de ovo fresco e ovo em pó para otimização da receita base;
- ❖ Efeito do tipo de farinha (arroz carolino, agulha e vaporizado) no pão otimizado com adição de ovo fresco;
- ❖ Efeito do processamento da máquina do pão nas características dos pães otimizados com ovo fresco e ovo em pó, comparando com um mix comercial (Mix marca Shar).

Cada uma destas fases foi fundamentada em estudos de avaliação da textura e reologia das massas, estrutura interna e textura dos pães, cor e a_w (atividade da água) do miolo, e aumento de volume ao longo da fermentação (percentagem *over-run*).

A partir dos resultados do presente trabalho foram apresentados um poster (Anexo I) e um resumo (Anexo II) no 12º Encontro de Química dos alimentos apoiados pelas seguintes referências bibliográficas:

- Crockett, R., Vodovotz, P. Le, Y., 2011, *J Food Sci*, 76, 274-282.
- Houben, A., Hochstotter, A., Becker, T., 2012, *Eur Food Res Technol*, 235, 195-208.
- Júnior, M., Bassinello, P., Caliar, M., *et al.*, 2009, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29, 636-641.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., *et al.*, 2007, *J Food Eng*, 79, 1033-1047.
- Maghaydah, S., Abdul-Hussain, S., Ajo, R., *et al.*, 2013, *F Nutr Sci*, 4, 496-502.
- Matos, M., e Rosell, C., 2013, *Food Bioprocess Technol*, 6, 2331-2341.

- Milde, L., Ramallo, L., Puppo, M., 2012, *Food Bioprocess Technol*, 5, 888-896.
- Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C., 2009, *LWT - Food Sci and Technol*, 42, 1380–1389.
- Sciarini, L., Pérez, G., Lamballerie, M., *et al.*, 2012, *Food Bioprocess Technol*, 5, 1724–1732.
- Sciarini, L., Ribotta, P., A. León, *et al.*, 2010, *Food Bioprocess Technol*, 3, 577–585.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Doença Celíaca

A doença celíaca (DC) é uma doença com prevalência de 1-2% a nível mundial e com um aparente aumento de incidência. Este facto tem sido reconhecido mundialmente na Europa, no Norte e Sul da América, Norte de África e Austrália, bem como no Médio Oriente e Índia, demonstrando cariz verdadeiramente internacional (Laureati, *et al.*, 2012; AGA Institute, 2006).

A DC é uma inflamação crónica progressiva causada em indivíduos geneticamente predispostos, por intolerância a proteínas do glúten, revelando-se principalmente através de graves lesões da mucosa intestinal, resultando em variáveis graus de má absorção de nutrientes. O doente celíaco produz anticorpos contra o glúten, que agem no intestino delgado, atrofiando-o. Na Figura 1 observa-se a notável diferença entre um intestino saudável e o de um doente celíaco (Cesar, *et al.*, 2006; Butterwortha, *et al.*, 2004).



Figura 1 - (a) Mucosa intestinal de um indivíduo saudável e (b) de um indivíduo celíaco.

Fonte: Adaptado de César, 2006.

As frações tóxicas do glúten são as prolaminas, que se diferenciam de cereal para cereal, no caso do trigo é a gliadina, no centeio a secalina, na cevada a hordeína e na aveia avenina (Cesar, *et al.*, 2006). Mais concretamente, são frações proteicas de α -gliadina que quando submetidas a uma digestão parcial no trato gastrointestinal superior, resultam numa ampla variedade de péptidos, alguns dos quais são responsáveis pelos problemas associados à doença celíaca (AGA Institute, 2006; Cesar, *et al.*, 2006).

As manifestações clínicas da DC variam muito com a idade do paciente, a duração, extensão da doença e a presença de patologia extraintestinal (Tabela 1). Inicialmente, para diagnosticar se o indivíduo é sensível ao glúten são realizadas análises ao sangue, mais concretamente testes serológicos de rastreio que são baseados em anticorpos e posteriormente uma biópsia do intestino delgado para confirmação da doença (AGA Institute, 2006; Green, 2005; Fasano e Catassi, 2001).

A DC pode ser subdividida nas seguintes formas clínicas, "Clássica" dominada pelos sintomas e sequelas da má absorção gastrointestinal, "Atípica" caracterizada pelos escassos ou ausentes sintomas gastrointestinal, com manifestações extra-intestinais

predominantes, "Silente" a DC é assintomática nos indivíduos que têm atrofia das vilosidades na biópsia (AGA Institute, 2006; Green, 2005; Fasano e Catassi, 2001). A evolução das lesões da mucosa do intestino delgado foi classificada segundo alterações histológicas detetadas em relação ao espectro da doença. Segundo a graduação histológica da doença, distinguem-se o grau I e II (quase não se observa atrofia das vilosidades e poucas criptas hiperplásicas), os graus IIIa e IIIb (má absorção, com atrofia parcial das vilosidades e algumas criptas hiperplásicas) e o grau IIIc (atrofia completa das vilosidades, má absorção extensiva e uma marcada hiperplasia das criptas) (AGA Institute, 2006; Green, 2005; Fasano e Catassi, 2001; Rubio, *et al.*, 2013).

Tabela 1 - Possíveis manifestações clínicas da DC.

Sintomas típicos	Sintomas atípicos	Condições associadas
Diarréia crônica	Má absorção secundária	Glúten dependente :
Ausência de crescimento	Anemia sideropénica	Tireoidite auto-imune
Distensão abdominal	Baixa estatura	Hepatite auto-imune
	Osteopenia –redução da densidade óssea	Síndrome de Sjögren
	Abortos recorrentes	Doença de Addison
	Dor abdominal recorrente	Gastrite atrófica auto-imune
	Gases	Glúten independente:
	Dermatite herpetiforme	Síndrome de Down
	Cirrose biliar primária	Síndrome de Turner
	Psoríase	Síndrome de Williams
	Polineuropatia	Cardiopatias congénitas
	Epilepsia	
	Cardiomiopatia Dilatativa	
	Hipo/hipertireoidismo	

Fonte: Adaptado de Fasano e Catassi, 2001.

Atualmente, o único tratamento disponível para os doentes celíacos é uma dieta restrita sem glúten, o que restringe muito a opção desses consumidores, que são obrigados a retirar da sua dieta produtos comuns como as massas, pães, bolos, bolachas, cervejas, entre outros (Cesar, *et al.*, 2006).

Foram já realizadas várias experiências em doentes celíacos que seguiram a dieta sem glúten, na Universidade de Iowa (EUA), onde foi concluído que a eliminação de glúten da dieta de doentes celíacos levou a melhorias substanciais dos sintomas, sendo comprovado que a diarreia, a dor abdominal e o inchaço na maioria dos pacientes respondeu positivamente (Murray *et al.*, 2004).

Para facilitar e transmitir maior confiança aos doentes celíacos quanto à escolha dos alimentos para a sua dieta, no ano 2009 surgiu o regulamento (CE) nº 41/2009 relativo

à composição e rotulagem dos géneros alimentícios adequados a pessoas com intolerância ao glúten, que afirma que todos os géneros alimentícios industrializados que tenham como objetivo responder às necessidades das pessoas com intolerância ao glúten deverão conter obrigatoriamente no rótulo, as inscrições “teor muito baixo de glúten” ou “isento de glúten”, conforme o caso. Para fins de rotulagem, um produto só pode conter a inscrição «isento de glúten» se o teor de glúten não for superior a 20



Figura 2 – Selo da Associação Portuguesa dos Celíacos.

Fonte: APC, 2014.

mg/kg ou 20ppm no alimento. Também a colaboração da Associação Portuguesa dos Celíacos e a colocação do selo da Associação (Figura 2) nos produtos isentos de glúten contribuem para uma maior confiança por parte dos consumidores.

1.2. Glúten

Em meados de 1900 Thomas Osborne, classificou as proteínas, segundo a solubilidade em quatro categorias: albuminas, globulinas, prolaminas e gluteninas. No trigo, as proteínas estão divididas em proteínas solúveis (albuminas e globulinas) e proteínas de reserva (gliadina e glutenina) que na amassadura dão origem ao glúten, a fonte de destaque das propriedades viscoelásticas da massa (Figura 3). O trigo é o cereal que dá origem à rede de glúten mais

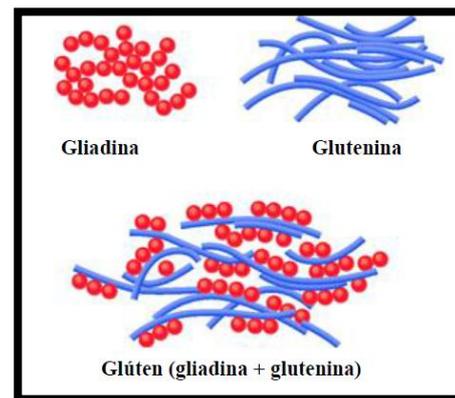


Figura 3- Estrutura do glúten.

Fonte: Adaptado de Castro, 2012.

apropriada à panificação, pois embora todos os outros cereais tenham uma fração proteica semelhante às gliadinas, só o trigo tem uma fração de glutenina em quantidades apreciáveis que confere carácter elástico à massa (depois do trigo, os mais aptos para o fabrico de pão são o centeio e o triticale). As gliadinas são proteínas de cadeias simples que conferem a extensibilidade às massas, sendo estas as responsáveis pela coesividade das massas, enquanto que as gluteninas hidratadas conferem a elasticidade, força e firmeza à massa. Estas duas frações proteicas por ação mecânica perdem a sua estrutura quaternária permitindo estabelecer novas ligações entre si e formar uma espécie de rede, o glúten. O glúten é fundamental na elaboração de produtos panificáveis levedados, pois é a rede proteica do glúten a responsável pela retenção de dióxido de carbono produzido durante o processo de fermentação, e de cozedura nas massas levedadas (Scheuer et al., 2011).

1.3. Arroz

O arroz é considerado o cereal mais importante na história da dieta humana, é o segundo cereal de maior produção e consumo no mundo, com maior cultivo nos países asiáticos e ainda hoje continua a ser a base da alimentação de dois terços da população mundial. Acredita-se que a cultura de arroz (*Oryza sativa L.*) foi iniciada 3000 a.C no Sudeste da Ásia, Índia e China, sendo mais tarde expandida para outros países asiáticos e no século VIII introduzida em Espanha, pela primeira vez em Sevilha, e depois difundiu-se para toda a costa do Mediterrâneo, e por outros meios para Portugal (FAO,2007; Pallarés, *et al.*, 2007).

O arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também proteínas, fibras, minerais e lipídios, e é preferencialmente consumido em forma de grão, mas nos últimos anos têm sido desenvolvidos numerosos produtos em que o arroz é adicionado como um ingrediente, tais como, produtos de pastelaria e panificação (Walter, *et al.*, 2008, Pallarés, *et al.*, 2007).

1.3.1. Estrutura e composição química do grão de arroz

A morfologia do grão de arroz está representada na Figura 4. A casca representa 20% do grão no seu peso total, sendo que a partir do descasque obtém-se o arroz integral, que após remoção do farelo (pericarpo, aleurona e gérmen - 8,5 a 14,8% do arroz integral) torna-se em arroz branco. Os grãos de arroz podem também ser submetidos à vaporização, processo hidrotérmico que dá origem ao arroz vaporizado, arroz que pode ser consumido na forma integral ou branco. A composição do grão é variável, estando sujeita a variações ambientais,

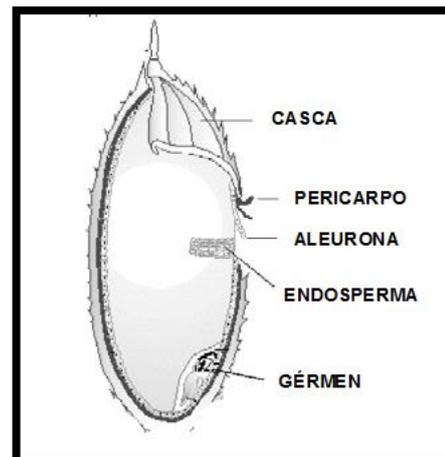


Figura 4 - Esquema do grão de arroz.
Fonte: Adaptado de FAO, 2007.

de processamento e armazenamento, surgindo grãos com características nutricionais diferenciadas. Outro facto, é a distribuição dos nutrientes ser diferente nas várias frações do grão, pois as camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lípidos, fibra e minerais, enquanto a parte central é rica em amido. Por isso, do branqueamento resulta a redução do teor da maioria dos nutrientes (Tabela 2), aumentando somente o teor de amido, alterando assim a composição entre o arroz integral e o branco (FAO,2007; Walter, *et al.*, 2008).

O amido é o nutriente em maioria no grão de arroz, é estabelecido por uma longa cadeia de unidades de glucose, mais concretamente por moléculas de amilose é amilopectina. Quando todas as ligações da cadeia forem do tipo α -1,4 resulta uma

cadeia linear, conhecida por amilose (1000 a 2000 unidades de glucose), mas se em alguns pontos da cadeia houver derivações com ligações α -1,6 resulta uma estrutura ramificada, a amilopectina (100 000 a 1 000 000 unidades de glucose) (Figura 5). As moléculas de amilose e amilopectina unem-se fortemente umas às outras por ligações de hidrogénio e encontram-se sob a forma de grânulos. O amido determina as propriedades e funcionalidade dos grãos de arroz, e estes são em grande parte dependentes da relação amilose/amilopectina, (ANIA, 2010; FAO, 1993).

Tabela 2 - Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e vaporizado polido.

Constituinte	Arroz integral (%)	Arroz branco (%)	Farelo (%)
Amido total	73-87	77-89	34-62
Proteínas	7,1-8,3	6,3-7,1	11,3-14,9
Lípidos	1,6-2,8	0,3-0,5	15,0-19,7
Cinzas	1,0-1,5	0,3-0,8	6,6-9,9
Fibra total	0,6-1,0	0,2-0,5	7,0-11,4

Fonte: Adaptado de FAO, 1993.

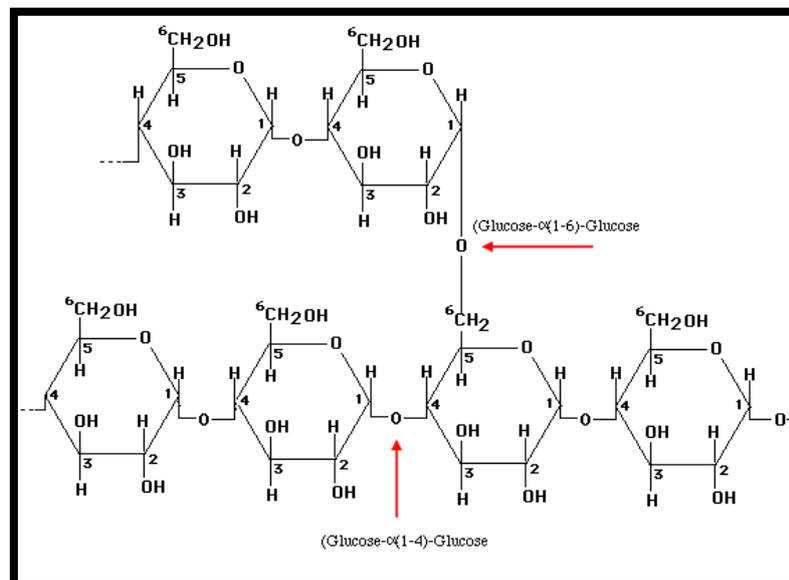


Figura 5 – Cadeia de amido, constituída por ligações α -1,4 e α -1,6.

Fonte: Adaptado de Damodarm, 2010.

A proteína é o segundo constituinte mais abundante do arroz, com valores entre 6,3-8,3% (g de N x 5,95). A concentração de proteínas diminui da superfície para o interior do grão, uma vez que no embrião e camadas de aleurona o seu teor é 20% superior ao do endosperma. No arroz, a relação entre as proteínas albumina:globulina:

prolamina:gluteninas é diferente do resto dos cereais, a maioria são gluteninas em detrimento das prolaminas. O teor de lípidos é mais baixo relativamente ao amido e proteínas, mas tem um papel muito importante nas características sensoriais e funcionais do arroz. Recentemente, verifica-se a participação de compostos lipídicos (insaturados) do arroz contra doenças crónicas, como o cancro e doenças cardíacas, aumentando o interesse em lípidos do ponto de vista nutricional. Outros constituintes em menor percentagem são fibras e minerais, no entanto, como o arroz é preferivelmente consumido como arroz branco, a maioria das fibras e minerais são removidos durante o descasque e branqueamento. O ferro, fósforo, potássio e magnésio são os principais minerais deste cereal (Walter, *et al.*, 2008; Pallarés, *et al.*, 2007).

1.3.2. Variedades de arroz

Tendo em consideração a Legislação aplicável (Decreto-Lei nº 62/2000 de 19 de Abril) os grãos de arroz classificam-se quanto ao comprimento em grãos redondos (comprimento inferior ou igual a 5,2 mm e cuja relação comprimento/largura seja inferior a 2), grãos médios (comprimento superior a 5,2 mm e inferior ou igual a 6,0 mm e cuja relação comprimento/largura seja inferior a 3) e grãos longos (comprimento superior a 6,0 mm e cuja relação comprimento/largura seja superior ou igual a 3).

Existem centenas de variedades de arroz e aparecem continuamente novas variedades, resultantes de melhoramentos e cruzamentos genéticos. No entanto, existem três grandes grupos, o *índica*, *japónica* e *fragrante*, nos quais a principal diferença é tipo de amido presente. O arroz do tipo *índica* (agulhas) é a variedade de grão longo e fino, a mais comum em todo o mundo, na qual o amido é constituído essencialmente pela cadeia linear, a amilose, que proporciona um arroz mais solto, uma vez que não retém tanta água. O tipo de arroz *japónica* (carolinos) é a variedade de grão arredondado, podendo ser mais longo (carolino – mais apreciado e com maior produção em Portugal) ou mesmo quase redondo (médio e curto – mais apreciados em Espanha e Itália), é também a variedade mais apreciada no Japão, precisamente pela sua maior capacidade de absorver sabores, que lhe advém da superior capacidade de absorção de água devido à maior percentagem de amilopectina (Figura 6). As variedades de arroz fragrante são muito semelhantes ao *índica*, as duas principais variedades são basmati e jasmim (ANIA, 2010; Walter, *et al.*, 2008).

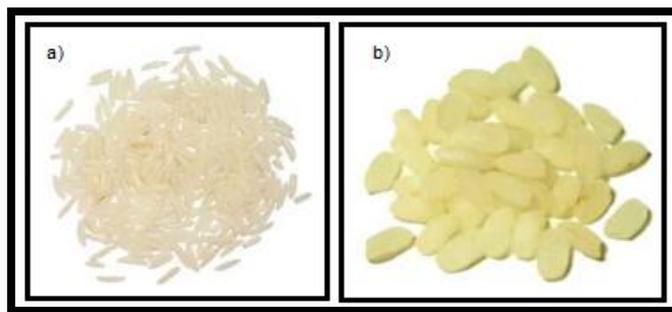


Figura 6 - a) Arroz tipo *índica*; b) Arroz tipo *japónica*;
Fonte: <http://www.cienciaviva.pt/docs/arrozdoce.pdf>, 2014.

1.3.3. Valorização de subprodutos da indústria arroseira

No processamento de arroz produzem-se cerca de 60% de grãos inteiros, 10 % de grãos partidos (trincas), 20% casca, 10% de farelo, dependendo da qualidade dos grãos de arroz e equipamentos utilizados. No processamento de arroz, os grãos partidos são separados dos grãos inteiros de acordo com a qualidade certa, segundo o Decreto-Lei nº 62/2000 de 19 de Abril. Mais tarde, as trincas podem ser separadas por tamanho, dependendo da sua utilização final, loteamento de arroz, farinhas, bebidas fermentadas entre outros produtos (Pallarés, *et al.*, 2007).

Atualmente, o reaproveitamento das trincas de arroz tem resultado, em grande parte, na produção de farinhas de trinca de arroz para utilização em produtos alimentares, especialmente na panificação. A farinha de arroz tem a composição química aproximada ao grão de arroz, assim, as suas propriedades funcionais dependem da variedade de arroz, condições ambientais e métodos de moagem. Os diferentes tipos de farinha de arroz são distinguidos pelo teor de amilose, relacionado com o processo de gelatinização e propriedades viscoelásticas. Dado que as propriedades de gelatinização do amido têm grande influência na panificação, é necessária uma adequada seleção da variedade de arroz utilizada para a obtenção da farinha. Em geral, as variedades de grão agulha apresentam maior teor de amilose, temperatura de gelatinização e conseqüentemente maior tendência à retrogradação que as variedades de grão carolino, por conseguinte, são menos resistentes ao endurecimento durante o armazenamento (Pallarés, *et al.*, 2007; Junior, *et al.*, 2009).

O farelo de arroz é também considerado um subproduto de elevado valor acrescentado, sendo considerado uma excelente fonte de fibras, vitaminas, minerais, proteínas e lípidos. Normalmente o farelo de arroz é utilizado para produção de óleo de farelo de arroz, no entanto, quando desengordurado é acumulado como um subproduto, muitas vezes utilizado para ração animal. As fibras do farelo de arroz possuem boa capacidade de absorção de água e óleo e, por isso, podem contribuir

para o desenvolvimento de vários produtos que requerem essas propriedades. Foram já realizados estudos relativamente a porções de farelo de arroz, com baixo e alto teor de fibras, como alternativa para a substituição de farinha de trigo na produção de pão isento de glúten. A qualidade do pão produzido com essas misturas foi favoravelmente comparada com a de pães formulados a partir de misturas de farinha de trigo e de centeio quanto ao sabor e aroma, no entanto, são produtos que apresentam cor escura e volume menor que o normal (Junior, *et al.*,2009; Phimolsiripol, *et al.*, 2012; Sabanis, *et al.*, 2009).

1.4. Panificação isenta de glúten

A produção de produtos de panificação sem glúten é considerada um grande desafio para os industriais e investigadores, pois neste tipo de produtos o papel exercido pelo glúten durante a preparação da massa tem de ser assumido por outros ingredientes. A ausência de glúten na panificação tem grande impacto nas propriedades viscoelásticas da massa, dando origem a massas pegajosas, pouco coesas e elásticas, e conseqüentemente, a pães com miolo compacto com reduzida porosidade, baixo volume e textura desintegrada. Os pães sem glúten são conhecidos por apresentarem uma qualidade sensorial inferior, comparativamente com os pães de trigo (Mohammadia, *et al.*,2013; Sciarini, *et al.*, 2010). Outra desvantagem na produção destes produtos, é o facto da empresa produtora necessitar de uma linha exclusiva de panificação sem glúten, para que não haja contaminações cruzadas.

Nos últimos anos, devido ao aumento do número de pessoas com DC, o mercado de produtos isentos de glúten tem vindo a aumentar rapidamente devido à carência de produtos para doentes celíacos e aos elevados preços de mercado que os mesmos apresentam.

1.4.1. Farinhas e amidos

Normalmente, as farinhas utilizadas na panificação são farinhas de trigo, centeio, triticale ou mesmo aveia. Entre estas, a aveia deve ser por natureza isenta de glúten, mas devido aos procedimentos de plantação e reprodução, na literatura é considerada não isenta de glúten. Então, todas essas farinhas são proibidas na produção de pão sem glúten, apenas farinhas isentas de glúten, tais como, farinhas de arroz, milho, milho painço, amaranto, trigo sarraceno (sem glúten), quinoa, mandioca, castanha, soja, coco e entre outras, podem ser utilizadas como matérias-primas na padaria isenta de glúten (Matos e Rosell, 2013; Sciarini, *et al.*, 2010). A farinha de arroz é uma das farinhas de cereais mais adequada para produção de pães sem glúten devido ao

baixo nível de prolamina, e além disso, o arroz possui características nutricionais favoráveis, baixo teor de sódio, gordura e alta quantidade de hidratos de carbono facilmente digeríveis, como anteriormente se referiu. No entanto, pelo facto de o arroz conter menor quantidade de prolamina e ser isento de glúten surge muitas vezes a necessidade de recorrer a outros aditivos que melhorem as suas propriedades tecnológicas, nomeadamente as características viscoelásticas das massas produzidas com farinha de arroz, *e.g.*, hidrocolóides, emulsionantes, proteínas ou produtos lácteos. Diversos estudos relataram que o uso de farinha de arroz para fazer pães sem glúten deu origem a pães de boa qualidade, estudos estes baseados principalmente na textura e características sensoriais (Kadan et al 2001;. McCarthy et al 2005.; Ahlborn et al. 2005; Moore et al. 2006; Lazaridou et al 2007; Marco e Rosell 2008a, b; Pruska-Kędzior et al. 2008; Sciarini et al. 2010; Demirkesen et al. 2010[citado em Matos e Rossel,2013]).

Na panificação isenta de glúten também são muito utilizados produtos amiláceos, os amidos ou féculas, para promover a consistência dos alimentos a desenvolver. A diferença entre o amido e a fécula está na parte da planta da qual os produtos amiláceos são extraídos. O amido é extraído da parte aérea da planta enquanto a fécula é retirada da parte subterrânea. Os amidos e féculas mais utilizados na panificação isenta de glúten são principalmente obtidos a partir de arroz, mandioca, batata, milho e trigo sarraceno. O tipo de amido (amilose/amilopectina) pode influenciar a consistência da massa e a taxa de gelatinização/retrogradação, ambos os parâmetros fortemente relacionados com a qualidade do pão. O amido de milho possui maior teor de amilose/temperatura de gelatinização e conseqüentemente menor resistência à retrogradação relativamente ao amido de batata e mandioca. O amido de milho apresenta cerca de 25% amilose e 75% amilopectina, já as féculas de batata e mandioca apresentam cerca de 20% de amilose e 80% de amilopectina (Matos e Rosell, 2013; Sciarini, *et al*, 2010).

1.4.2. Proteínas

Para formar uma rede semelhante à rede da massa de pão com glúten, é usual a utilização de proteínas de origem animal (leite e ovo) ou mesmo de origem vegetal (soja e ervilha) (Pasqualone, *et al.*, 2010; Milde, *et al*, 2012). As proteínas do leite têm um alto valor nutritivo e são também utilizadas devido à sua estrutura química ser semelhante às proteínas de glúten, exemplo disso é o caseinato, um bom emulsionante capaz de estabilizar uma massa, no entanto, grande parte dos doentes celíacos também são intolerantes à lactose. Também as proteínas de leguminosas podem ser úteis na panificação, pois mostram um comportamento de formação de gel

forte e podem ser utilizadas na produção de emulsões e espumas (Houben, *et al.*, 2012; Pasqualone, *et al.*, 2010).

As proteínas de ovo são consideradas uma boa alternativa na produção de pães isentos de glúten, sendo estudadas como agentes de formação de espuma e estabilizadores do miolo. As proteínas da gema do ovo funcionam como emulsionantes, facilitando a dispersão e estabilização das bolhas de gás nos sistemas de massas sem glúten. Quanto às proteínas da clara do ovo, estas são responsáveis pelo processo de formação de gel e da espuma, através de interações hidrofóbicas para retenção da água, transmitindo assim estabilidade à massa. Estudos já realizados evidenciam um aumento do volume do pão e da quantidade de poros por centímetro quadrado devido à adição de ovo em pó (Houben, *et al.*, 2012; Milde, *et al.*, 2012).

1.4.3. Hidrocolóides

Por convenção, os hidrocolóides são polissacarídeos classificados nas seguintes categorias: as gomas naturais (derivados de plantas e animais), os modificados bioquimicamente e os microbianos. Os hidrocolóides derivados de plantas podem surgir a partir de algas marinhas (Agar-agar, carragenato e alginato), extracto vegetal (pectina e β -glucana de aveia), exsudado de planta (goma arábica e goma de tragacanta), mucilagem de sementes (goma de alfarroba, goma de guar e psyllium). Outros hidrocolóides são os derivados de celulose, bioquimicamente sintetizados, a hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), carboximetilcelulose (CMC) e metilcelulose (MC), os hidrocolóides microbianos (xantana e gelano) e os de origem animal (gelatina, caseína e albumina de ovo) (Houben, *et al.*, 2012).

Na indústria alimentar, os hidrocolóides têm sido amplamente utilizados devido à sua solubilidade em água, o que permite a sua aplicação como agente espessante, gelificante e estabilizante, outro facto é a alta capacidade de retenção de água que confere estabilidade aos produtos por redução do seu a_w (Houben, *et al.*, 2012). Estes podem ser aplicados em concentrações baixas, que geralmente variam de 0,5 % a 5 % e por norma não interferem no aroma, paladar ou valor nutritivo do produto, desempenhando um papel importante no controle da textura de muitos alimentos processados (Cunha, *et al.*, 2003).

Na preparação da massa de pão isenta de glúten, os hidrocolóides são muitas vezes utilizados para reproduzir o comportamento viscoelástico do glúten, aumentar a estabilidade das bolhas de gás com o aumento da viscosidade e também interagir nas propriedades de gelatinização/retrogradação do amido. A influência do hidrocolóide sobre a reologia da massa de pão e qualidade do pão, mais concretamente, na textura

do miolo e volume final, depende das opções específicas do hidrocolóide (massa e estrutura molecular, comprimento da cadeia, concentração e modificações químicas), das farinhas e outros ingredientes da receita, e dos parâmetros do processo utilizados (pH, temperatura, ligações iônicas e presença de íons) (Houben, *et al.*, 2012; Cunha, *et al.*, 2003).

Normalmente, a escolha de um hidrocolóide é feita em função das características desejadas no produto final. No entanto, é também influenciada pelo preço e fornecimento, uma vez que por norma os hidrocolóides têm elevado custo, o que limita a sua utilização, especialmente em produtos de grande consumo como o pão. A utilização de vários hidrocolóides e combinações destes é, atualmente, muito frequente em panificação como alternativa ao glúten. Segundo estudos já efetuados, o carragenato, a pectina e a goma xantana associados a outras farinhas e amidos apresentam resultados positivos na panificação sem glúten (Maghaydah, *et al.*, 2013; Houben, *et al.* 2012; Demirkesen, *et al.*, 2010; Matos e Rosell, 2013), coincidindo com a acessibilidade a nível de preço e por isso foram opções ao longo deste trabalho.

1.4.4. Gorduras e emulsionantes

Na produção de produtos de panificação sem glúten as gorduras são matérias-primas muito utilizadas, pois têm a função de lubrificação das massas o que promove a retenção de gás e, conseqüentemente, o aumento do volume da massa, oferecendo frescura, textura, aroma e cor (Houben, *et al.* 2012). Normalmente, na produção de massas sem glúten também são muito utilizados os emulsionantes pois reforçam a estrutura da massa, melhoram a textura do pão e reduzem a velocidade de endurecimento. Devido à sua natureza e capacidade de migrar para as interfaces reduzem a tensão superficial e produzem dispersões estáveis. O produto final apresenta boa estrutura de miolo, bom volume, frescura e duração prolongada (Houben, *et al.* 2012). Exemplos de emulsionantes utilizados na panificação são o ácido láctico, ácido tartárico, lecitina de ovo, SSL-Estearoil lactilato de sodio (derivado de Glicerol-Monoacilgliceróis hidrófilos substituídos), entre outros. O SSL numa proporção de 0,5% é considerado, por vários autores, uma boa escolha para a produção de pães isentos de glúten. Este ingrediente também é muito utilizado na panificação com glúten, apresentando por isso elevada disponibilidade e custo acessível (Maghaydah, *et al.*, 2013; Demirkesen, *et al.*, 2010; Sciarini, *et al.*, 2012; Nobre, 2013). Foi um dos melhorantes utilizados ao longo deste trabalho.

1.4.5. Principais etapas de fabrico dos vários tipos de pão

O processamento na panificação isenta de glúten, tal como o processamento tradicional, compreende várias etapas. No entanto, as três etapas fundamentais são a amassadura, fermentação e cozedura.

A amassadura tem como principal objetivo a mistura e homogeneização de todos os ingredientes para possibilitar a hidratação da farinha e a incorporação de ar que irá permitir o desenvolvimento da massa, levando à formação da rede proteica. A amassadura é portanto uma fase fundamental, pois influencia a viscoelasticidade da massa e a incorporação de ar necessária à formação das bolhas de gás durante a fermentação (Heller, 2009).

A fermentação é o passo seguinte, esta etapa decorre à temperatura de 37°C, temperatura ótima para a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) responsável pela conversão dos açúcares livres, provenientes do amido. Produtos resultantes da fermentação são o álcool (etanol), gás (dióxido de carbono) e compostos secundários (ácidos orgânicos, álcoois e ésteres) mais tarde associados ao sabor e aroma do pão. Os fatores que podem afetar a velocidade de fermentação são, a quantidade de levedura e o teor de sal que está limitado por lei a um máximo de 1,4% (Heller, 2009).

Por fim, ocorre a etapa de cozedura a temperaturas entre os 180 e 220°C. Na primeira fase de cozedura, evidencia-se o aumento no volume da massa devido à superior atividade da levedura, e conseqüente produção de gás. Ao atingir-se a temperatura de 60°C ocorre a morte térmica das células de levedura e evapora-se o etanol, iniciando-se a gelatinização do amido e a coagulação das proteínas. No final da cozedura são favorecidas as reacções de *Maillard* e a dextrinização do amido que levam ao escurecimento da côdea e ao desenvolvimento do aroma e sabor característicos do pão (Heller, 2009).

1.4.5.1. Papel do amido nos produtos de panificação

Naturalmente, o amido possui capacidade limitada de absorver água fria, no entanto com o calor ocorre a quebra de ligações das pontes de hidrogénio entre as cadeias de amilose e amilopectina, conseqüentemente os grânulos tornam-se mais disponíveis para estabelecer ligações com a água, promovendo assim a intumescência dos grãos e formação de uma estrutura viscosa. Este processo denomina-se gelatinização e é dependente das características do amido, mais concretamente das respetivas temperaturas de gelatinização que se relacionam com o teor de amilose. O processo de gelatinização prossegue até que haja a rotura dos grânulos por completo e a amilose seja extraída para o exterior formando uma pasta (Figura 7) (Araujo, *et al.*, 2009). Na panificação este processo ocorre durante a cozedura e a estrutura

viscoelástica formada torna-se numa estrutura esponjosa pela disrupção e dispersão dos grânulos do amido. Após a cozedura, quando o gel de amido é deixado arrefecer, ocorre um realinhamento dos polímeros de glucose e, especialmente, da amilose, observando-se o aumento de rigidez do produto. A este fenómeno chama-se retrogradação do amido, que resulta num aumento da consistência final e, no caso da panificação é também responsável pelo endurecimento de todos os produtos à base de amido. A retrogradação é tanto maior, quanto maior for o teor de amilose no amido, porque como as amiloses são moléculas lineares, mais facilmente se ligam umas às outras, dando origem a uma espécie de recristalização e a um aumento de rigidez. A taxa de retrogradação varia com a razão amilose/amilopectina, temperatura, concentração de amido e concentração de outros ingredientes. A compreensão da retrogradação do amido é bastante relevante devido ao seu impacto sobre a textura de produtos de panificação, onde a perda de frescura no armazenamento, especialmente do sabor, é acompanhado por um inevitável endurecimento do miolo e uma perda de humidade (Damodarm, 2010; Araujo, *et al.*, 2009).

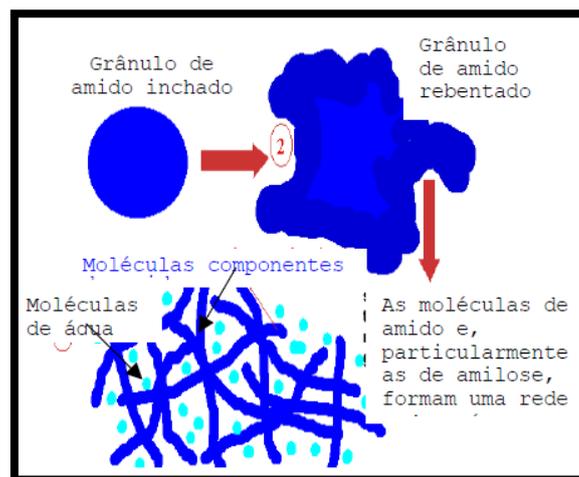


Figura 7 - Processo de gelatinização do amido.

Fonte: <http://www.cienciaviva.pt/docs/arrozdoce.pdf>, 2014.

1.5. Caracterização do pão: propriedades físicas e sensoriais

1.5.1. Comportamento reológico

A reologia é a ciência que estuda o escoamento e a deformação dos materiais quando solicitados por uma tensão. As propriedades reológicas são caracterizadas conforme a relação entre uma solicitação mecânica e a respetiva resposta do material. Nos materiais sólidos a propriedade reológica de interesse é a elasticidade e nos líquidos é a sua viscosidade. No entanto, a distinção entre alimentos sólidos e líquidos não é assim tão óbvia, pois existem materiais que combinam simultaneamente as características de um fluido viscoso com as de um sólido elástico, sendo estes

denominados de viscoelásticos, exemplos destes são as massas de panificação (Sousa, 2001).

Existem diferentes tipos de ensaios utilizados para a avaliação das propriedades reológicas dos alimentos, os ensaios fundamentais, empíricos e imitativos. Os ensaios reológicos fundamentais são utilizados em estudos fundamentais, através de aparelhos sofisticados e dispendiosos, para previsão da microestrutura de materiais complexos, escoamento de fluidos estruturados e parâmetros viscoelásticos. Os ensaios empíricos são usualmente muito expeditos, envolvem aparelhos simples, compreendem a avaliação da macroestrutura de alimentos sólidos e medições correlacionadas com a avaliação sensorial, sendo os resultados obtidos dependentes das condições de realização do teste e da geometria da amostra. Os ensaios imitativos são a reprodução das etapas de processamento do produto em escala laboratorial, para pré-avaliação do comportamento do produto (Sousa, 2001).

A avaliação de um comportamento viscoelástico linear é efetuada a partir de ensaios reológicos fundamentais em regime oscilatório e em reómetros de tensão controlada, usando geometrias de cilindros coaxiais, pratos paralelos ou cone e prato, de acordo com a natureza do material. Geralmente, o comportamento reológico dos produtos viscoelásticos é representado por um módulo complexo (G^* em Pa):

$$G^* = G' + i.G'' \quad (\text{equação n}^\circ 1)$$

onde G' (módulo elástico ou de armazenamento) é a parte real que representa parte de energia de deformação que foi armazenada e que corresponde à componente elástica do material e G'' (módulo viscoso ou dissipativo) é a parte imaginária que representa a parte de energia de deformação que foi dissipada e que corresponde à componente viscosa (Sousa, 2001).

No comportamento de materiais viscoelásticos a avaliação das componentes G' e G'' em função da frequência (teste de varrimento de frequência), com tensão e temperatura constante proporciona informação importante acerca da estrutura interna do material analisado, sendo representada por uma curva denominada espectro mecânico. Estes ensaios são bastante utilizados na caracterização de géis e emulsões alimentares, distinguindo géis consistentes ou verdadeiros de géis fracos (Figura 8) (Sousa, 2001; Song e Zheng, 2007). É de salientar, que previamente à realização de um teste de varrimento de frequências deve ser realizado um teste de varrimento de tensões (G' e G'' em função da tensão), para garantir que a tensão utilizada não destrói a estrutura interna do alimento, estando compreendida no intervalo da zona viscoelástica linear, zona onde as funções viscoelásticas são independentes da tensão aplicada (Sousa, 2001).

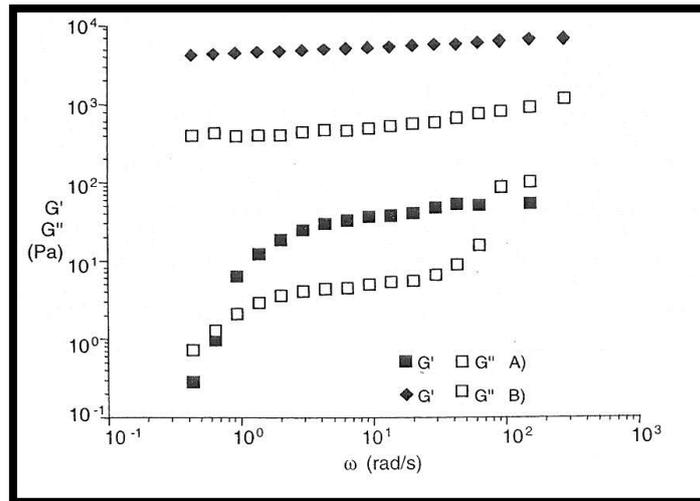


Figura 8 - Espectros mecânicos A) Emulsões não estruturadas – gel fraco; B) Emulsões estruturadas – gel forte.

Fonte: Adaptado de Sousa, 2001.

No estudo das massas de panificação, a avaliação do comportamento reológico (variação de G' e G'') ao longo do tempo também é importante para a avaliação do nível de estruturação da massa.

1.5.2. Avaliação das propriedades de textura

A textura é uma concepção meramente sensorial, pois a sua percepção depende principalmente das propriedades estruturais percebidas pelo tato, visão e principalmente pela boca, através dos processos de mastigação e deglutição. A textura é a propriedade mais importante dos alimentos sólidos. No entanto, para os produtos de panificação, a textura também é fundamental para a respetiva aceitação, a par de outros atributos como a aparência e o sabor. As propriedades sensoriais de determinados produtos podem ser traduzidas em propriedades físicas, macroscópicas, e mensuráveis instrumentalmente e que são, por outro lado, uma representação da estrutura do alimento resultante da sua composição química (Sousa, 2001).

A dureza ou firmeza é uma propriedade física de materiais utilizada na avaliação instrumental da textura dos alimentos. Usualmente, o termo dureza é associado a materiais predominantemente sólidos (como os frutos) e o termo firmeza a alimentos menos firmes (como a massa de pão ou mesmo o pão), no entanto, os dois conceitos apresentam o mesmo significado físico (Sousa, 2001).

Um importante avanço na avaliação da textura dos alimentos foi conseguido com o desenvolvimento do texturómetro, que foi concebido para simular a ação de mastigação da boca humana, um ensaio reológico considerado empírico. O texturómetro é um equipamento composto por um dinamómetro que fornece ao material em análise energia mecânica a taxa constante. Este equipamento, através de

uma sonda, contacta com a amostra e deforma o alimento através de um processo de compressão, penetração ou tração. Pode realizar-se um teste com dois ciclos (duas dentadas), de modo a mimetizar as duas primeiras dentadas. Esse teste designa-se geralmente por teste de duas dentadas ou análise de perfil da textura (texture profile Analysis-TPA). Os valores da força obtidos durante o deslocamento da sonda em contacto com a amostra, são registados, obtendo-se um gráfico de força *versus* distância (texturograma), que permite avaliar a textura dos alimentos por compressão ou penetração. O texturograma também pode ser representado em termos de força *versus* tempo. A conversão de uma representação na outra é realizada através do valor de velocidade de deslocação da sonda da amostra (Figura 9)(Sousa,2001; Rao e Quintero, 2005).

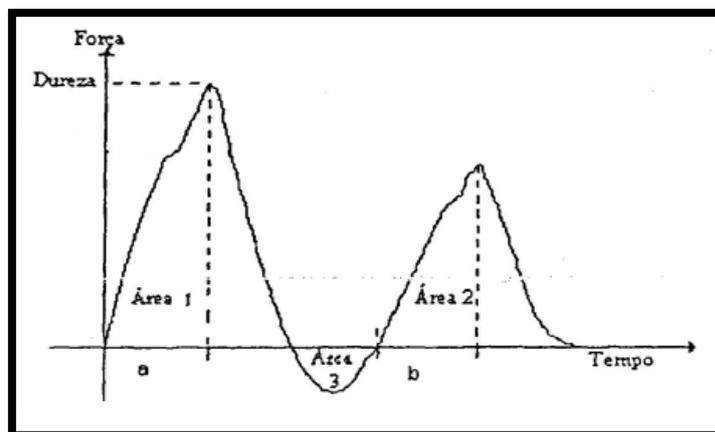


Figura 9 – Texturograma de um testes de perfil de textura.

Fonte: Adaptado de Rao e Quintero, 2005.

Ao longo do teste TPA (Análise de perfil de textura) é realizada uma primeira compressão ou penetração seguida de uma relaxação durante um curto período (5s) e segue-se uma segunda compressão. A partir deste teste pode obter-se os seguintes parâmetros de textura da amostra:

- Dureza ou firmeza - força máxima durante o primeiro ciclo de compressão;
- Coesividade - razão da área de força positiva, durante o segundo ciclo de compressão, para a área de força positiva durante o primeiro ciclo de compressão ($\text{Área 2}/\text{Área 1}$).
- Adesividade - trabalho necessário para ultrapassar as forças de atração entre o material e a superfície da sonda. É dado pelo valor da área correspondente á força negativa (Área 3).
- Elasticidade - razão entre a distância necessária para atingir o pico na segunda compressão e a mesma distância para a primeira compressão, e normalmente representa-se em percentagem ($b/a \times 100 \%$).

Além do teste TPA existem outros testes de compressão e penetração efetuados no texturómetro, nos quais são realizadas leituras de resistência do material à compressão e à força necessária para atingir uma determinada profundidade no alimento (Sousa, 2001; Rao e Quintero, 2005).

1.5.3. Análise Sensorial

De uma forma geral, a análise sensorial consiste numa disciplina da Ciência usada para evocar, medir, analisar e interpretar as reações às características dos alimentos tal como são percebidos pelos sentidos da visão, olfato, paladar, tato e audição (Figura 10)(Estevão, 2014).

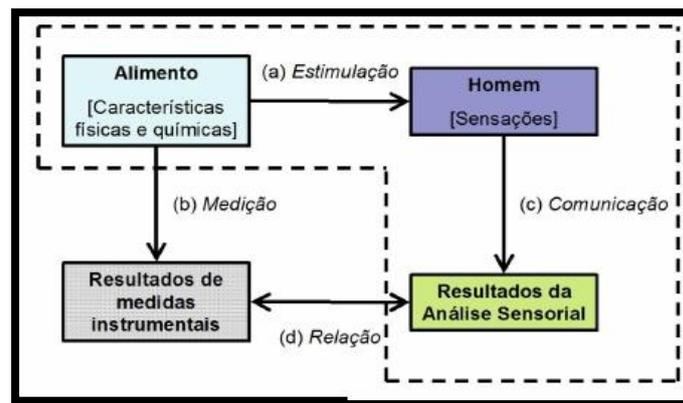


Figura 10 - Conceito atual de análise sensorial.

Fonte: Estevão, 2014.

No desenvolvimento de novos produtos a aceitabilidade do produto pelo consumidor é muito importante, pois o objetivo principal de uma empresa é vender os produtos que fabrica, por isso, é imprescindível o desenvolvimento e fabrico de produtos que sejam de agrado do consumidor. No entanto, a relação das características sensoriais com a avaliação da textura dos alimentos é um aspeto muito importante na área de desenvolvimento de produto. Portanto, se for possível estabelecer uma correlação entre as propriedades de textura e a caracterização obtida pelo painel sensorial, será possível assim minimizar o recurso a esse tipo de painéis e consequentemente reduzir os custos do processo de desenvolvimento (Sousa,2001;Noronha, 2003).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A receita base desenvolvida, com características já aceitáveis pelo consumidor, para posterior otimização foi baseada em ensaios preliminares de acordo com várias receitas já estudadas por outros autores (Matos e Rosell, 2013; Crockett, Pauline le e Vodovotz, 2011; Sabanis, Lebesi e Tzia, 2009; Maghaydah et al, 2013; Lazaridou et al, 2007), que incluíram vários tipos de ingredientes. Essas formulações foram modificadas de acordo com observações sensoriais diretas, manuseamento das massas, absorção farinográfica e consistência das massas.

2.1. Materiais

Todos os ingredientes utilizados foram selecionados de acordo com o seu custo de mercado e garantia de isenção de glúten. Utilizou-se farinha de trinca de arroz e farelo de arroz cedidos pelas empresas Nova Arroz e Valente Marques, o ovo em pó oferecido pela empresa Derovo e os hidrocolóides (goma xantana, pectina e K-carragenato) fornecidos pela Degussa. Os restantes ingredientes - a fécula de batata (ferbar), fécula de mandioca (polvilho doce da Cajumar), o emulsionante SSL-estearoil-2-lactilato de sódio, fermento químico sem glúten (Continente), levedura liofilizada (Condi gold), sal (continente), açúcar (Rar), óleo (Fula) e ovo classe L (Pingo doce) foram adquiridos no mercado local. Também foram utilizadas farinha de trigo sem fermento (continente) e uma mistura de farinhas isenta de glúten (Mix Pan/ Shar).

2.2. Métodos

2.2.1. Processo de fabrico do pão

2.2.1.1. Processamento manual (tradicional)

Para a preparação das massas, os ingredientes foram misturados numa batedora (Bimby, Vorwerk, Germany), com velocidade de 50 rpm durante 10 minutos, posteriormente a massa obtida (750g de produto) foi colocada numa forma retangular (com dimensões de 22,0 x 7,5 x 6,0 cm³). De seguida procedeu-se à fermentação durante 90 minutos, num banho termostaticado (PSelecta Tectron Bio, Espanha) com temperatura controlada a 37°C. Após fermentação, a massa foi cozida num forno elétrico ventilado (Johnson A60), a 180°C durante 40 minutos. No forno foi colocado um recipiente com água para garantir um ambiente húmido, evitando a precoce formação da crosta do pão. De seguida, efetuou-se o arrefecimento dos pães, num período de 2 horas, até à temperatura ambiente (cerca de 25°C), para posterior corte e análise. Por fim, as fatias dos pães foram embaladas em sacos plásticos e armazenados à temperatura ambiente. Todo o processo de produção está representado no fluxograma da figura 11.

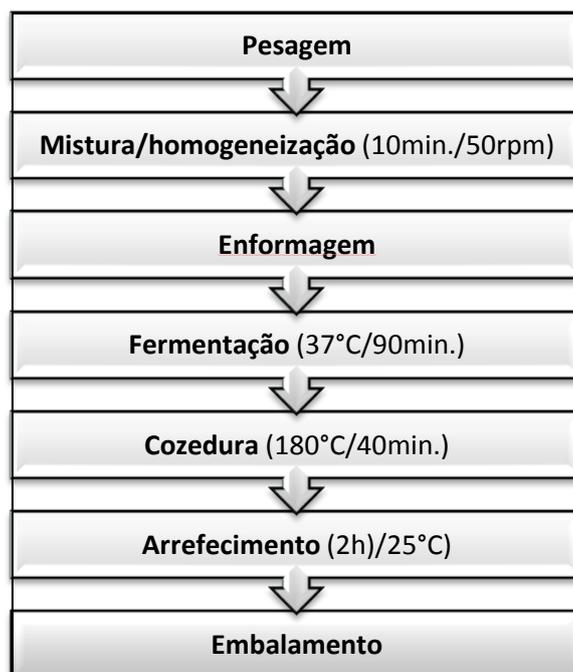


Figura 11 - Fluxograma do processo manual de produção do pão isento de glúten.

2.2.1.2. Processamento na máquina do pão

Foram também produzidos pães na máquina do pão (Clatronic BBA 2605) para testar as formulações nos vários programas, uma vez que atualmente os mixes de panificação estão mais direcionados para esse fim. O processo tradicional foi maioritariamente utilizado durante o trabalho porque permitia a visualização de todas as fases do processo e contacto com a própria massa para avaliação da evolução das suas características e propriedades viscoelásticas, ao contrário da máquina de pão que é automatizada e o processo decorre continuamente sem paragens. Os programas testados foram:

- Programa normal - programa com duração de 2:50h, adequado para pão “branco”;
- Programa integral – programa com duração de 3:40h, para a preparação de pão integral;
- Programa rápido – programa com duração de 1:40h, utilizado na preparação rápida de pão “branco”.

A quantidade de massa é seleccionada de acordo com o nível, nível I (750g) e nível II (1000g), neste caso concreto foi utilizado o nível I. A intensidade de cozedura, que proporciona a cor, tem as descrições de claro, médio e escuro, portanto neste estudo foi seleccionada a opção de escuro e médio uma vez que se tratava de um pão muito claro.

2.2.2. Desenvolvimento da receita base – Ensaios preliminares

2.2.2.1. Formulações de pães isentos de glúten

No desenvolvimento da formulação base, formulação sem glúten com características aceitáveis, foram efetuados vários ensaios com o objetivo de verificar o efeito de diferentes hidrocolóides, percentagem de água, fermento químico, fécula de mandioca e fécula de batata. As proporções dos ingredientes utilizadas no desenvolvimento dessas formulações estão mencionadas na tabela 3.

Considerou-se como receita base a formulação com 56% de água. Como referência para a seleção da formulação base foi produzido um mix controlo obtido a partir da farinha de trigo, baseado nas restantes formulações sem glúten.

Tabela 3 – Formulações de pães isentos de glúten, com e sem hidrocolóides, e controlo (trigo);

- Efeito dos hidrocolóides;
 - Efeito da água;
 - Efeito do fermento químico;
 - Efeito da fécula de mandioca;
 - Efeito da fécula de batata;

Formulações Ingredientes secos (%)	Com Hidrocolóides		Sem hidrocolóides							
	1% P + 0,5%X	0,5%C + 0,5%X	Controlo (trigo)	59% Água	56% Água	53% Água	50% Água	>%ferm. químico	Féc. mandioca	Féc. de batata
Farinha de trigo	-	-	93,4	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de trinca de arroz carolino	64,7	65,7		67,4	68,0	68,7	69,4	64,7	68,0	68,0
Farelo de arroz vaporizado	2,4	2,4		2,4	2,3	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3
Fécula de mandioca	11,8	11,8		11,8	11,5	11,3	11,1	11,5	23,1	-
Fécula de batata	11,8	11,8		11,8	11,5	11,3	11,1	11,5	-	23,1
SSL- esteroil lactilato de sodio	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Levedura	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Fermento químico s/glúten	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	4,9	1,6	1,6
Sal	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Açúcar	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Carragenato		0,8								
Pectina	1,8	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Goma xantana	0,8		-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ingredientes a adicionar ao mix										
Óleo	9,2	9,2	9,1	9,2	9,1	8,9	8,7	9,1	9,1	
Água	58,8	58,8	55,7	58,8	55,7	52,5	49,5	55,7	55,7	55,7

2.2.3. Otimização da receita base - Incorporação de ovo fresco ou em pó

Os mixes a serem desenvolvidos consistem em misturas de ingredientes secos para a produção de pão pelo consumidor em casa. A adição de ovo nas suas formas fresco e em pó apresenta vantagens e desvantagens na perspetiva de utilização dos mixes

pelo consumidor. A utilização de ovo em pó no mix seria vantajosa a nível microbiológico e na produção do pão pelo consumidor em casa, pois o ovo em pó seria um ingrediente menos propício a desenvolvimento microbiano e na preparação do pão seria apenas necessário acrescentar a água à mistura para se obter a massa de pão. No entanto, a mistura com o ovo fresco poderia ter um preço inferior porque já não era necessário incluir o ovo em pó no mix, uma vez que nesse caso o consumidor o adicionaria em casa.

2.2.3.1. Formulações com adição de ovo

Após a seleção da formulação base, com características sensorialmente já aceitáveis, procedeu-se ao melhoramento da receita tendo em vista a produção de um pão mais apelativo. Para tal recorreu-se à incorporação de ovo fresco inteiro, clara ou gema de ovo. Uma vez que o produto a desenvolver é um mix de panificação com produtos secos também se utilizou ovo em pó, como alternativa ao ovo fresco. As formulações mais aceitáveis estão resumidas na tabela 4.

Tabela 4 - Formulações base e com incorporação de ovo fresco e ovo em pó.

Efeito do ovo fresco inteiro;
 Efeito da clara;
 - Efeito da gema;
 - Efeito do ovo em pó
 - Formulação base.

Formulações Ingredientes secos(%)	Sem Hidrocolóides					
	Receita base	Ovo inteiro	Ovo inteiro s/óleo	Clara	Gema	Ovo em pó
Farinha de trinca arroz carolino	68,0	68,0	67,4	68,0	68,0	63,7
Farelo de arroz vaporizado	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	2,2
Polvilho doce	11,5	11,5	11,8	11,5	11,5	11,2
Fécula de batata	11,5	11,5	11,8	11,5	11,5	11,2
SSL- esteroil lactilato de sodio	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Fermento químico s/glúten	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6
Levedura	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6
Sal	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Açúcar	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6
Ovo em pó	-	-	-	-	-	5,3
Total	100	100	100	100	100	100
Ingredientes a adicionar ao mix						
Óleo	9,1	2,6	-	4,7	5,3	-
Água	55,7	49,5	54,8	51,3	55,7	59,5
Ovo fresco (≈1 ovo/450g)		12,9	13,2			
Clara (≈1 clara/450g)		-	-	8,8		
Gema (≈1 gema/450g)					3,7	

2.2.4. Avaliação da aparência da estrutura interna dos pães.

A avaliação da aparência da estrutura interna dos pães, nomeadamente a distribuição de alvéolos, foi efetuada através da visualização de fotografias do miolo dos pães.

2.2.5. Análise instrumental da cor do miolo do pão

A avaliação instrumental da cor do miolo dos pães foi expressa em valores de L^* , a^* e b^* (coordenadas do sistema CIELAB), através do Colorímetro Minolta CR – 300, Japão. Neste sistema a luminosidade é caracterizada pelo parâmetro L^* , os valores variam entre 0 (preto) e 100% (branco), enquanto a cromaticidade é representada pelos parâmetros a^* e b^* , a^* distingue as tonalidades de vermelho (+60) e verde (-60), e b^* tonalidades de amarelo (+60) e azul (-60). Para cada formulação, foram efetuadas pelo menos seis medições das quais se representa a respetiva média e desvio padrão. O colorímetro foi sempre calibrado com um padrão branco Minolta ($L= 97,21$ $a= +0,14$, $b=+1,99$).

2.2.6. Avaliação da textura da massa e pão

A análise da textura foi realizada num ambiente com temperatura controlada a $20\pm 5^\circ\text{C}$, com aplicação de um texturómetro TA.XT.plus (Stable Micro Systems, UK) equipado com uma célula de carga de 5kg. Foram previamente aferidos testes de compressão e penetração, no entanto, foram os testes de perfil de textura (TPA) em modo de penetração, que permitiram obter resultados mais precisos. Na avaliação da textura das massas e pão procederam-se a testes de TPA (teste de simulação de duas dentadas com cerca de 5 segundos de diferença, para recuperação do material) em modo de penetração (sonda com dimensões inferiores à amostra) a uma taxa de deformação constante. Nos ensaios realizados à massa, foi utilizada uma sonda cilíndrica de acrílico com 10mm de diâmetro (p/10). Efetuaram-se pelo menos 5 penetrações de 10 mm, com uma velocidade de $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, em cada amostra de 25mm de altura e 65mm de diâmetro. Nos testes efetuados ao pão, foi utilizada uma sonda cilíndrica de alumínio com 25mm de diâmetro (p/25). Realizaram-se pelo menos 5 penetrações de 8 mm, com uma velocidade de $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, em cada fatia de pão com 2 cm de altura. Foram obtidos texturogramas de força *versus* tempo, a partir dos quais se determinaram os seguintes parâmetros: firmeza (N) e coesividade (adimensional) da massa e pão, adesividade (N.s) da massa e perfil de envelhecimento, ou seja, a variação da firmeza do pão ao longo de 48 horas.

2.2.7. Análise da atividade da água (a_w) do miolo do pão

A atividade da água (a_w) é definida como a água livre no alimento, ou seja, a água que não estabelece ligações com outros constituintes do alimento. A atividade da água é um parâmetro importante relacionado com a conservação dos alimentos no que diz respeito ao desenvolvimento microbiano, mais especificamente valores de $a_w > 0,75$ são determinantes no crescimento de leveduras e bactérias (Araújo, *et al*, 2009). As medições da atividade da água do miolo do pão foram efetuadas após o arrefecimento das amostras de pão, através do equipamento Hygrolab 3 (Rotronic, UK), sendo realizadas à temperatura constante ($20,0 \pm 1^\circ\text{C}$). Foram efetuadas medições em triplicado para cada formulação e apresentados os resultados médios com o respetivo desvio padrão.

2.2.8. Avaliação do aumento de volume da massa ao longo da fermentação

A percentagem de incorporação de ar na massa para formação das bolhas de gás na fermentação, foi determinada através dos volumes inicial e final da massa, calculados através da altura e diâmetro dos frascos nos quais a massa fermentava. Este parâmetro designa-se por percentagem de *over-run*, sendo expresso pela formula seguinte:

$$\% \text{ over-run} = \frac{(v_f - v_i)}{v_i} \times 100 \quad (\text{equação n}^\circ 2)$$

onde v_f representa o volume final da massa após fermentação e v_i o volume inicial da massa (Lewis, 1987).

2.2.9. Propriedades viscoelásticas das massas de pão

Todos os ensaios reológicos foram efetuados com recurso a um sistema UTCe-Peltier para controlo da temperatura acoplado no prato de um reómetro de tensão controlada (Rheometer Haake MARS, Alemanha). Em todos os ensaios foi utilizado um sistema sensor de pratos paralelos serrados, com 20 mm de diâmetro e um intervalo entre pratos de 1 mm. Foram previamente testados outros sistemas sensores, nomeadamente com maior diâmetro e de cone prato. O sistema referido foi o que permitiu obter resultados mais reprodutíveis. Efetuaram-se pelo menos duas repetições de cada massa.

Os ensaios reológicos foram realizados em amostras da massa desenvolvida com ovo em pó e massa comercial isenta de glúten (massa feita a partir do Mix Pan/Shar já existente no mercado, cuja constituição se encontra na análise de mercado) aplicada como referência. Nos ensaios foram utilizadas massas já fermentadas (noventa minutos de fermentação) e não fermentadas. As massas fermentadas foram sujeitas a

testes de varrimento de tensão e frequência (5°C para garantir a cessão da fermentação). As massas não fermentadas, para além dos testes já mencionados, foram primeiramente submetidas a testes de varrimento de tempo à temperatura de 37°C (temperatura de fermentação), de modo a acompanhar a variação das características viscoelásticas ao longo do tempo. Os testes de varrimento de tensões foram sempre efetuados anteriormente aos testes de varrimento de frequências, para determinação da zona viscoelástica linear (tensões a aplicar sem influência na estrutura do material) aplicando tensões oscilatórias de pequena amplitude. As propriedades viscoelásticas das massas foram determinadas a partir dos testes de varrimento de frequências: variação dos módulos G' (módulo elástico - componente elástica do material) e G'' (módulo viscoso – componente viscosa do material) em função da frequência, resultando num espectro mecânico do material. Quanto às massas não fermentadas a fermentação ocorreu no reómetro através dos testes de varrimento de tempo, para avaliação da estrutura da massa ao longo do tempo. Repetiu-se o teste de varrimento de tempo com duração mais favorável à estrutura da massa e de seguida efetuou-se o teste de varrimento de frequência para verificar a influência do tempo nas propriedades viscoelásticas das massas.

2.2.10. Análise Sensorial

Para avaliação dos pães quanto à aceitação sensorial foram selecionados os atributos de aparência/aspecto, cor do miolo e crosta, cheiro/odor, sabor, textura, apreciação global. Foi utilizado um questionário (Anexo III) com uma escala de classificação hedónica fazendo corresponder os valores 1 a 6 para os extremos “muito desagradável” e “muito agradável” respetivamente, para todos os atributos, excetuo para a cor na qual a escala compreendia valores de 1 a 5 para os extremos “muito mais claro que o ideal” e “muito mais escuro que o ideal”. Os resultados foram analisados por perfil sensorial (ISO 13299:2003), representação gráfica (em coordenadas polares) relativamente aos 6 atributos de dois produtos. Foram angariados 34 provadores “não celíacos” e não treinados, de acordo com o delineamento inteiramente casualizado, cada provador recebeu 2 amostras codificadas com três letras, as amostras de pães MEY (pão feito a partir do Mix Pan/Shar já existente no mercado, caracterizado na análise de mercado) e CPX (o pão isento de glúten produzido a partir do mix-ovo em pó). Os dois pães foram produzidos na máquina de pão nos programas mais adequados a cada tipo de pão, neste caso utilizou-se o programa rápido-médio (1:40h) para a amostra CPX e o programa normal-escuro (2:50h) para amostra MEY.

2.2.11. Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada pelo programa estatístico Action, aplicação do Microsoft office Excel. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), mais especificamente a testes de Tukey, testes de comparação de médias, com um nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os métodos previamente descritos apresentam-se os resultados obtidos. Os resultados estão representados em sete etapas:

1. Análise do mercado de mixes de panificação isentos de glúten;
2. Avaliação das propriedades físicas dos pães para desenvolvimento da receita base (receita isenta de glúten com características já aceitáveis pelo consumidor);
3. Impacto da incorporação de ovo fresco e ovo em pó nas propriedades físicas das massas e pães;
4. Efeito do tipo de farinha (trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado) nas massas e pães obtidos a partir do mix com ovo fresco;
5. Efeito dos diferentes tipos de processamento, tradicional ou na máquina do pão, nas características dos pães com ovo fresco e ovo em pó, comparando com o mix comercial (mix da marca Shar, cuja constituição está resumida na análise de mercado);
6. Propriedades reológicas das massas comercial e com ovo em pó;
7. Análise sensorial dos pães comercial e com ovo em pó.

3.1. Análise de mercado – Mixes de panificação

Atualmente o mercado dos produtos de panificação tem vindo a progredir constantemente. Na tabela 5 apresentam-se vários mixes de panificação já existentes no mercado, a sua composição, quantidade e preço.

Tabela 5 - Comparação dos vários mixes de panificação isentos de glúten, disponíveis no mercado.

Marca/descrição	Composição - Mistura para fazer pão sem glúten	Quantidade	Preço
Special linha/mistura para fazer pão	Amido de milho, açúcar, espessantes (goma xantana), emulsionante (E-472e), sal, levedantes químicos (difosfato disódico, bicarbonato de sódio).	1 kg	3,49 €
Proceli/Basic mix	Amido de milho, açúcar, espessante (goma xantana), emulsionante (E-472e), sal, gaseificantes (E-450i, E500ii).	1 kg	4,19 €
Schar/Mix Pan	Amido de milho, farinha de arroz, proteína de tremoço, dextrose, fibra de maçã, HPMC, sal.	1 kg	4,99 €
Área Viva Continente/ Mistura de pão rústico sem glúten	Amido de milho, farinha de trigo sarraceno, dextrose, goma guar e de alfarroba.	1 kg	3,99 €
Beiker/ Preparado de panificação	Amido de milho, açúcar, estabilizantes (goma guar e HPMC), sal e levedante (bicarbonato de sódio).	1 kg	3,69 €
Glutano/mix it	Farinha de arroz, fécula de batata, açúcar, espessantes (HPMC, farinha de semente de alfarroba), sal, emulsionante (mono e diglicéridos de ácidos gordos. Sem adição de corantes, aromatizantes e conservantes.	1 kg	6,35 €
Bauck hof/mistura de pão integral	Farinha de arroz integral 35%, amido de milho, flocos de arroz 13%, fermento de quinoa em pó 8% (farinha de quinoa, farinha de arroz 25%), farinha de milho, sementes de linho douradas moídas, espessante (farinha de sementes de alfarroba), sal marinho e espessante (goma xantana)	475 g	5,99 €

3.2. Avaliação das propriedades físicas dos pães para o desenvolvimento da receita base

No desenvolvimento da receita base foram desenvolvidos vários pães isentos de glúten e um pão controlo (pão produzido a partir de farinha de trigo) submetidos a análises de estrutura interna, textura, a_w , cor e expansão das massas ao longo da fermentação, cujas formulações estão apresentadas na tabela 3. O pão relativo à receita base foi o que apresentou estrutura, textura, a_w , cor e características sensoriais mais aceitáveis. Esse pão é constituído essencialmente por farinha de trinca e farelo de arroz, fécula de mandioca e batata, óleo e água, e é isento de hidrocolóides.

3.2.1. Aparência da estrutura interna dos pães produzidos para o desenvolvimento da receita base.

A distribuição uniforme dos alvéolos de um miolo de pão é um aspeto muito importante para a qualidade final do pão, um número considerável de alvéolos não uniforme pode comprometer a estrutura do miolo (Lazaridou, *et al*, 2007). A aparência interna, nomeadamente a distribuição de alvéolos do pão controlo (pão de trigo) e pães isentos de glúten, pode ser observada na figura 12.

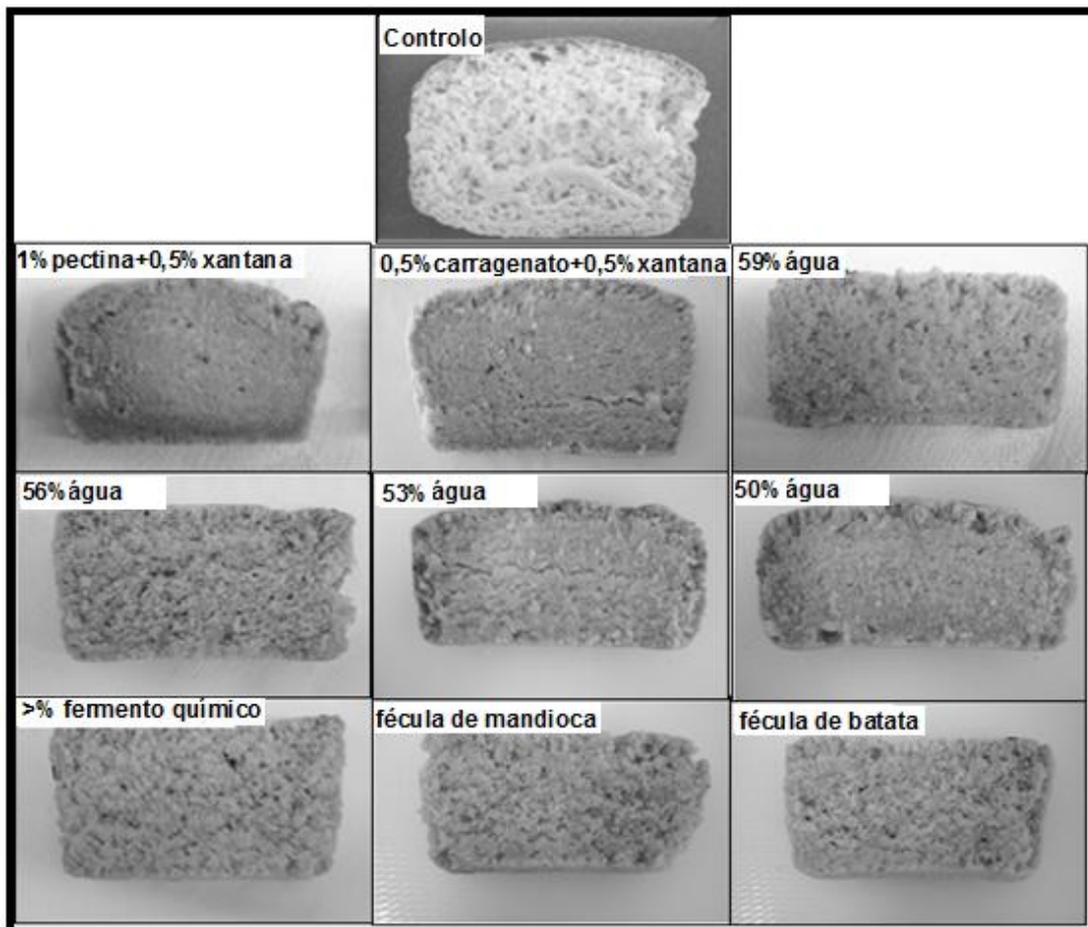


Figura 12 - Aparência da estrutura interna dos pães desenvolvidos para a receita base.

Verifica-se pelas imagens que os pães com hidrocolóides possuem uma estrutura interna mais compacta e com quantidade reduzida de alvéolos, relativamente ao controlo, factos que podem estar relacionados com o conjunto das condições do processo em si (temperaturas, pH, ingredientes e entre outros). Quanto aos restantes pães, sem hidrocolóides, observa-se que os pães com 59% e 56% (receita base) de água apresentaram maior número de alvéolos e distribuição mais homogénea, tal como, os pães com maior teor de fermento químico e pães com adição de apenas fécula de batata ou fécula de mandioca, sendo os pães que mais se aproximaram do pão controlo (pão de trigo). Contrariamente os pães com 53 e 50% de água apresentaram estrutura compacta e com ausência de alvéolos. O facto de os pães sem hidrocolóides adquirirem uma boa estrutura de miolo comparativamente com os pães com hidrocolóides foi também observado por *Sciarini, et al.* (2012) que obteve um pão com farinha de arroz, amido de mandioca e farinha de soja sem hidrocolóides com resultados razoáveis a nível de número e distribuição de alvéolos em relação a pães com esses ingredientes mas com adição de 0,5% de goma xantana e 0,5% de carragenato. Demonstra-se assim que a adição de hidrocolóides pode não ser essencial na formação e distribuição de alvéolos nos pães sem glúten, evidenciando assim boas perspectivas no que diz respeito aos custos de produção destes pães.

3.2.2. Avaliação da textura dos pães produzidos, com e sem hidrocolóides, para desenvolvimento da receita base

Na figura 13 estão representados os resultados relativamente à firmeza, após 2h de produção, do miolo do pão controlo (trigo) e miolo de pães, com e sem adição de hidrocolóides, para o desenvolvimento da receita base, avaliados a partir da análise de perfil de textura.

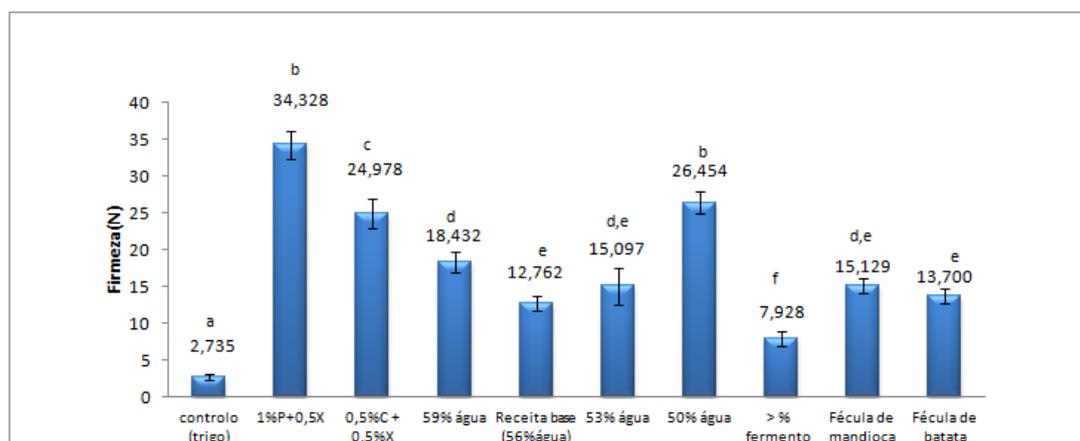


Figura 13 – Análise da firmeza dos pães produzidos com e sem hidrocolóides, 2h após a sua preparação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que todos os pães são significativamente ($p \leq 0,05$) mais firmes que o pão controlo (pão de trigo). Os pães com hidrocolóides foram os pães mais firmes, facto que está associado a um miolo muito compacto, como já foi explicado anteriormente. Estes resultados foram corroborados por investigadores Lazaridou, *et al.* (2007), que ao produzirem pão de arroz, amido de milho e caseinato de sódio verificaram que os pães ficavam mais firmes com a adição de goma xantana. O pão produzido com 50% de água, sem hidrocolóides, foi também um dos pães mais firmes, circunstância relacionada com a menor percentagem de água, e consequentemente a um processo de retrogradação mais rápido devido à menor absorção de água pelos grânulos de amido, facto também observado por Lazaridou, *et al.* (2007). Relativamente aos pães produzidos através das formulações sem hidrocolóides com 56% de água (receita base), maior percentagem de fermento e adição de apenas fécula de batata constatou-se uma menor firmeza, facto associado aos respetivos miolos com maior número de alvéolos e estrutura menos compacta.

Avaliaram-se os valores de coesividade dos diferentes miolos de pão também a partir da análise do perfil de textura (Figura 14).

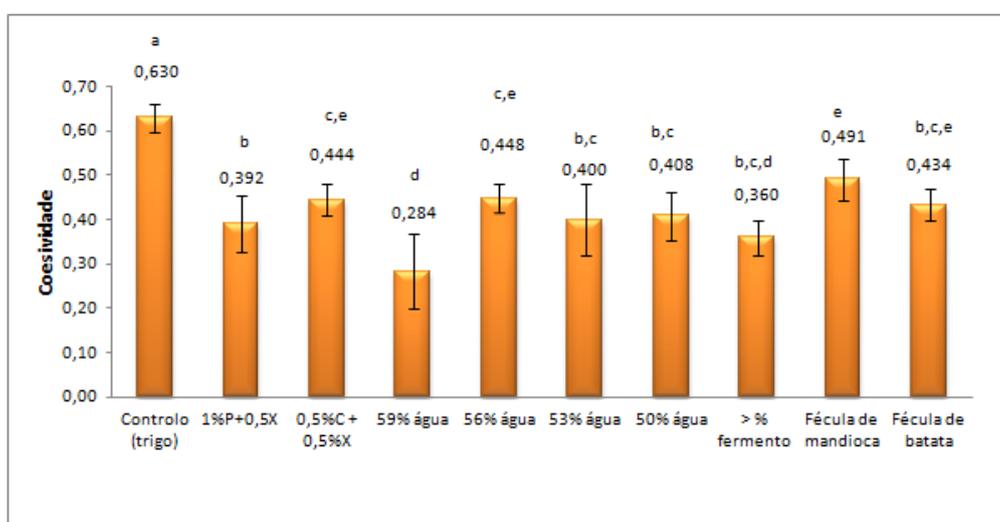


Figura 14 – Análise da coesividade dos miolos de pães em estudo.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que a coesividade dos diferentes pães foi significativamente ($p \leq 0,05$) inferior ao pão controlo (pão trigo). Comparando os pães isentos de glúten observa-se que os pães com os hidrocolóides carragenato e goma xantana, e pães sem hidrocolóides com 56% água (receita base) e pães com adição de apenas fécula de mandioca apresentaram valores de coesividade superiores. Estes factos podem estar relacionados com a firmeza do pão, tipos de hidrocolóides incorporados e maior quantidade de fécula de mandioca, pois foi já observado por Cesar, *et al.* (2006) que a

fécua de mandioca auxilia na consistência do pão. E quanto ao pão produzido a partir da receita base estes resultados demonstraram coerência com a sua estrutura equilibrada e consistência superior relativamente aos outros pães com os mesmos ingredientes, mas com diferentes percentagens de água. Os pães que apresentaram coesividade inferior foram de facto os pães que mais se esfarelavam, os pães desenvolvidos a partir das formulações sem hidrocolóides com 59% de água e maior teor de fermento, o que está associado a um teor de água superior ou a um teor de farinha inferior, respetivamente, que proporcionaram massas sem consistência

3.2.3. Avaliação dos vários parâmetros de cor dos pães desenvolvidos para a receita base

Na figura 15 resumem-se os parâmetros resultantes de avaliação da cor ($L^*a^*b^*$) obtidos para os vários miolos de pães desenvolvidos.

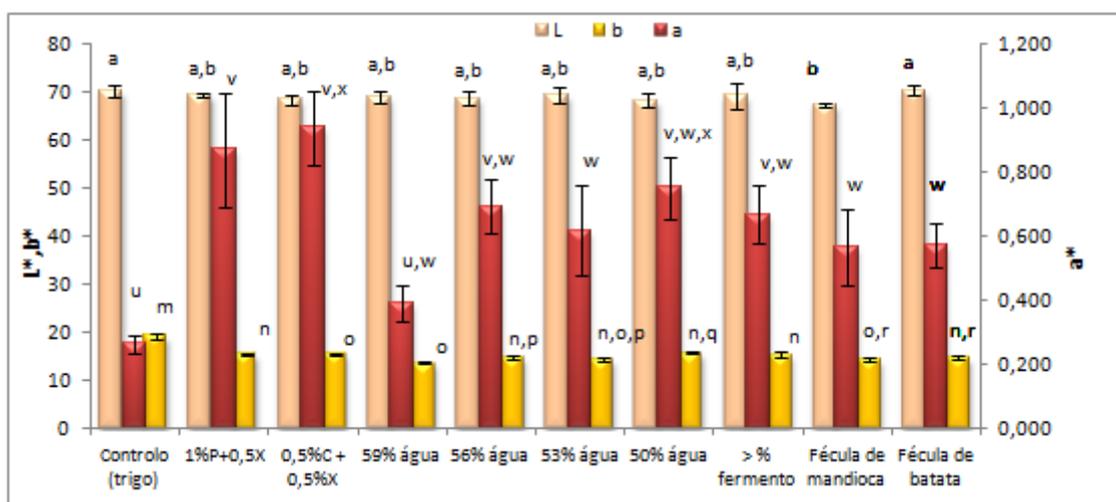


Figura 15- Análise dos parâmetros $L^*a^*b^*$ dos miolos de pães produzidos para receita base.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que em relação ao parâmetro de luminosidade (L^*), o miolo com apenas fécula de mandioca apresentou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) relativamente ao controlo e ao miolo só com fécula de batata, o que significa que o pão de farinha de arroz e fécula de mandioca foi o pão que apresentou o miolo com coloração mais escura. Autores (Matos e Rosell, 2013) verificaram que pães isentos de glúten com fécula de batata também apresentaram valores de L^* superiores relativamente aos pães sem fécula de batata. Em relação aos parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*), foi possível verificar que todas as formulações apresentaram-se na região do vermelho, que corresponde a valores positivos para a coordenada a^* . Relativamente à coordenada b^* também todos os pães produzidos ficaram situados na mesma região,

a região do amarelo (valores positivos na coordenada b^*). No entanto, dentro de cada região houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de tonalidades em alguns dos pães, o que está relacionado com as reações de Maillard e caramelização no final da cozedura.

3.2.4. Atividade da água (a_w) dos pães para desenvolvimento da receita base

A figura 16 apresenta os valores de atividade da água dos miolos de pães, ao fim de 2h e 48h.

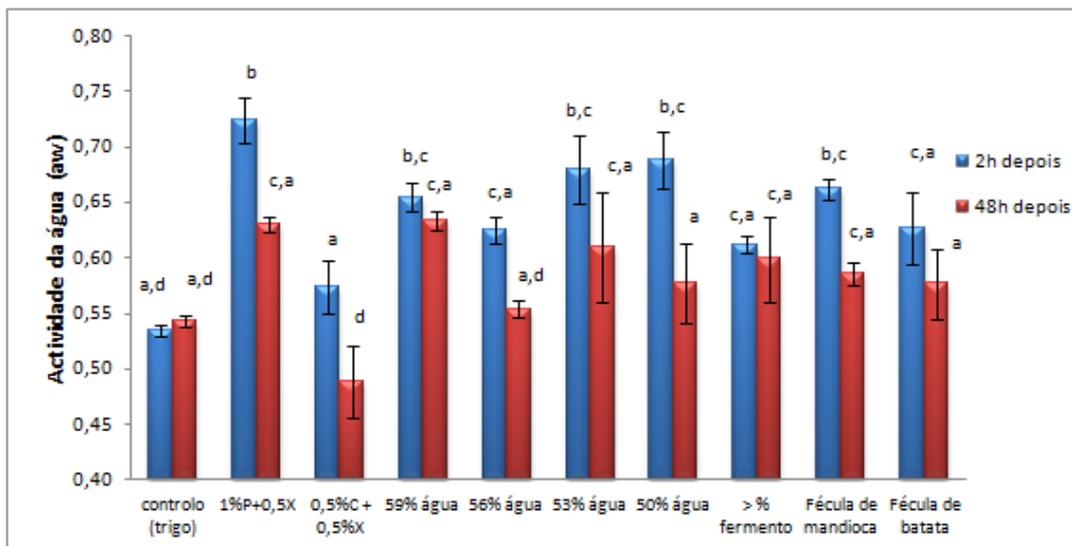


Figura 16 – Atividade da água dos miolos dos pães desenvolvidos para a receita base, ao fim de 2h e 48h.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 16 verifica-se que a atividade da água (a_w), ao fim de duas horas de produção, no miolo dos pães com os hidrocolóides pectina e goma xantana, e no miolo dos pães sem hidrocolóides com 59% de água, 53% de água, 50% de água e adição somente da fécula de mandioca foi significativamente diferente ($p \leq 0,05$) do controlo, com valores aproximados de 0,70. Ao fim de quarenta e oito horas observou-se uma diminuição da disponibilidade de água em todos os pães, exceto no controlo (miolo de trigo) que se manteve. Os pães produzidos a partir da receita base (56% de água) e da formulação com carragenato e goma xantana apresentaram os valores de a_w inferiores. Estes resultados foram corroborados por vários autores (Lazaridou, *et al.*, 2007), que ao produzirem pão de arroz, amido de milho e caseinato de sódio verificaram que o a_w foi mais acentuado nos pães com 1% goma xantana e 1% pectina relativamente aos pães sem adição de hidrocolóides, sendo que após três dias a disponibilidade de água também diminuiu em todos os pães. Outros autores (Guarda, *et*

al., 2004) verificaram também menores valores de humidade em pães de trigo isentos de goma e com carragenato (0,5%), ao fim de 24 horas.

3.2.5. Avaliação da capacidade de expansão das massas ao longo da fermentação no desenvolvimento da formulação base.

A capacidade de expansão da massa ao longo da fermentação foi avaliada a partir da percentagem de *over-run* das diferentes massas ao longo da fermentação e está representada na figura 17.

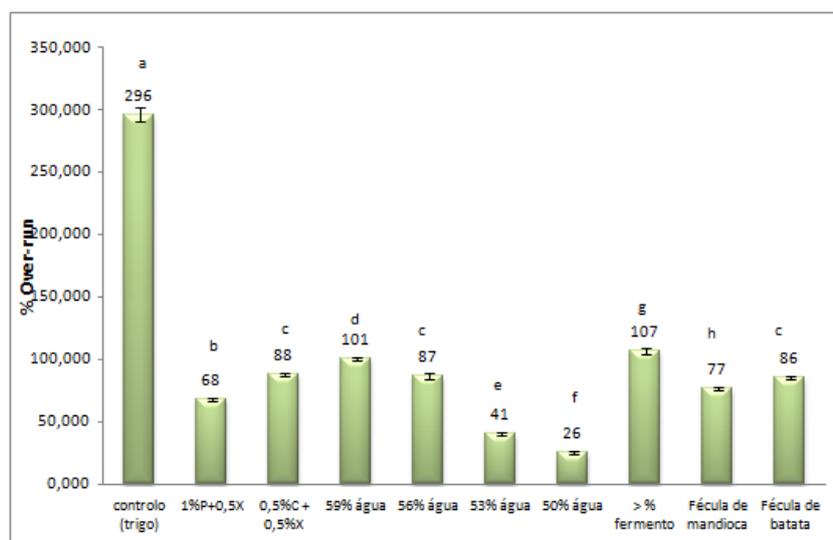


Figura 17 – Avaliação da capacidade de expansão das massas desenvolvidas para a receita base, ao fim de 90 minutos de fermentação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Observa-se que a expansão da espuma após fermentação das várias massas foi significativamente ($p \leq 0,05$) inferior ao controlo (pão de trigo), circunstância explicada pela presença de glúten na massa de trigo e pelo facto deste tipo de massa não carecer do mesmo teor de produtos levedantes em relação às massas isentas de glúten. Relativamente aos pães isentos de glúten, os pães sem hidrocolóides com 59% e 56% (receita base) de água, maior teor de fermento, adição de apenas fécula de batata e o pão com carragenato e goma xantana apresentaram valores superiores de % *over-run*. Factos estes relacionados com a estrutura dos pães, percentagem de água e hidrocolóides utilizados. Contrariamente os pães que adquiriram menor expansão de espuma depois da fermentação foram os pães produzidos com menor percentagem de água (53% e 50% de água), factos também associados à sua estrutura interna e firmeza. Na produção de pães isentos de glúten com farinha de arroz, amido de mandioca e farinha de soja, *Sciarini, et al.* (2012), observou também

que o pão isento de gomas ou na presença de 0,5% de carragenato apresentou superior volume específico, ao contrário do pão com 0,5% de goma xantana que demonstrou volume específico inferior.

3.2.6. Análise do perfil de envelhecimento da formulação com as melhores características (receita base - 56% de água, sem hidrocolóides)

Na figura 18 está representado o perfil de envelhecimento do mix de pão que no geral revelou melhores resultados. O pão produzido a partir deste mix mostrou ser um pão com bom desempenho a nível de estrutura interna, firmeza, coesividade, cor, atividade de água e % *over-run*.

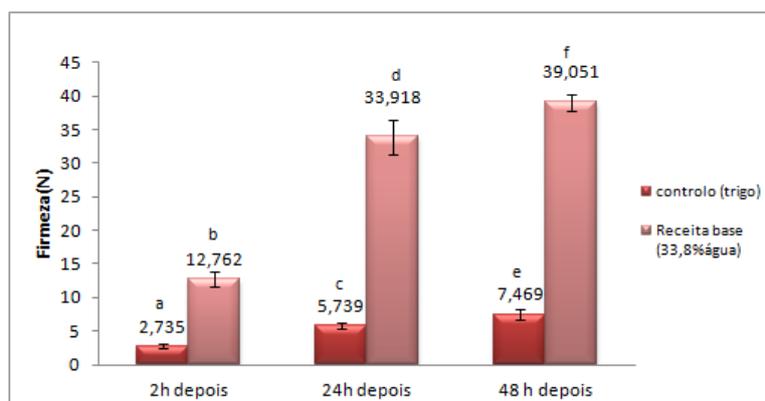


Figura 18 – Perfil de envelhecimento do pão produzido a partir da receita base (receita sem hidrocolóides com 56% de água).

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 18 verifica-se que a variação da firmeza, ao longo de 48h, do pão relativo à receita base é significativamente ($p \leq 0,05$) superior em relação ao pão controle (trigo). Observam-se também alterações significativas ($p \leq 0,05$) na firmeza dos dois pães ao longo de 48h após a sua produção. Relativamente ao pão desenvolvido verifica-se que a variação da firmeza foi superior no período entre as 2 e 24h comparativamente com a variação de tempo entre 24h e 48h. Segundo vários investigadores (Lazaridou, *et al.*, 2007) a variação da firmeza de pão isento de glúten foi também significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos três primeiros dias, quando foi produzido pão de arroz, amido de milho e caseinato de sódio.

3.3. Efeito da Incorporação de ovo na receita base

Para melhorar a receita base, principalmente a nível de textura, foi testada a incorporação de ovo fresco inteiro, clara ou gema. Mas uma vez que o produto a ser desenvolvido é um mix de produtos secos surgiu a hipótese de se adicionar ovo em pó em vez de ovo fresco, o que implica um custo acrescido de 13 cêntimos (aprox.) na sua produção (preço ovo em pó $\approx 5,15\text{€}/\text{kg}$).

No desenvolvimento da receita melhorada foram necessárias alterações na receita base, tais como, as percentagens de farinhas, água e óleo. Todas essas formulações foram descritas, anteriormente, na tabela 4.

3.3.1. Aparência da estrutura interna dos pães produzidos para o desenvolvimento do pão com a adição de ovo.

A aparência interna, mais precisamente a distribuição de alvéolos, do pão controle (obtido a partir de farinha de trigo), do pão base sem glúten (feito a partir de farinha e farelo de arroz, féculas e óleo), dos pães base com ovo fresco inteiro, clara ou gema e ovo em pó pode ser observada na Figura 19.

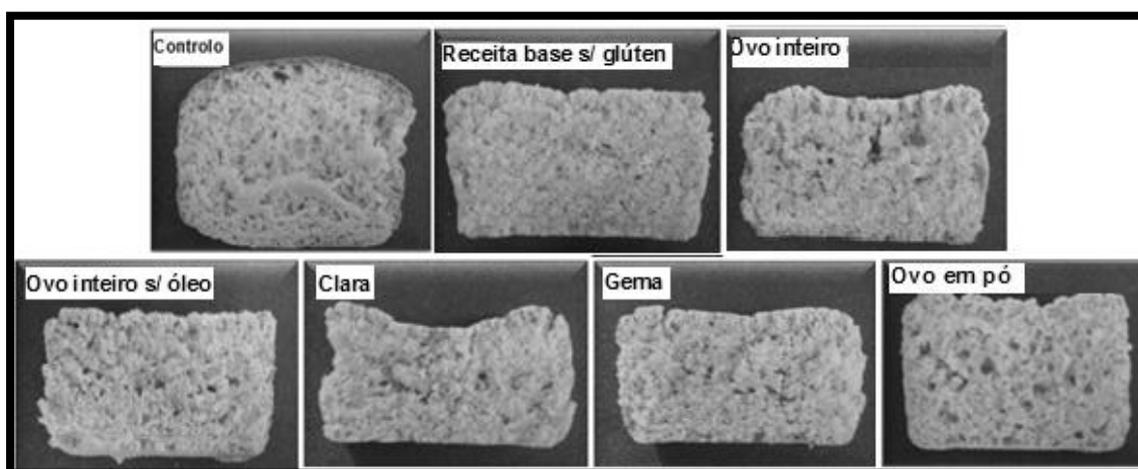


Figura 19 – Aparência da estrutura interna dos pães controlo (pão de trigo), pão isento de glúten e pães isentos de glúten com ovo.

Analisando a figura 19 verifica-se que os pães com ovo inteiro apresentaram melhorias na estrutura interna, relativamente ao pão base sem glúten isento de ovo, assemelhando-se à estrutura de um pão com glúten (pão controlo de trigo). Tal como foi constatado por Houben *et al.* (2012), as proteínas do ovo podem ser utilizadas como alternativa ao glúten, uma vez que são consideradas agentes de formação de espuma e estabilizadoras do miolo, criando assim uma estrutura com características interessantes. Todos os pães com ovo apresentaram uma estrutura interna menos compacta e com alvéolos de dimensão superior comparativamente com o pão base isento de ovo. Verifica-se também que o pão base adicionado de ovo em pó apresentou uma estrutura interna mais uniforme e com maior número de alvéolos, aproximando-se mais das características pretendidas.

3.3.2. Efeito da adição de ovo na textura das massas de pão.

Na figura 20 apresentam-se os resultados da firmeza das diferentes massas em estudo, de modo a evidenciar o impacto da adição de ovo.

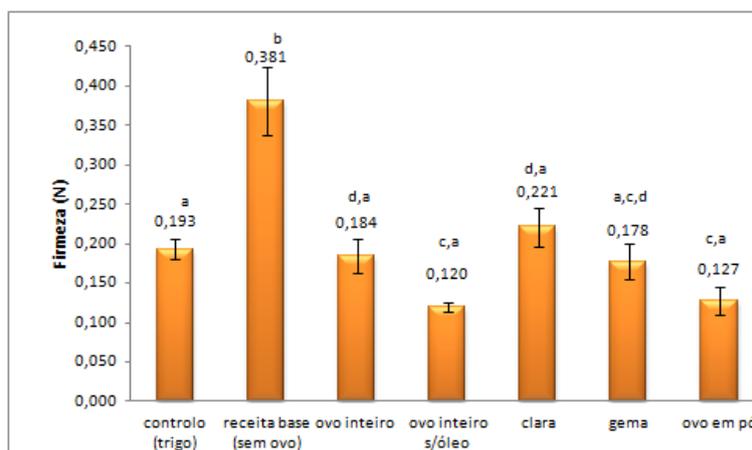


Figura 20 - Firmeza das massas dos pães com e sem adição de ovo após fermentação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Na Figura 20 observa-se um aumento significativo ($p \leq 0,05$) da firmeza da massa obtida pela receita base relativamente à massa controlo (massa com glúten), sendo a formulação que apresentou maior valor de firmeza (0,381 N). Observa-se também que as massas que contêm ovo foram semelhantes à massa controlo (massa de trigo), apresentando reduzida firmeza. A massa referente ao pão base acrescentado de ovo inteiro s/ óleo e a massa com ovo em pó são as massas que demonstraram menor valor de firmeza (0,120 N e 0,127 N). Estes factos estão relacionados com a ação emulsionante das proteínas da gema do ovo que facilitam a dispersão e estabilização das bolhas de gás nos sistemas de massas sem glúten e proteínas da clara do ovo responsáveis pelo processo de formação de gel que transmite estabilidade à massa (Houben, *et al.*, 2012; Milde, *et al.*, 2012).

Na Figura 21 apresentam-se os resultados da adesividade das massas dos respetivos mixes com e sem adição de ovo.

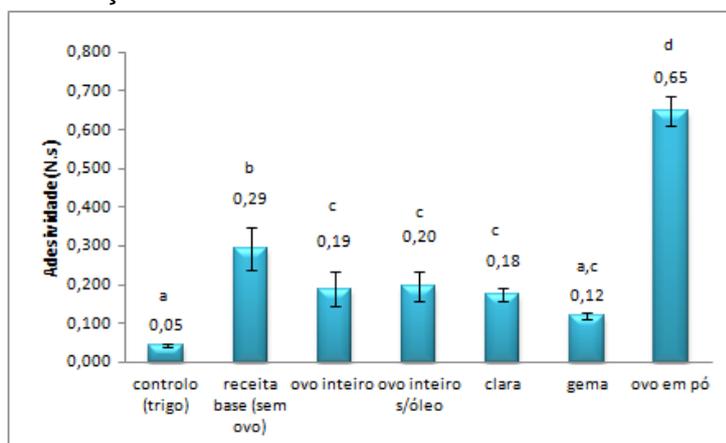


Figura 21- Adesividade das massas dos pães com e sem adição de ovo após 90 minutos de fermentação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da Figura 21 verifica-se que todas as formulações foram significativamente ($p \leq 0,05$) mais adesivas do que a formulação do controlo, com exceção da formulação referente ao pão sem glúten só com gema. Neste estudo verificou-se também que não existem diferenças significativas ($p \geq 0,05$) entre a adesividade das massas que envolvem ovo fresco. As massas que apresentaram maior adesividade foram a massa de ovo em pó e a massa isenta de glúten e ovo, resultados estes associados ao teor de água e isenção de glúten, respetivamente, formando assim massas mais pegajosas (Mohammadia, *et al.*, 2013; Sciarini, *et al.*, 2010).

A Figura 22 resume os resultados da coesividade das massas desenvolvidas com e sem adição de ovo.

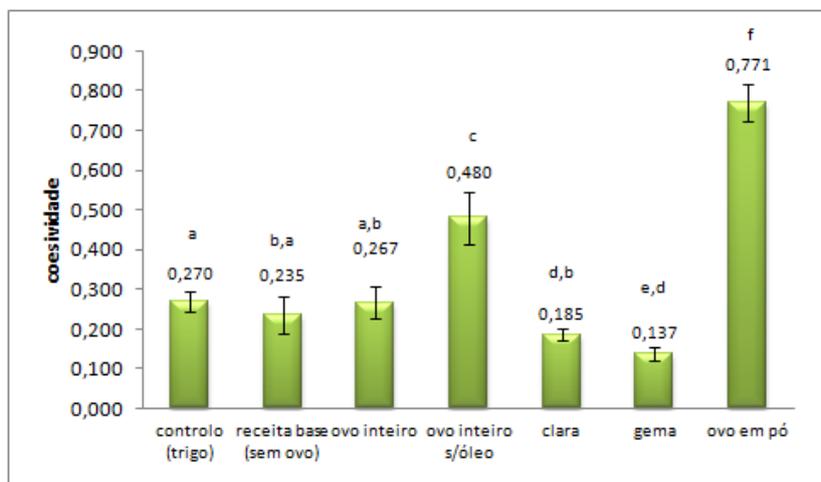


Figura 22- Coesividade das massas dos pães com e sem adição de ovo após 90 minutos de fermentação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Observando a figura 22 verifica-se que as massas com superiores valores de coesividade foram a massa de ovo em pó e a de ovo inteiro sem óleo. Contrariamente vários investigadores (Milde, *et al.*, 2012) verificaram que a adição de óleo favoreceu as características das massas de pão isento de glúten com ovo fresco inteiro. As massas de pão isento de glúten acrescentadas de clara ou gema apresentaram valores de coesividade significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes da massa controlo e os menores valores de coesividade.

3.3.3. Influência da adição de ovo na textura do pão

Na figura 23 estão representados os resultados relativamente à firmeza do miolo dos pães de trigo, sem glúten com e sem adição de ovo.

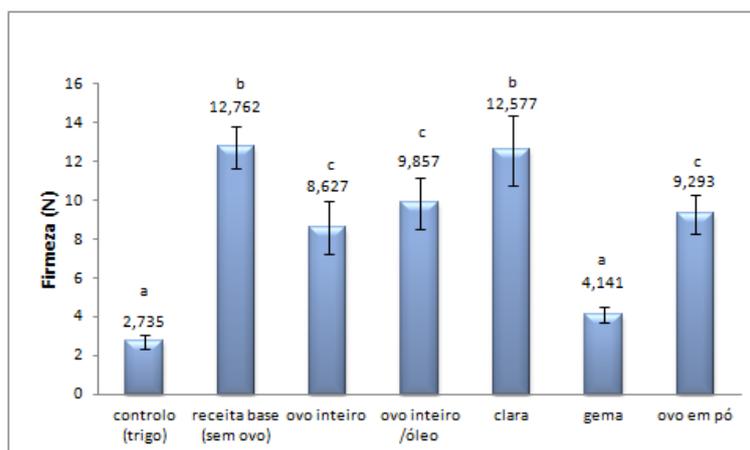


Figura 23 - Análise do parâmetro de firmeza do miolo dos pães desenvolvidos com ou sem adição de ovo.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir das figuras 23 verifica-se que a firmeza de todos os pães é significativamente ($p \leq 0,05$) diferente do controlo (pão de trigo), ao fim de 2h, exceto a firmeza do pão acrescentado de gema de ovo. É também de salientar que os pães produzidos com ovo inteiro, só gema e ovo em pó apresentaram firmeza significativamente ($p \leq 0,05$) inferior ao pão base isento de ovo, ao fim de 2h. Milde, *et al.* (2012) corroboraram o efeito positivo do ovo na firmeza de pão produzido a partir de amido de tapioca e farinha de milho.

A figura 24 apresenta os valores de coesividade do miolo dos pães desenvolvidos para melhoria da receita base.

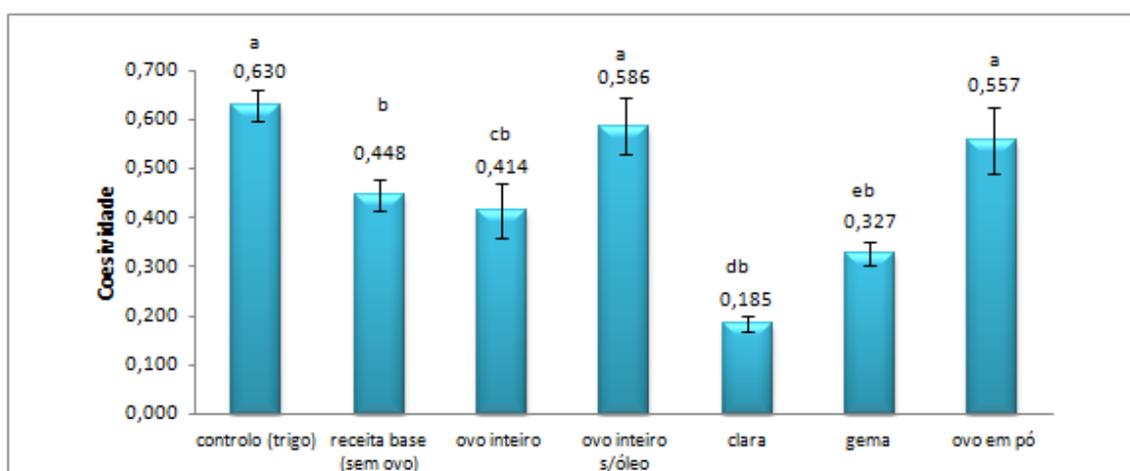


Figura 24 - Avaliação da coesividade do miolo dos pães desenvolvidos com e sem ovo.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 24 verifica-se que a coesividade dos pães isentos de glúten foi significativamente ($p \leq 0,05$) diferente do controlo, exceto a coesividade do pão acrescentado de ovo inteiro sem óleo e ovo em pó, factos associados à sua estrutura

interna e características da massa. Os pães que apresentaram menor coesividade foram os pães formulados a partir das receitas com clara e gema de ovo.

3.3.4. Impacto da incorporação de ovo na cor dos pães isentos de glúten

No gráfico da figura 25 resumem-se os parâmetros resultantes da avaliação da cor ($L^*a^*b^*$) obtidos para os vários miolos de pães formulados.

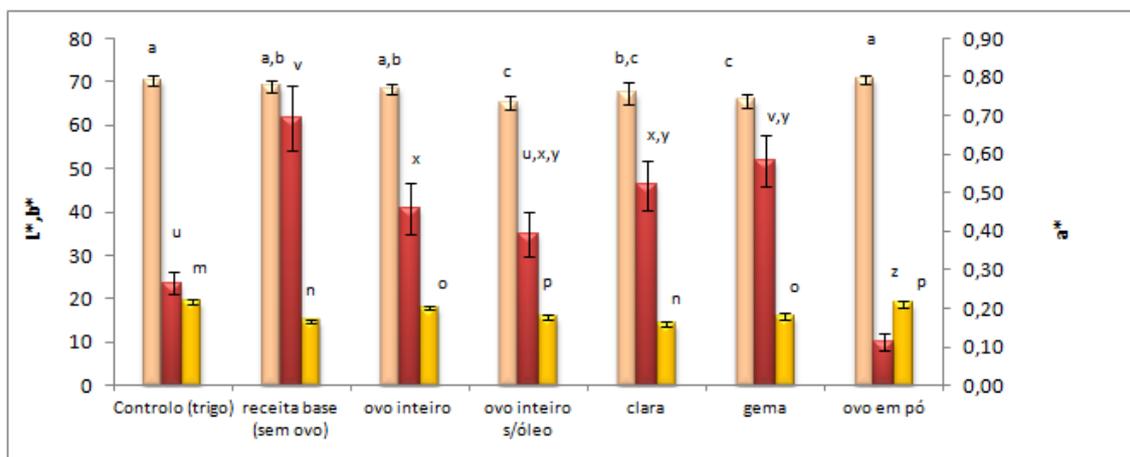


Figura 25 - Análise dos parâmetros de luminosidade (L^*) e cromaticidade (a^*b^*) dos pães em estudo.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letra.

Verifica-se que em relação ao parâmetro de luminosidade (L^*), as formulações de pão acrescentadas de ovo inteiro sem óleo, clara ou gema de ovo foram significativamente ($p \leq 0,05$) inferiores ao controle, apresentando assim miolos com coloração mais escura. As receitas base, acrescentada de ovo inteiro e ovo em pó não apresentaram diferenças significativas ($p \geq 0,05$) do controle, valores L^* mais elevados, o que significa que possuem miolo com coloração mais clara. Em relação aos parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*), foi possível verificar que todas as formulações apresentaram-se na região do vermelho, que corresponde a valores positivos para a coordenada a^* . Relativamente à coordenada b^* também todos os pães produzidos ficaram situados na mesma região, a região do amarelo (valores positivos na coordenada b^*). Dentro de cada uma dessas regiões houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de tonalidades de cores em alguns pães, que se desenvolveram durante o processo de cozedura, mais concretamente nas reações de Maillard e caramelização dos açúcares.

3.3.5. Efeito da adição de ovo na atividade da água dos pães produzidos

A figura 26 apresenta os valores de atividade da água do miolo dos pães desenvolvidos com e sem adição de ovo fresco, ao fim de 2h e 48h.

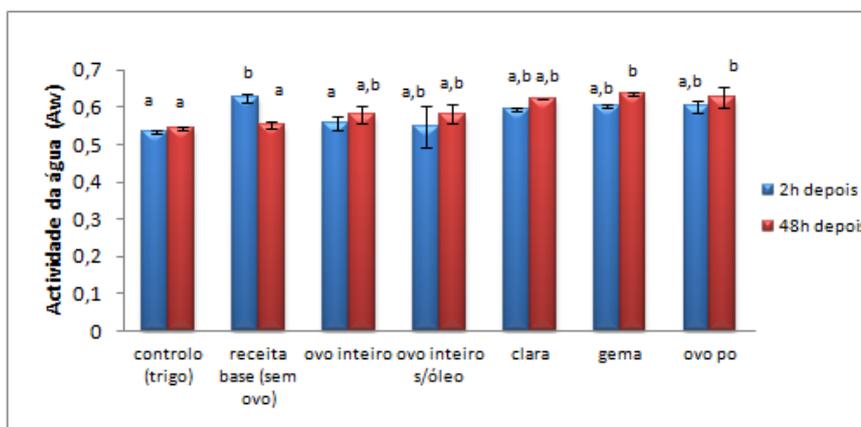


Figura 26 - Avaliação da atividade da água dos miolos com e sem adição de ovo, ao fim de 2 e 48h.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 26 verifica-se que a atividade da água dos pães com incorporação de ovo, durante o período de dois dias, não apresenta diferenças significativas relativamente ao controlo, exceto nos pães produzidos com gema de ovo e ovo em pó. Na produção de pão isento de glúten à base de mandioca Pasqualone, *et al.* (2010) também não detetaram diferenças significativas entre a humidade dos miolos de pães de farinhas trigo e mandioca com ovo.

3.3.6. Efeito da adição de ovo na capacidade de expansão das massas.

A capacidade de expansão das massas de pão, no final da fermentação, foi expressa em termos de percentagem de *over-run* das massas. Na figura 27 avalia-se o efeito da adição de ovo nesse parâmetro.

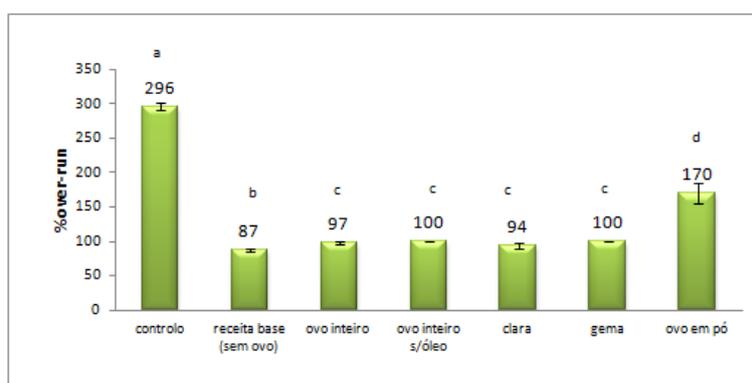


Figura 27 - Variação de volume das massas produzidas com ou sem adição de ovo até fermentação completa (1h30min.).

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que todos os pães apresentaram percentagens de *over-run* significativamente ($p \leq 0,05$) inferiores ao do controlo (pão de trigo), o que significa que apesar das estratégias utilizadas não é possível atingir uma expansão da massa igual à da farinha de trigo. Também é de salientar que os pães que continham ovo evidenciaram percentagens de *over-run* mais elevadas relativamente ao pão produzido a partir do mix base. Estes factos foram já confirmados em trabalhos anteriores por vários investigadores (Milde, *et al.*, 2012; Pasqualone, *et al.*, 2010) e que resultaram da capacidade de formação de espumas das proteínas de ovo.

3.3.7. Impacto da adição de ovo no perfil de envelhecimento do pão base

Na figura 28 está representado o perfil de envelhecimento dos miolos de pães controlo (pão de trigo), pão produzido a partir da receita base, pães obtidos com ovo fresco inteiro e ovo em pó, sem óleo. Em termos globais foram os pães com ovo fresco inteiro e ovo em pó, ambos sem óleo, que apresentaram melhores resultados, pois revelaram-se os pães mais coesos e com preferível estrutura interna relativamente ao pão desenvolvido a partir da receita base.

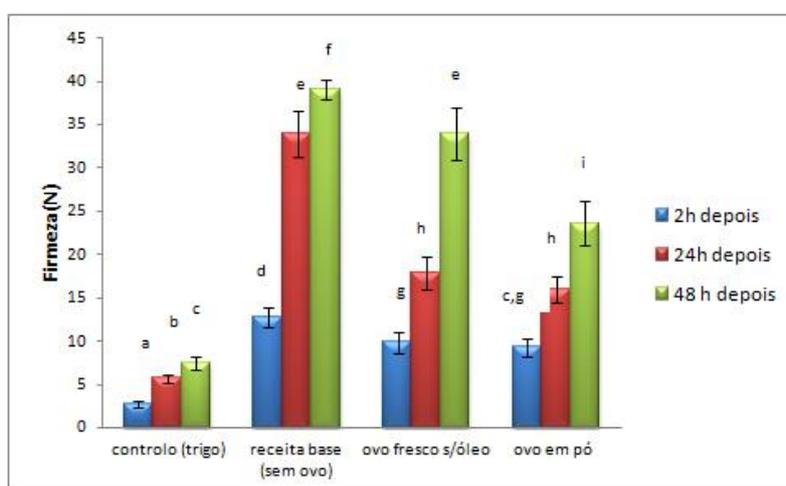


Figura 28 - Perfil de envelhecimento dos pães produzidos com e sem adição de ovo.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 28 verifica-se que o perfil de envelhecimento dos pães base, acrescentado de ovo fresco e ovo em pó foram significativamente ($p \leq 0,05$) superiores relativamente ao pão controlo. Salienta-se também que os pães sem glúten produzidos com adição de ovo (em pó ou fresco) são significativamente ($p \leq 0,05$) mais moles e endurecem menos ao fim de 24h comparativamente com o pão base de farinha de arroz sem ovo. Resultados semelhantes foram verificados, na produção de pão com amido de tapioca, farinha de milho e ovo fresco por Milde, *et al.*, (2012).

3.4. Efeito das farinhas de trinca de arroz agulha e vaporizado no mix de pão otimizado com incorporação de ovo fresco

3.4.1. Avaliação do efeito do tipo de farinha na aparência da estrutura interna dos pães com ovo fresco.

Após análise de todos os pães desenvolvidos anteriormente, verificou-se então que o pão acrescentado de ovo fresco inteiro e ovo em pó, ambos sem óleo, apresentaram características mais próximas do pão tradicional. Destas duas formulações, a formulação com ovo fresco, foi utilizada para avaliar o impacto das diferentes farinhas de trinca de arroz.

A diferença da aparência interna dos pães produzidos com as farinhas de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado pode ser observada na Figura 29.

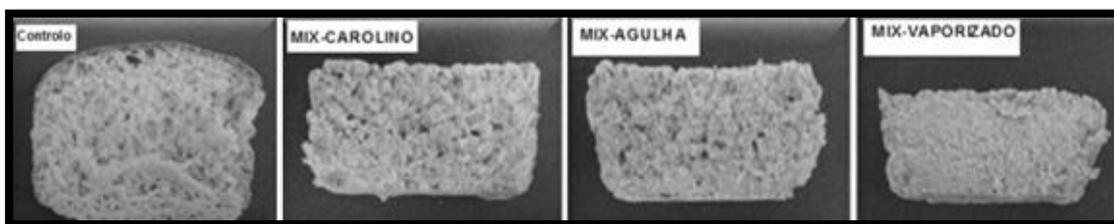


Figura 29 – Aparência da estrutura interna do pão controle (farinha de trigo) e pães formulados a partir das farinhas de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado.

Analisando a figura 29 verifica-se que o pão produzido a partir da farinha de trinca de arroz agulha apresentou uma estrutura aproximada ao pão produzido com farinha de trinca de arroz carolino e pão controle (trigo). No entanto, torna-se um pão mais compacto com menor número de alvéolos, relativamente ao pão de farinha de trinca de arroz carolino. Contrariamente, o pão formulado com farinha de trinca de arroz vaporizado demonstrou uma estrutura muito mais compacta que os pães de farinha de trinca de arroz carolino e agulha, factos relacionados com o processamento e composição química do arroz vaporizado. Uma vez que o arroz vaporizado já foi sujeito a uma pré-cozedura, o processo de gelatinização parcial ou total do amido já ocorreu, logo a formação da estrutura esponjosa pela gelatinização do amido durante a cozedura é comprometida. No processo de vaporização também ocorreu movimentação de nutrientes do pericarpo para o grão, logo este tipo de grão também apresenta maior teor de fibra, proteínas, lípidos e minerais carecendo assim de maior percentagem de água. Resultados semelhantes foram observados na produção de pão com farinha de arroz com vários tipos de grão e várias percentagens de água (Hera, *et al.*, 2013).

3.4.2. Impacto dos diferentes tipos de farinha de trinca de arroz na textura das massas de pão acrescentadas de ovo fresco

A Figura 30 apresenta os resultados da firmeza das diferentes massas de pão obtidas a partir de farinhas de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado.

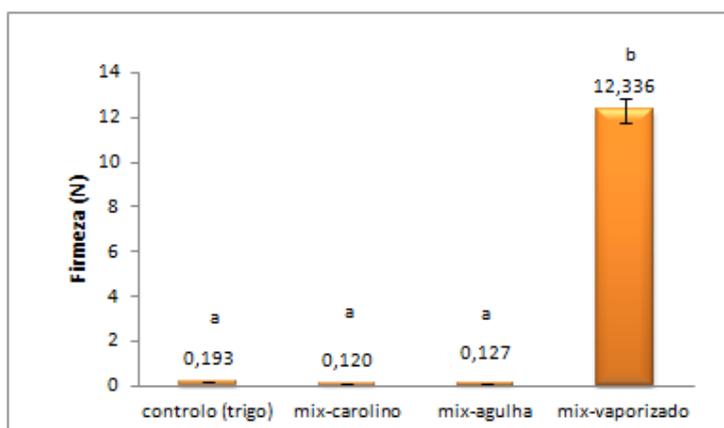


Figura 30- Firmeza das massas do pão controlo (trigo) e pães obtidos com farinha de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado após 90 minutos de fermentação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Observa-se um aumento significativo ($p \leq 0,05$) da firmeza da massa obtida com farinha de trinca de arroz vaporizado relativamente ao controlo (massa de trigo) e às massas de arroz carolino e agulha, sendo a formulação que apresentou maior valor de firmeza (12,336 N). Todos estes factos estão relacionados com o tipo de grão, processamento e percentagem de água utilizados na produção dos pães, como foi referido anteriormente. Observa-se também que as massas formuladas a partir do mix de arroz carolino e arroz agulha não apresentam diferenças significativas ($p \geq 0,05$) entre si.

No gráfico da figura 31 apresentam-se os resultados da adesividade das massas em estudo.

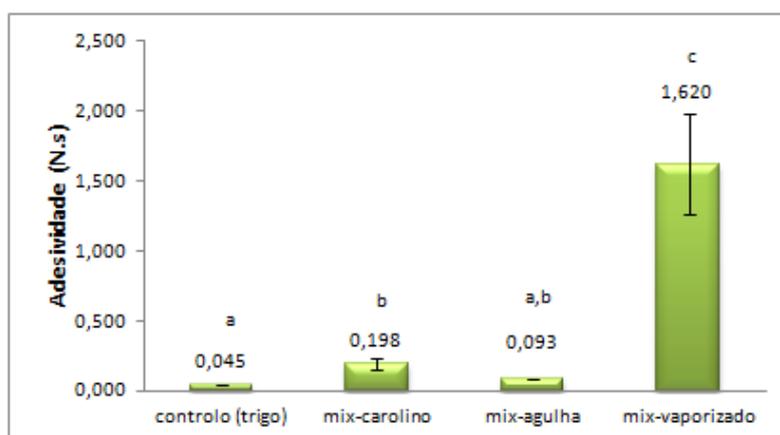


Figura 31 - Adesividade das massas do pão controlo (trigo) e pães obtidos com farinhas de trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado após 90 minutos de fermentação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que a massa de farinha de trinca de arroz vaporizado foi significativamente ($p \leq 0,05$) mais adesiva comparativamente com as restantes massas, facto relacionado com a elevada firmeza da massa que levou à realização de um maior trabalho para remoção da sonda da massa (Sousa, 2001;Pereira, 2012). Verificou-se também, que não existem diferenças significativas entre a adesividade das massas de farinhas de trinca de arroz carolino e agulha.

A Figura 32 resume os resultados da coesividade das massas desenvolvidas.

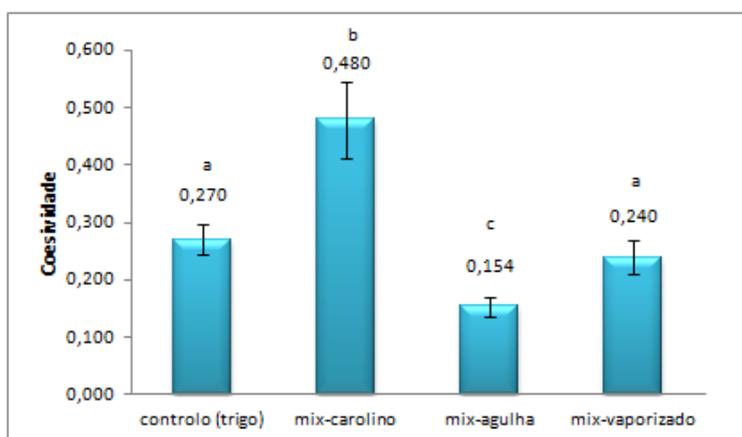


Figura 32 - Coesividade das massas dos pães produzidos com as diferentes farinhas, após fermentação.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras situadas acima de cada barra.

Observando a figura 32 verifica-se que não existem diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre a coesividade das massas controlo e de farinha de arroz vaporizado. A massa formulada com farinha de trinca de arroz carolino apresenta valor de coesividade significativamente ($p \leq 0,05$) superior às massas controlo (trigo) e produzidas com farinhas de trinca de arroz agulha e vaporizado, resultados associados à adição de ovo, às diferenças de grãos, processamento e às diferentes composições químicas dos vários tipos de farinha já observadas anteriormente.

3.4.3. Efeito da variedade de farinha de trinca de arroz no perfil de envelhecimento e coesividade do pão com incorporação de ovo fresco

Na figura 33 estão representados os resultados relativamente ao perfil de envelhecimento dos pães produzidos com diferentes tipos de farinha de trinca arroz.

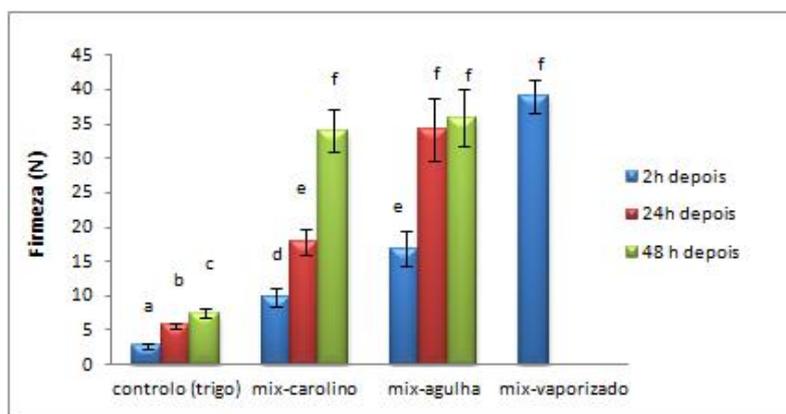


Figura 33 - Avaliação do perfil de envelhecimento do pão controlo (trigo) e pães com diferentes tipos de farinha de trinca de arroz, ao fim de 2h, 24h e 48h.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 33 verifica-se que a firmeza do pão controlo (trigo) é significativamente ($p \leq 0,05$) inferior aos restantes pães. Quanto ao pão de farinha de trinca de arroz carolino, observa-se que ao fim de 2h de produção a firmeza é significativamente ($p \leq 0,05$) inferior aos pães de farinhas de trinca de arroz agulha e vaporizado, o que está associado de facto a um miolo com distribuição de alvéolos mais homogénea e próxima das características pretendidas. É de salientar que pelo facto da firmeza do pão de farinha de trinca de arroz vaporizado ter sido tão elevada, ao fim de 2h, não foi possível avaliar o seu perfil de envelhecimento ao fim de 2 dias, nas mesmas condições anteriormente estabelecidas para o ensaio. A farinha de trinca de arroz carolino revelou-se assim a farinha mais interessante em termos de preservação das propriedades da textura dos pães, o que está relacionado com a favorável relação de amilose/amilopectina do arroz carolino e consequentemente inferior retrogradação do amido, como foi já referenciado na literatura.

A representação gráfica da figura 34 expressa os resultados relativamente à coesividade dos pães obtidos com diferentes tipos de farinha de trinca de arroz.

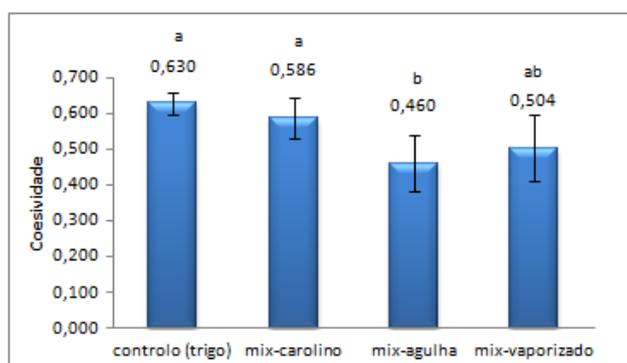


Figura 34 - Avaliação da coesividade dos miolos de pães com diferentes farinhas.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Segundo a figura 34 verifica-se que a coesividade dos miolos de pães desenvolvidos com farinhas de trigo e trinca de arroz carolino são significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes do pão de farinha de trinca de arroz agulha, facto provavelmente associado ao menor teor de amilopectina no arroz agulha que proporciona menor absorção de água relativamente ao arroz carolino, como visto anteriormente na revisão bibliográfica. Estes resultados foram já corroborados por Hera, *et al.* (2013), que obtiveram pães de farinha de arroz mais coesos com farinhas de grãos semelhantes. Verificou-se também, que o pão de farinha de trinca de arroz vaporizado apresentou coesividade semelhante aos pães de farinhas de trigo, trinca de arroz carolino e agulha, o que pode está associado a valores elevados de firmeza.

3.4.4. Efeito do tipo de farinha de trinca de arroz na cor do pão acrescentado de ovo fresco

Na figura 35 resumem-se os parâmetros resultantes da avaliação da cor ($L^*a^*b^*$) obtidos para os vários miolos dos pães formulados com as diferentes farinhas.

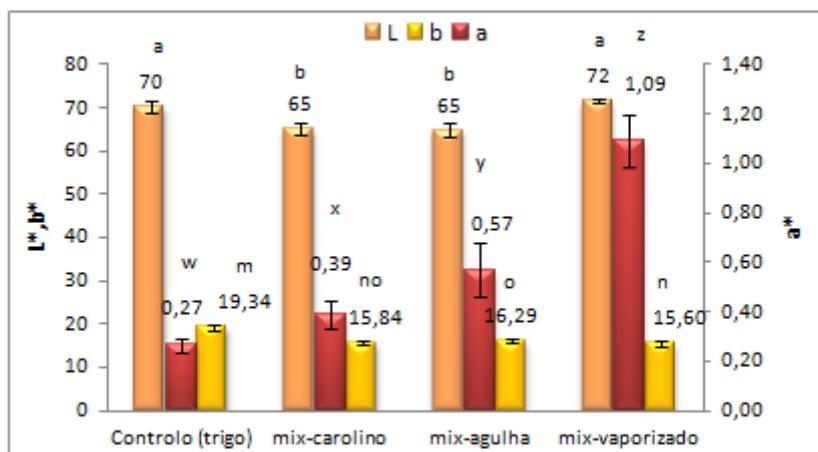


Figura 35- Avaliação da Luminosidade (L^*) e parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*) dos pães desenvolvidos com farinhas de trigo e trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que em relação ao parâmetro de luminosidade (L^*), o pão controlo (trigo) e pão de farinha de trinca de arroz vaporizado apresentaram valores significativamente ($p \leq 0,05$) superiores em relação aos pães de farinhas de trinca de arroz carolino e agulha, o que significa que possuem miolo com coloração mais clara. Apesar da farinha de trinca de arroz vaporizado ser mais escura o pão produzido com essa farinha ficou mais claro, porque após arrefecimento ficou extremamente seco e formou uma clara camada no miolo do pão.

Em relação aos parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*), foi possível verificar que todas as formulações apresentaram-se na região do vermelho (valores positivos para a coordenada a^*), no entanto houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de tonalidades.

Relativamente à coordenada b^* todos os pães produzidos ficaram situados na região do amarelo (valores positivos na coordenada b^*), destacando-se o pão controlo (pão de trigo) com diferentes tonalidades dos pães de arroz. Estas diferenças estão relacionadas com as reações de Maillard e caramelização dos açúcares no final da cozedura.

3.4.5. Efeito do tipo de farinha na atividade da água do pão com adição de ovo fresco

A figura 36 apresenta os valores de atividade da água dos miolos dos pães desenvolvidos com diferentes tipos de farinha, ao fim de 2h e 48h.

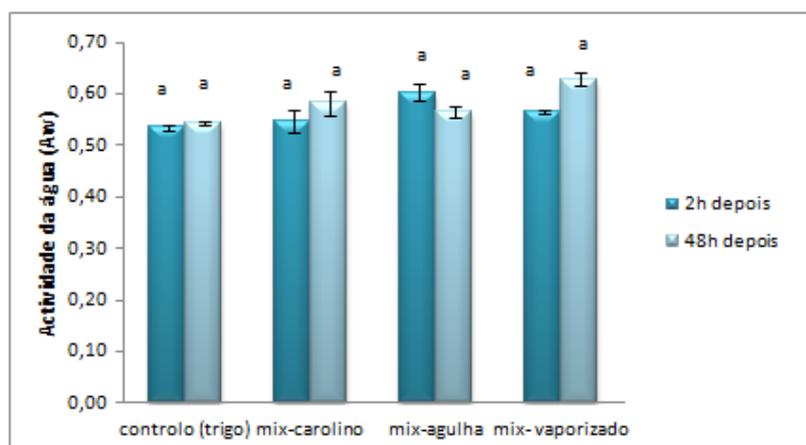


Figura 36 - Avaliação da atividade da água dos miolos do pão controlo (trigo) e pães produzidos com diferentes tipos de farinha, ao fim de 2h e 48h.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 36 verifica-se que a atividade da água dos pães produzidos com farinhas de trigo, trincas de arroz carolino, agulha e vaporizado não apresentaram diferenças significativas ($p \geq 0,05$) entre si, ao fim de 2 horas e 48 horas. Portanto verifica-se que este parâmetro não permite discriminar as diferentes formulações, por isso não será o parâmetro mais correto para avaliar.

3.4.6. Capacidade de expansão das massas, após fermentação, para os diferentes tipos de farinha de trinca de arroz.

A capacidade de expansão das massas, expressas em percentagens de *over-run*, de farinhas de trigo e trinca de arroz carolino, agulha e vaporizado estão representadas na figura 37.

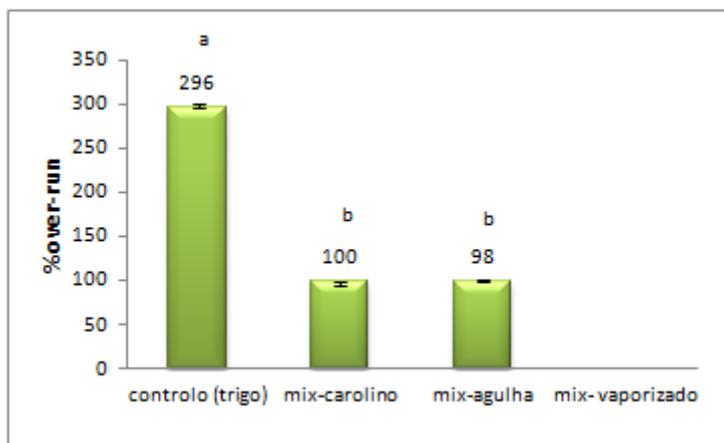


Figura 37 - Percentagem de *over-run* das várias massas até fermentação completa (1h30min.)

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que o pão controle apresentou capacidade de expansão da massa significativamente ($p \leq 0,05$) superior relativamente aos outros pães. Os pães de farinhas de trinca de arroz carolino e agulha não apresentaram diferenças significativas ($p \geq 0,05$) nos valores de percentagens de *over-run*. Relativamente ao pão de farinha de trinca de arroz vaporizado constatou-se que não houve aumento de volume pela expansão da espuma ao longo da fermentação, resultados associados ao tipo de farinha e % de água, e conseqüentemente à sua estrutura muito compacta com ausência de alvéolos, como já foi verificado anteriormente.

3.5. Efeito do processamento da máquina do pão nas características dos pães comercial e com ovo

Atualmente os mixes de panificação são mais direcionados para as máquinas de pão, por isso foi testado também o desenvolvimento de pães com adição de ovo na máquina de pão. Foram testados vários programas no pão com ovo fresco: o programa normal – escuro (2:50h), adequado para pão “branco” com tonalidades mais escuras; programa integral médio (3:40h), para a preparação de pão integral com tonalidade intermédias; e o programa rápido médio (1:40h), utilizado na preparação rápida de pão “branco” com tonalidade intermédias. Quanto ao pão de ovo em pó os resultados apresentados são no programa rápido médio (1:40h) que no pão com ovo fresco demonstrou ser o mais adequado para este tipo de farinhas. Todos estes pães processados foram comparados com um pão comercial (mix de pão, isento de glúten, da marca Shar) produzido no programa normal-escuro, cuja sua composição está descrita na análise de mercado que foi efetuada.

3.5.1. Influência do processamento da máquina de pão na aparência da estrutura interna

A aparência interna dos pães com incorporação de ovo fresco e ovo em pó nos diferentes programas da máquina de pão, comparada com a aparência do pão comercial pode ser observada na Figura 38.

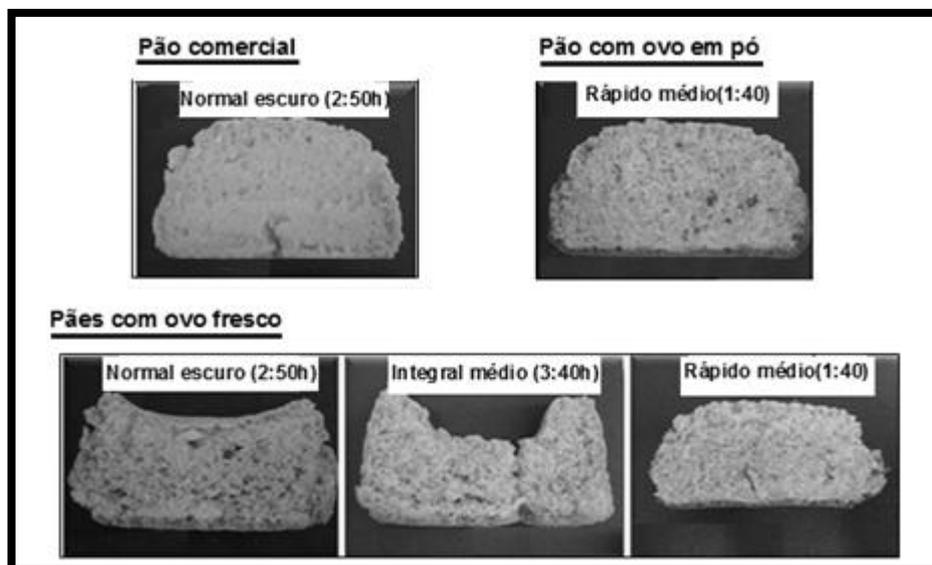


Figura 38 – Aparência da estrutura interna dos pães com ovo fresco, ovo em pó e comercial, produzidos nos vários programas da máquina do pão.

Observando a figura 38 verifica-se que os pães produzidos no programa rápido (1:40h) foram os pães que obtiveram a melhor forma e que mais se aproximaram da estrutura do pão comercial. Os pães produzidos nos programas normal (2:50h) e integral (3:40h) apresentaram a parte central do pão achatada para baixo, no entanto, mostraram uma estrutura menos compacta e com maior número de alvéolos, comparativamente com o pão pronto no programa rápido, pois o tempo de fermentação da sua massa foi menor podendo assim influenciar a aparência interna do pão. É de referir que todos os pães com ovo fresco ficaram com zonas compactas de farinha junto à crosta devido à defeituosa mistura dos ingredientes pela máquina. As defeituosas misturas e estruturas de pão podem estar relacionadas com o facto dos programas da máquina de pão serem concebidos para pães obtidos a partir de farinha de trigo.

3.5.2. Análise do perfil de envelhecimento e coesividade do pão obtido nas diferentes condições de processamento

Na figura 39 estão representados os resultados relativamente aos perfis de envelhecimento dos vários pães processados na máquina de pão, ao fim de 2h, 24h e 48h, avaliados em termos da variação de firmeza ao longo do tempo.

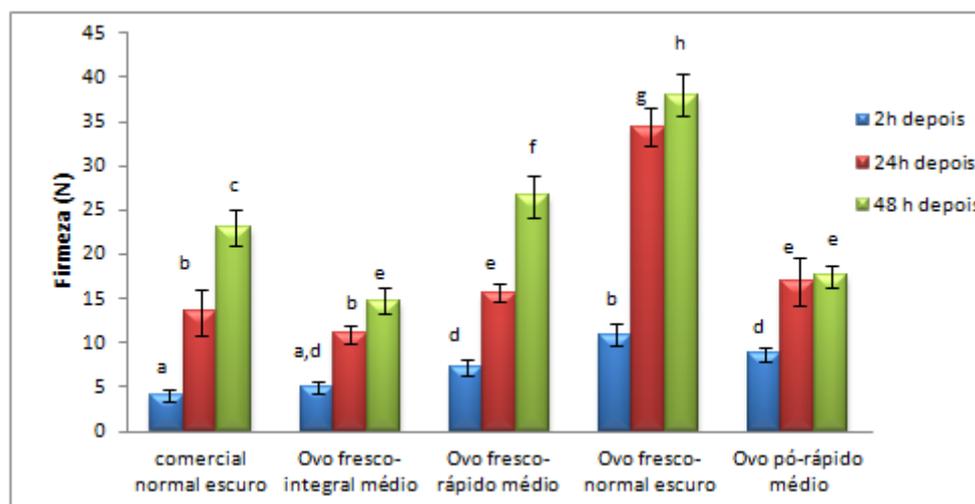


Figura 39 - Avaliação do perfil de envelhecimento dos pães obtidos com diferentes tipos de processamento, após 2h, 24h e 48h.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

A partir da figura 39 verifica-se que a firmeza dos pães com ovo é significativamente ($p \leq 0,05$) superior ao comercial, ao fim de 48h, exceto o pão com ovo fresco processado no programa integral. Estes resultados podem estar associados ao tipo e duração dos programas que consequentemente influenciam as características dos pães. É também de salientar que os pães com ovo fresco produzidos nos programa integral-médio e rápido-médio, e com ovo em pó no programa rápido não apresentaram diferenças significativas ($p \geq 0,05$) na firmeza ao fim de duas horas de produção. Factos que podem estar associados às tonalidades dos diferentes programas, pois estes apresentavam-se mais moles relativamente ao pão de programa mais escuro.

A figura 40 apresenta os valores de coesividade dos pães desenvolvidos na máquina.

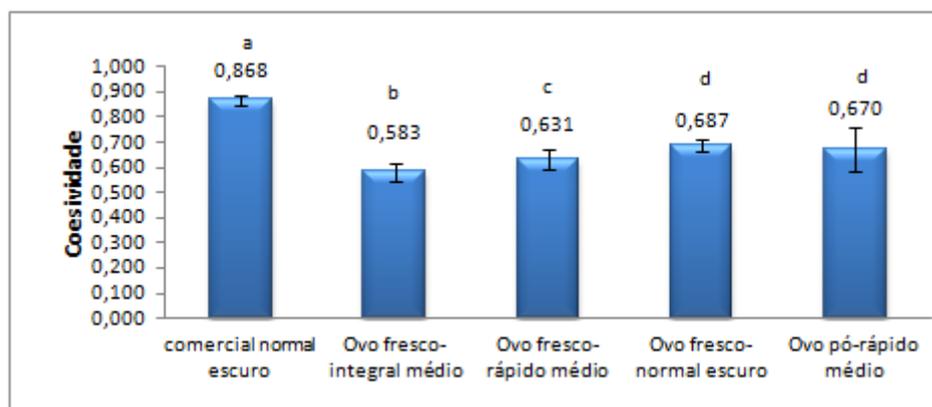


Figura 40 – Avaliação da coesividade dos miolos de pães desenvolvidos na máquina do pão com diferentes programas.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Segundo a figura 40 verifica-se que a coesividade dos vários miolos de pão é significativamente ($p \leq 0,05$) diferente do pão comercial. O pão comercial é o pão que apresentou valor superior de coesividade, no entanto, o pão comercial possui uma vantagem relativamente aos outros pães desenvolvidos, é constituído por hidrocolóides, agentes espessantes/gelificantes que proporcionam melhorias na textura dos pães e conseqüentemente maior consistência ao pão (Houben, *et al.*, 2012), enquanto os outros pães não possuem qualquer substância espessante/gelificante.

3.5.3. Avaliação da cor dos pães produzidos com diferentes condições de processamento

Na figura 41 resumem-se os parâmetros resultantes da avaliação da cor ($L^*a^*b^*$) obtidos para os diferentes miolos de pães.

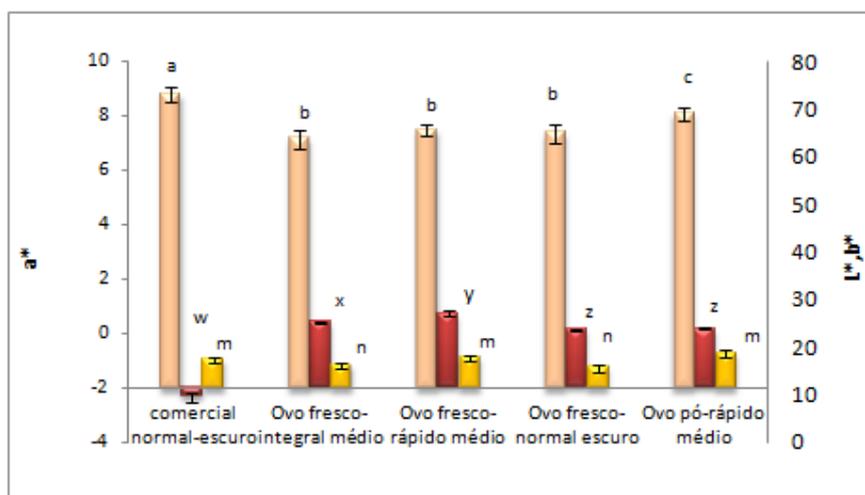


Figura 41 - Avaliação da Luminosidade (L^*) e parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*) dos diferentes pães desenvolvidos na máquina do pão.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras.

Verifica-se que em relação ao parâmetro de luminosidade (L^*), os pães produzidos nos vários programas apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$), em relação ao pão comercial, pão este mais claro que todos os pães acrescentados de ovo. Verificaram-se também diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os pães de ovo fresco e o pão de ovo em pó, sendo que o pão com ovo em pó apresentou valores superiores de L^* mostrando-se assim um pão mais claro. Em relação aos parâmetros de cromaticidade (a^* e b^*), foi possível verificar que todas as formulações apresentaram-se na região do vermelho (valores positivos para a coordenada a^*), exceto o pão comercial que se apresentou na região verde (valores negativos para a coordenada a^*). Relativamente à coordenada b^* todos os pães produzidos ficaram situados na

mesma região, a região do amarelo (valores positivos na coordenada b*). No entanto dentro dessas mesmas coordenadas existem diferenças entre os valores, uma vez que o programa da máquina influencia a cor do pão, pois proporciona condições de temperatura diferentes e conseqüentemente diferentes extensões nas reações de Maillard.

3.5.4. Avaliação da atividade da água nos pães produzidos com diferentes processamentos

O gráfico da figura 42 apresenta os valores de atividade da água dos miolos de pão produzidos na máquina de pão ao fim de 2h e 48h, pelos diferentes programas disponíveis.

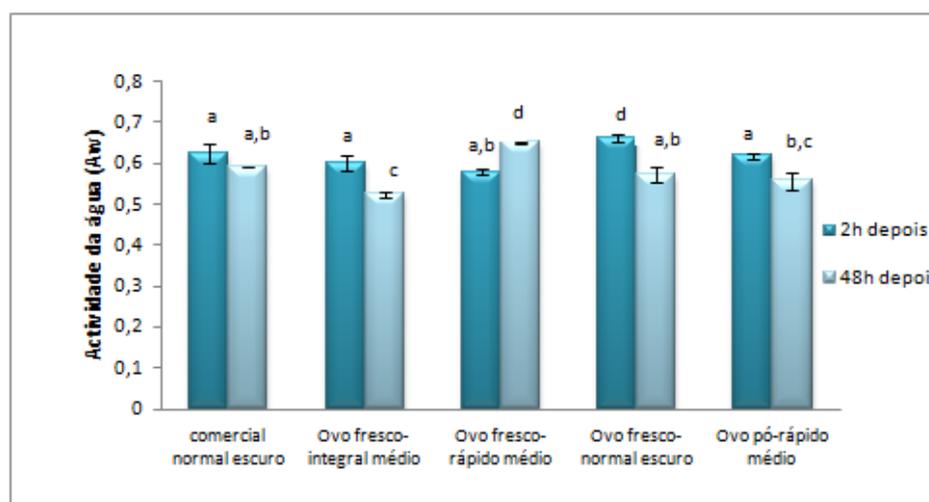


Figura 42 - Avaliação da atividade da água dos vários miolos de pão ao fim de 2h e 48h.

* As diferenças significativas entre as formulações ($p \leq 0,05$), de acordo com a ANOVA, estão representadas pelas diferentes letras situadas acima de cada barra.

A partir da figura 42 verifica-se que a atividade da água do pão comercial é semelhante ($p \geq 0,05$) aos outros pães, ao fim de 2 horas, exceto no pão com ovo fresco produzido no programa normal escuro. Após 48h, verificou-se a diminuição da atividade da água em todos os pães, exceto no pão com ovo fresco produzido no programa rápido. O pão com ovo fresco relativo ao programa rápido apresenta maior valor de atividade de água (0,651) ao fim das 48h, o que pode estar relacionado com o menor tempo de produção aliado à sua composição, e conseqüentemente a uma menor perda de água.

3.6. Propriedades reológicas das massas comercial e com ovo em pó

A figura 43 apresenta os resultados relativamente aos testes de varrimentos de frequência (espectros mecânicos) efetuados nas massas fermentadas dos mixes de

ovo em pó e comercial. A fermentação das respectivas massas ocorreu ao longo de 1:30h, tal como no processo de produção de todos os pães desenvolvidos manualmente. Os espectros mecânicos representam a variação dos módulos elástico (G') e viscoso (G'') em função da frequência. Anteriormente a estes ensaios foram realizados os devidos testes de varrimento de tensão, com o objetivo de garantir que a tensão utilizada estava dentro da zona linear de viscoelasticidade das diferentes massas.

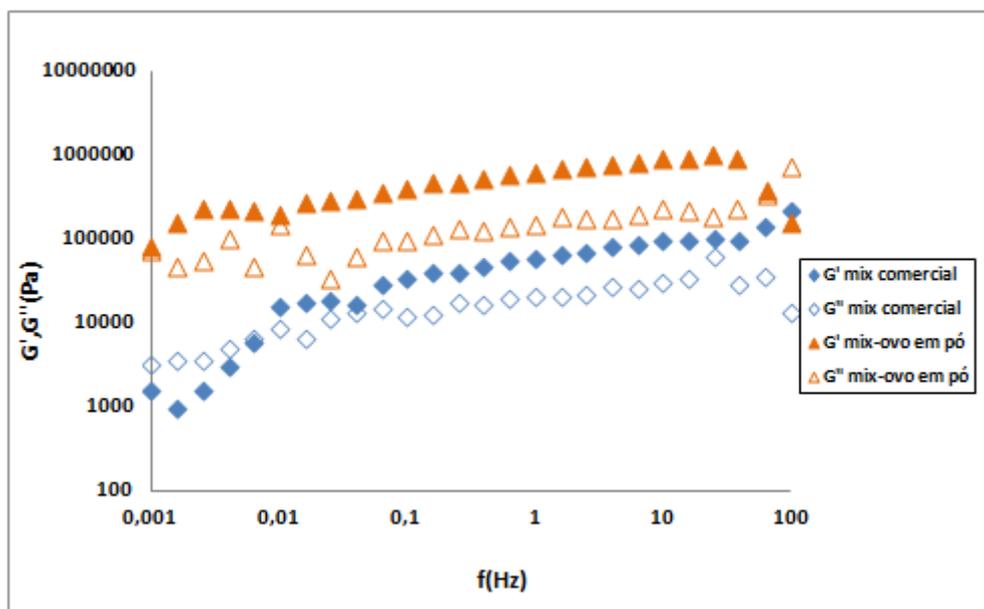


Figura 43 - Espectros mecânicos das massas dos mixes de ovo em pó e comercial, com períodos de fermentação de 1:30h.

Observando o espectro mecânico da figura 43 verifica-se que ambas as massas possuem componente elástica (G') superior à componente viscosa (G''), no entanto, existem variações das mesmas até frequências de 100 Hz evidenciando-se, assim, a dependência de ambas componentes relativamente à frequência. Constatam-se também que em ambas as massas as diferenças de valores entre os módulos G' e G'' são inferiores a uma década, demonstrando tratarem-se de massas com um comportamento aproximado a um gel fraco. No entanto, a massa de ovo em pó permanece com valores dos módulos viscoelásticos superiores, até valores de 100Hz de frequência, relativamente à massa comercial e também apresenta maior diferença de valores entre os dois módulos, verificando-se então que a massa de ovo em pó, isenta de hidrocolóides, é a mais estruturada. Estes resultados foram já observados por outros autores (Sciarini, *et al.*, 2012), na produção de pão de arroz e amido de mandioca com e sem hidrocolóides, demonstrando-se que o pão controle sem hidrocolóides obteve melhor microestrutura relativamente a pães com alginato e carboximetilcelulose.

Na figura 44 estão representados os testes de varrimento de tempo das mesmas massas analisadas anteriormente, testes nos quais os módulos viscoelásticos variam em função do tempo. Estes testes foram realizados com o objetivo de analisar as propriedades viscoelásticas das duas massas ao longo da fermentação.

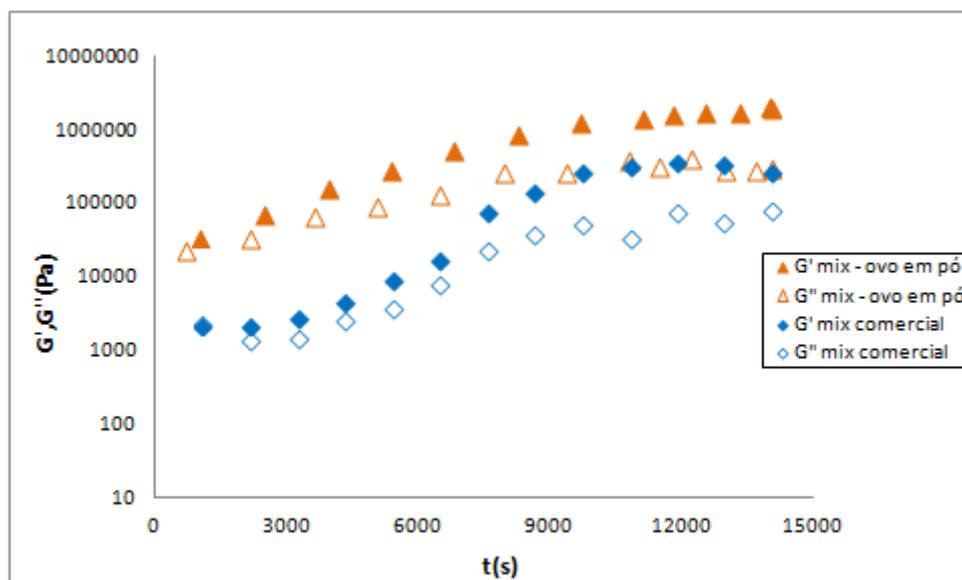


Figura 44 – Testes de varrimento de tempo aplicados às massas dos mixes de ovo em pó e comercial.

A partir da figura 44 observa-se que o perfil de fermentação de ambas as massas é distinto, sendo que a fermentação da massa de pão com ovo em pó é mais gradual relativamente à massa comercial. A partir de três horas (10800s) de fermentação não existem grandes diferenças a nível de microestrutura das massas, pois a variação das componentes elástica e viscosa de ambas as massas é reduzida. Verifica-se também que os valores das componentes viscoelásticas mantiveram-se semelhantes relativamente ao teste de varrimento de frequências anterior, reforçando o facto de a massa de ovo em pó desenvolvida apresentar um grau de estruturação superior à massa comercial, circunstância que pode estar relacionada com a sua composição, mais precisamente com o ingrediente ovo em pó.

A próxima representação gráfica da figura 45 representa testes de varrimento de frequência posteriormente efetuados, mas com massas com período de fermentação de três horas (10800s), período de tempo estabelecido anteriormente a partir dos testes de varrimento de tempo das diferentes massas. Estes testes de varrimento de frequência foram efetuados para averiguarmos se existem diferenças na microestrutura das massas alterando os períodos de fermentação de 1:30h (5400s) para 3:00h (10800s).

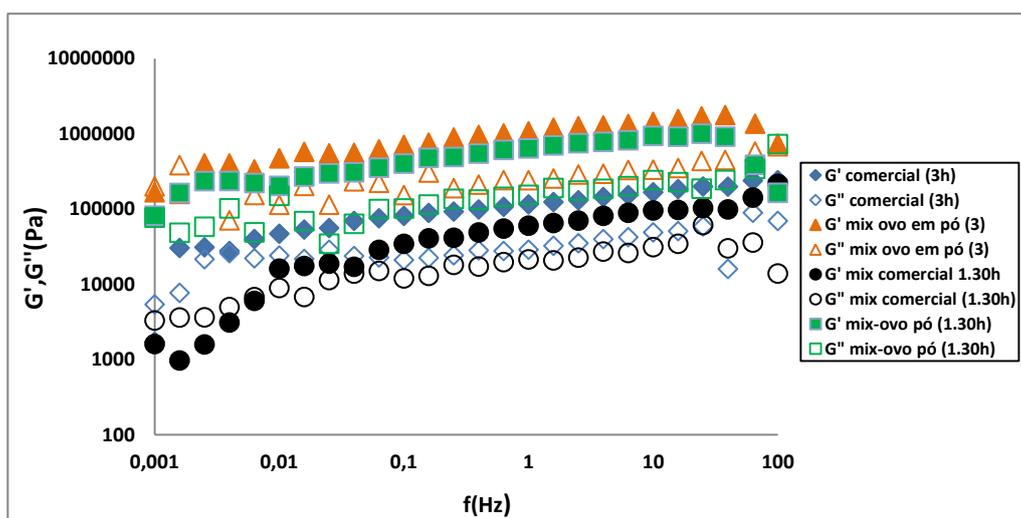


Figura 45 – Relação entre os espectros mecânicos das massas dos mixes de ovo em pó e comercial, com períodos de 3:00h e 1:30h de fermentação.

A figura 45 mostra que a alteração do período de fermentação de 1:30h (5400s) para 3:00h (10800s) não influenciou o comportamento viscoelástico das diferentes massas. Tal como nos testes de varrimento de frequência e tempo anteriores, os valores dos módulos elástico (G'') e viscoso (G') da massa de ovo em pó foram novamente superiores relativamente aos respetivos valores da massa comercial. Demonstra-se então, que o período de fermentação de 1:30h (5400s) foi adequado para que as massas atingissem o seu grau de estruturação característico.

3.7. Análise sensorial dos pães comercial e com ovo em pó

A análise sensorial foi realizada ao pão desenvolvido a partir do mix-ovo em pó (CPX) pelo facto de apresentar, em geral, as características finais pretendidas. Como termo de referência, foi também aplicada a análise sensorial ao mix de pão isento de glúten, da marca Shar, cuja sua composição foi apresentada na análise de mercado (MEY).

A representação gráfica da figura 46 apresenta os resultados da análise sensorial efetuada aos dois pães já referidos, considerando os atributos aparência/aspecto, cor do miolo e crosta, cheiro/odor, textura, sabor e apreciação global. Foi utilizado o modelo de ficha de prova apresentada no anexo III e as classificações foram de acordo com as escalas já referidas na descrição dos materiais e métodos.

Visualizando a figura 46 observa-se que existem semelhanças nos diferentes pães, pois ambos foram classificados agradáveis (5 valores) a nível do atributo aparência/aspecto e relativamente à intenção de compra os provadores transmitiram que não sabem se comprariam os dois pães (3 valores). Quanto aos atributos apreciação global, textura e sabor foi o pão comercial que apresentou melhor classificação, sendo considerado agradável, no entanto, verifica-se que o pão produzido com ovo em pó adquiriu melhor pontuação em relação aos atributos cor de

miolo (3 pontos), cor de crosta (3 pontos) e cheiro/odor (5 pontos), demonstrando-se o ideal na cor e o mais agradável no cheiro/odor.

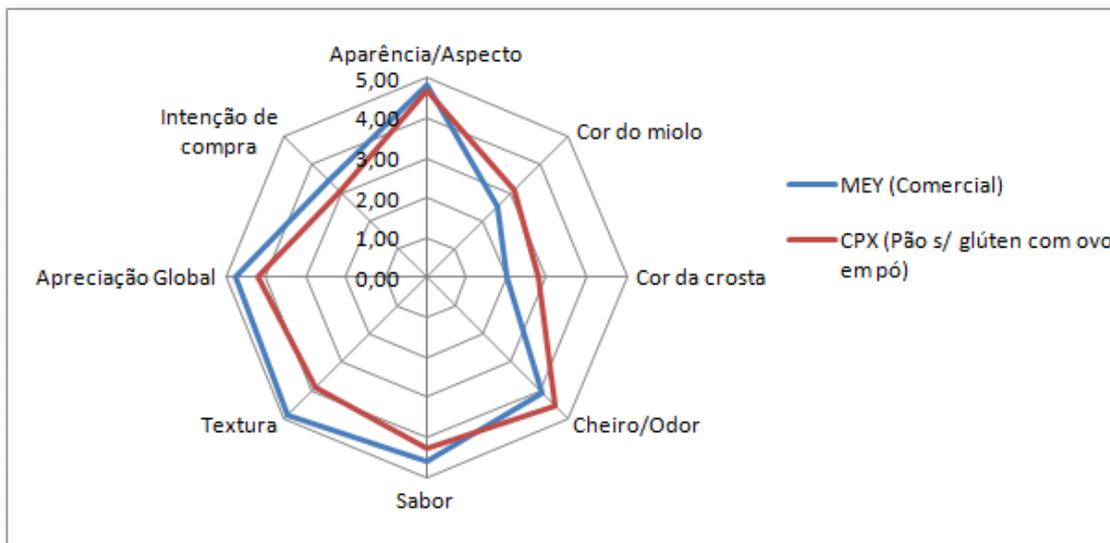


Figura 46 – Perfil sensorial relativamente aos 6 atributos dos pães com ovo em pó e comercial.

Em geral, os dois pães obtiveram classificação de ligeiramente agradáveis (4 valores), evidenciando níveis médios de aceitabilidade. Estes resultados foram corroborados por investigadores (Lazaridou, *et al.*, 2007), que obtiveram aceitabilidade média na produção de pães de arroz, amido de milho e caseinato de sódio com e sem hidrocolóides. Vários autores (López, *et al.*, 2004) avaliaram a aceitabilidade de pães isentos de glúten por vários provadores, nomeadamente pães com farinha de milho, amido de milho e amido de mandioca com e sem farinha de arroz, verificando-se que 25% dos provadores consideraram o pão com farinha de arroz bom, 33% acharam regular, 17% acharam muito desagradável e apenas 8% acharam muito bom, no entanto, foi o pão de farinha de arroz que apresentou os melhores resultados de aceitabilidade a nível de textura.

4. CONCLUSÕES

Após realização deste trabalho conclui-se que o desenvolvimento de mixes para o fabrico de pães isentos de glúten a partir de farinha de trinca e farelo de arroz foi possível e pode ser melhorado com a adição de ovo fresco ou ovo em pó.

No desenvolvimento da receita base, verificou-se que a adição de hidrocolóides, no geral, não favoreceu as características do pão de arroz, isento de glúten, pois os pães apresentaram uma estrutura muito compacta e reduzido número de alvéolos, valores de firmeza superiores, entre outros parâmetros analisados, relativamente aos pães sem hidrocolóides. Nesta fase, o pão que revelou melhores características foi o pão constituído por farinha e farelo de arroz, 56% de água, fécula de mandioca e fécula de batata, menor quantidade de fermento e sem hidrocolóides, apresentando no geral as melhores características sensoriais, de estrutura, textura e percentagem de *over-run*.

Em relação à fase de incorporação de ovo fresco e em pó, concluiu-se que o pão com ovo fresco inteiro e pão com ovo em pó, isentos de óleo, foram os pães que apresentaram as melhores características. Ambos os pães foram baseados na receita base, mas com alguns ajustes, foi removido o óleo da formulação e houve alterações nas percentagens de água e farinha de modo a incorporar o ovo na receita.

Em relação à terceira fase de desenvolvimento, efeito dos diferentes tipos de farinhas de trinca de arroz no pão acrescentado de ovo fresco concluiu-se que a farinha de arroz carolino foi a mais adequada à produção deste tipo de pão, uma vez que o pão apresentou estrutura, textura e volume mais apropriados.

Por fim, verificou-se a influência do processamento na máquina do pão nos pães com ovo fresco e ovo em pó. Quanto aos programas de pão verifica-se que o programa rápido (1:40h) foi o programa no qual os pães apresentaram melhor forma, pois verificou-se que este tipo de massa, isenta de glúten, não resiste a programas muito longos. Em relação aos pães, verificou-se que o pão com ovo em pó foi o pão que revelou ser aquele com características finais mais próximas do pão tradicional, apresentando estrutura mais adequada e firmeza inferior ao longo das quarenta e oito horas, quando comparado com o pão com ovo fresco. Comparativamente ao pão comercial (pão de farinha de arroz e amido de milho, isento de glúten, com hidrocolóides), o pão desenvolvido com ovo em pó apresentou-se um pão com vantagens a nível de odor/cheiro e cor, aproximando-se deste a nível de aparência e sabor, no entanto, a nível de textura o pão comercial revelou melhores características. A nível de propriedades viscoelásticas a massa com adição de ovo em pó mostrou ser uma massa com valores de componentes viscoelásticas superiores relativamente ao pão comercial, verificando-se assim que possui um grau de estruturação superior.

Conclui-se então que a formulação de ovo em pó obteve melhor estrutura interna, menor firmeza ao longo de quarenta e oito horas e maior percentagem de *over-run* relativamente à formulação com ovo fresco e à formulação base, aproximando-se assim do mix comercial e das características de pão pretendido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGA Institute - American Gastroenterological Association Institute Technical. 2006. Review on the on the Diagnosis and Management of Celiac Disease. *Gastroenterology*. 131-981.

ANIA.(2010).*Sector Agro-Alimentar do Arroz em Portugal. disponível em <http://www.ania.pt/2Variedades.pdf>* Acesso em 15 de Agosto de 2014.

Araujo W., Montebello N., Botelho R., Borgo L.. *Alquimia dos alimentos*. Senac. 2st ed. 2009. 145-149p.

APC. Associação Portuguesa de Celíacos (2014). Disponível em <http://www.celiacos.org.pt/> Acesso em: 10 de Outubro de 2014.

Butterwortha, J., Banfieldb, L., Iqbala, T., Brian, T.. 2004. Factors relating to compliance with a gluten-free diet in patients with coeliac disease: comparison of white Caucasian and South Asian patients, *Clinical Nutrition*. 23: 1127-1134.

Castro, J., Barros, J.; Medina, L.. 2013. Determinação da quantidade de glúten na farinha de trigo. Universidade Federal do Amazonas – Departamento de química. 1:6.

César, A., Gomes, J., Staliano, C., et al... 2006. Preparation of gluten-free bread, *Revista Ceres*, 53(306): 150:155.

Comissão Europeia. Regulamento (CE) n° 41/2009 de 20 de janeiro de 2009 relativo à composição e rotulagem dos géneros alimentícios adequados a pessoas com intolerância ao glúten. Disponível em <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:016:0003:0005:PT:P> DF Acesso em: *Acesso em 15 de Agosto de 2014.*

Crockett, R., Vodovotz, P., Le ,Y.. 2011. How Do Xanthan and Hydroxypropyl Methylcellulose Individually Affect the Physicochemical Properties in a Model Gluten-Free Dough?. *Journal of Food Science*. 76: 274-282.

Cunha, M., et al.. 2003. Curdlan: an important microbial hydrocolloid. *Ciências Agrárias, Londrina*. 24(2): 379-384.

Decreto-lei 121/98, de 8 de Maio de 1998 relativo aos aditivos alimentares. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/1998/05/106A00/21422153.PDF> Acesso em: Acesso em 23 de Abril de 2014.

Decreto-lei 62/2000, de 19 de abril de 2000 relativo às características do arroz e trincas de arroz destinadas ao consumidor final. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2000/04/093A00/16891692.PDF> Acesso em: Acesso em 15 de Agosto de 2014.

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., Sahin, S.. 2010. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*. 96: 295-303.

Damodarm, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. *Química de Alimentos de Fennema*. Artemed, 4ª edição. 2010. 115-117p.

Eduardo estevão. Introdução à análise sensorial – departamento de engenharia alimentar. Universidade do algarve. 2014. 5-42p.

FAO. (2007). Productos básicos y comercio. Disponível em <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/aq038s/aq038s00.pdf> Acesso em 15 de Agosto de 2014.

FAO. (1993). Rice in human nutrition. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/T0567E/T0567E08.htm> Acesso em 15 de Agosto de 2014.

Fasano, A., Catassi, C.. 2001. Current Approaches to Diagnosis and Treatment of Celiac Disease: An Evolving Spectrum, *gastroenterology*. 120: 636-651.

Guarda, A., Rosell, C., Benedito, C., et al.. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agentes. *Food Hydrocolloids*. 18: 241–247.

Green, P.. 2005. The Many Faces of Celiac Disease: Clinical Presentation of Celiac Disease in the Adult Population, *Gastroenterology*. 128: 74–78.

Heller, L.. 2009. Commercial aspects of gluten-free products. In: Gallagher, E. (ed) *Gluten-free Foods Science and Technology*. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford. 99-106.

Hera, E., Martinez, M., Gómez, M.. 2013. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT - Food Science and Technology*. 54: 199-206

Houben, A., Hochstotter, A., Becker, T.. 2012. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *Eur Food Res Technol*. 235: 195-208.

João Noronha. Análise Sensorial – Metodologia. Escola Superior Agrária de Coimbra. 2003, 1-26p.

Joaquim Figueiredo e Margarida Guerreiro. (2014). *Arroz doce. disponível em <http://www.cienciaviva.pt/docs/arrozdoce.pdf>* Acesso em 20 de Agosto de 2014.

Júnior, M., Bassinello, P., Caliar, M., *et al.*. 2009. *Quality of breads with toasted rice bran*, *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 29(3): 636-641.

Laureati, M., Giussani, B., Pagliarini, E.. 2012. Sensory and hedonic perception of gluten-free bread: Comparison between celiac and non-celiac subjects. *Food Res International*. 46: 326-333.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., *et al.*. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food -Free Bread Making Food and Nutrition Sciences*. 4: 496-502.

Lewis, M.. *Physical properties of food and food processing systems*. Cambridge.1987.66-68p.

López, A., Pereira, A., Junqueira, R.. 2004. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 47 (1): 63-70.

Maghaydah, S., Abdul-Hussain, S., Ajo, R., *et al.*. 2013. Utilization of Different Hydrocolloid Combinations in Gluten-Free Bread Making. *Food and Nutrition Sciences*, 4: 496-502

Matos, M., Rosell, C.. 2013. Quality Indicators of Rice-Based Gluten-Free Bread-Like Products: Relationships Between Dough Rheology and Quality Characteristics. *Food Bioprocess Technol.* 6: 2331–2341.

Milde, L., Ramallo, L., Puppo, M.. 2012. Gluten-free Bread Based on Tapioca Starch: Texture and Sensory Studies. *Food Bioprocess Technol.* 5: 888–896

Mohammadia, M., Sadeghnia, N., Azizi, M., *et al.* 2013. Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.* 1-7

Murray, J., Watson, T., Clearman, B., Mitros, F.. 2004. Effect of a gluten-free diet on gastrointestinal symptoms in celiac disease. *Am J Clin Nutr.* 79: 669–73.

Nobre, M.. Produção de Pão a partir de Farinhas Estremes de Aveia.. Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, 2013. 66p. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Alimentar

Pallarés, M.G.; León, A.E.; Rosell, C.M.Trigo. In: De TALES HARINAS, TALES PANES: Granos, harinas e productos de panificación en Iberoamérica. Córdoba. Argentina. 2007.123-160p.

Pasqualone, A., Caponio, F., Summo, C., *et al.* 2010. Gluten-free bread making trials from cassava(*manihot esculenta crantz*) flour and sensory evaluation of the final product, *International Journal of Food Properties.* 13: 562–573

Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., Schoenlechner, R.. 2012. Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran, *Journal of Cereal Science.* 56: 389-395

Rao V. N. M. & Quintero X.. Rheological Properties of Solid Foods. Em Rao, M. A.; Rizvi S. S. H. & Datta A. K. (Eds.), *Engineering Properties of Foods.* 3st ed.,. New York, ST: Taylor & Francis Group. 2005. 101-147p.

Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C., LWT. 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread, *Food Science and Technology*. 42: 1380–1389.

Scheuer, P.M.; Francisco, A.; Miranda, M. Z., *et al.*. M. 2011. wheat: characteristics and baking use. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13(2): 211-222.

Sciarini, L., Pérez, G., Lamballerie, M., *et al.*. 2012. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Food Bioprocess Technol.* 5: 1724–1732.

Sciarini, L., Ribotta, P., León, A., Pérez, G.. 2010. Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality *Food Bioprocess Technol.* 3: 577–585.

Song, Y., Zheng, Qi.. 2007. Dynamic rheological properties of wheat flour dough and proteins. *Trends in Food Science & Technology*. 18: 132-138

Sousa, I. M.N.. A Reologia dos Produtos Alimentares. In: *Reologia e suas Aplicações Industriais*. A. Gomes de Castro, J. A. Covas e A. C. Diogo. Instituto Piaget, Lisboa. 2001. 131-157p.

Tapia, A., Kelly, C., Hill, I., *et al.*. 2013. ACG Clinical Guidelines: Diagnosis and Management of Celiac Disease. *The American Journal of Gastroenterology*. 108: 656-676

Walter, M.; Marchezan, E.; MarchezanII, M., *et al.*. 2008. Rice: composition and nutritional characteristics, *Ciência Rural*, Santa Maria, 38 (4):1184-1192.

ANEXOS

ANEXO I – Poster – 12º Encontro de Química dos Alimentos



Desenvolvimento de Mixes de panificação isentos de glúten a partir de subprodutos da indústria de arroz

Joana Silva, Patrícia Fradinho*, Anabela Raymundo, Isabel de Sousa
 CEER-BioSystems Engineering, Instituto Superior de Agronomia/Universidade de Lisboa, Portugal
 *e-mail: pfradinho@isa.u-lisboa.pt

1. Introdução e Objetivos:

A doença celíaca (DC) é uma inflamação intestinal crónica estimulada pela ingestão de glúten. O único tratamento eficaz para a DC consiste numa dieta sem glúten ao longo de toda a vida (Sciarini, et al., 2012) - Produtos de custo elevado e a maioria importados!

Farinhas de arroz

Portugal – Auto-suficiente em arroz carolino- 40% de subprodutos. Amplamente utilizadas como alternativas da farinha de trigo para fazer produtos isentos de glúten – não contêm as frações proteicas envolvidas na formação de glúten (Heller, 2009).

Proteínas do ovo

Melhoria das características dos pães isentos de glúten - agentes formadores de espuma e estabilizadores do miolo (Houben;Hochstotter;Becker, 2012).

↳ Valorização de subprodutos da indústria de arroz – trínca e farelo de arroz ;
 ↳ Mixes de panificação com valores comerciais acessíveis – Doentes celíacos como público alvo.




2. Materiais e Métodos:

Etapas de Produção



- 1) Amassadura
- 2) Fermentação (37°C/90min)
- 3) Cozedura (180°C/40 min)

Ingredientes

- Fécula de batata
- Fécula de mandioca
- Óleo
- Farinha de trínca de arroz
- Levedura e fermento químico
- Farelo de arroz
- Ovo

Caracterização Física

% Over-run - expansão da espuma ao longo da fermentação

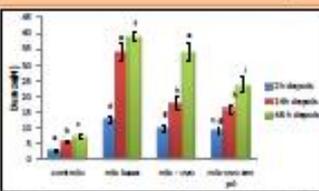


firmeza e envelhecimento (texturómetro TA-XiPlus, Stable Microsystems)



3. Resultados e discussão:

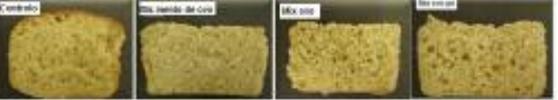
Avaliação da textura e do envelhecimento do pão



* A textura mais semelhante ao controlo (pão de trigo) foi a do pão produzido a partir do mix com ovo em pó.

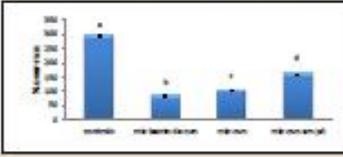
* A massa com incorporação de ovo em pó apresentou maior valor de percentagem de over-run.

Aparência da estrutura interna dos pães



* Pães que contêm ovo apresentaram estrutura interna com mais alveolos.

Aumento de volume (over-run) da massa, após fermentação



4. Conclusão:

Os mixes para o fabrico de pães isentos de glúten a partir de farinha de trínca e farelo de arroz podem ser melhorados com a adição de ovo fresco ou ovo em pó.

As formulações de pão acrescentadas de ovo demonstraram volume superior com uma estrutura interna regular e menos compacta, e redução de valores de firmeza, comparativamente com o pão isento de ovo. Em geral, a formulação isenta de glúten que mais se destacou foi a formulação com ovo em pó.

5. Referências Bibliográficas

- Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., Iaco, A.E., Pizar, G.T. (2012). Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 111(4): 590-597.
- Selić, L. (2006). Commercial aspects of gluten-free products. In: Gallagher, E. (ed) *Gluten-free Foods: Science and Technology*. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, pp. 99-105.
- Houben, A., Hochstotter, A., Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, 235: 197-208.



Agradecimentos: Trabalho realizado no âmbito do programa COMPETE: Projecto QREN Co-Promoção nº38749 "Arroz +".

ANEXO II – Resumo – 12º Encontro de Química dos Alimentos



12º Encontro de Química dos Alimentos

Desenvolvimento de um mix de panificação isento de glúten a partir de subprodutos alimentares

Joana Silva^a, Patricia Fradinho^a, Anabela Raymundo^a, Isabel de Sousa^{a,*}

^a Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa. Tapada da Ajuda 1349-017 Lisboa, Portugal

*jfdasilva@gmail.com

A doença celíaca (DC) é uma desordem intestinal inflamatória crónica estimulada pela ingestão de glúten resultante do processamento do trigo, centeio, cevada, algumas variedades de aveia e híbridos como o triticale. O único tratamento eficaz para a DC consiste numa dieta sem glúten ao longo de toda a vida[1]. O glúten é a fracção proteica, em particular no trigo, responsável pelas propriedades viscoelásticas da massa [1] necessárias para produzir pães de boa qualidade. Normalmente, as receitas de pão sem glúten contêm farinhas de arroz e milho, amidos de milho, batata, mandioca e trigo [2,3]. O arroz é um dos cereais de maior produção e consumo no mundo, proporcionando elevadas quantidades de subprodutos, nomeadamente a farinha de trinca de arroz e o farelo de arroz[4]. A farinha de arroz é uma das farinhas de cereais mais adequadas para preparação de produtos sem glúten, devido às suas propriedades naturais, hipoalergénica, por ser incolor e ter sabor agradável, baixo teor de sódio e de gordura e alta quantidade de hidratos de carbono facilmente digeridos [2,3]. Pelo facto de o arroz conter menor quantidade de prolamina surge muitas vezes a necessidade de recorrer a outros aditivos que melhorem as suas propriedades tecnológicas e características viscoelásticas: gomas, emulsionantes, proteínas ou produtos lácteos[2]. O aproveitamento do farelo de arroz para o desenvolvimento de produtos industrializados é visto como uma mais valia, uma vez que é uma excelente fonte de fibras, vitaminas, minerais, proteínas e lipídios, e ainda possui boa capacidade de absorção de água e óleo[4]. O principal objetivo do presente estudo foi o desenvolvimento de um mix de panificação a partir de subprodutos da indústria de arroz, nomeadamente farinha de trinca e farelo de arroz, juntamente com outras matérias-primas apropriadas para doentes celíacos. Este estudo visa a valorização de subprodutos da indústria de arroz e simultaneamente a obtenção de um mix de pão com um preço de venda mais acessível, comparativamente com vários produtos já existentes. Foram produzidas várias formulações de pão sem glúten baseadas em várias receitas [5,6,7,8], as quais foram modificadas de acordo com observações preparatórias a nível sensorial, absorção farinográfica e consistência da massa. Para a preparação das massas os ingredientes foram misturados numa batedora durante 10 minutos, posteriormente a massa obtida foi colocada numa forma retangular para fermentação durante noventa minutos, num banho termostático com temperatura controlada a 37°C. Após fermentação, a massa foi cozida num forno elétrico ventilado, a 180°C durante 40 minutos. Foram realizados estudos a nível da estrutura interna dos pães, textura, cor do miolo, atividade da água (aw) e variação de volume ao longo da fermentação. Em geral, o pão produzido a partir da mistura de farinhas de arroz, polvilho doce, fécula de batata, com 33,8% de água (para 1,4% de farelo) foi o que apresentou menores valores de dureza, após duas horas de produção, revelando-se também com um taxa de envelhecimento menos acentuada. Verificou-se que a adição de hidrocolóides não se revelou vantajosa em termos de estrutura final do pão em questão, originando um pão mais compacto e com menos alvéolos; a adição de fermento químico tem de ser controlada, pois teores elevados de fermento conduziram à desagregação da matriz do pão. O teor de água da formulação condiciona em grande parte a estrutura interna do pão e variação de volume, devendo ser otimizada para cada concentração de farelo. A incorporação de proteínas de origem animal (ovo) ou vegetal (ervilha) está ainda a ser estudada no sentido de melhorar a estrutura e a composição nutricional do pão.

Agradecimentos: Este trabalho foi realizado no âmbito do programa COMPETE: Projecto QREN n°38749 “Arroz+”

Referências Bibliográficas:

- [1] L Sciarini, G Pérez, M Lamballerie, A León, P Ribotta, *Food Bioprocess Technol*, 2012, 5, 1724–1732.
- [2] M Matos, C Rosell, *Food Bioprocess Technol*, 2013, 6, 2331–2341.
- [3] L Sciarini, P Ribotta, A León, G Pérez, *Food Bioprocess Technol*, 2010, 3, 577–585.
- [4] M Júnior, P Bassinello, M Caliani, P Gebin, T Junqueira, V Gomes, D Lacerda, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2009, 29, 636–641.
- [5] R Crockett, P Le, Y Vodovotz, *Journal of Food Science*, 2011, 76, 274–282.
- [6] A Lazaridou, D Duta, M Papageorgiou, N Belc, C Biliaderis, *Journal of Food Engineering*, 2007, 79, 1033–1047.
- [7] S Maghaydah, S Abdul-Hussain, R Ajo, Y Tawalbeh, Ola Alsaydali, *Food and Nutrition Sciences*, 2013, 4, 496–502.
- [8] D Sabanis, D Lebesi, C Tzia, *LWT - Food Science and Technology*, 2009, 42, 1380–1389.

ANEXO III-Análise Sensorial de Pão sem glúten

Nome: _____ Idade: _____ Profissão: _____

Assinale com um cada atributo apresentado, de acordo com a pontuação que pretende atribuir.

Codigo da amostra: _____

APARÊNCIA/ASPECTO	COR DO MIOLO	COR DA CROSTA	CHEIRO/ODOR
<input type="checkbox"/> 6.Muito agradável <input type="checkbox"/> 5.Agradável <input type="checkbox"/> 4.Ligeiramente agradável <input type="checkbox"/> 3.Ligeiramente desagradável <input type="checkbox"/> 2.Desagradável <input type="checkbox"/> 1.Muito desagradável	<input type="checkbox"/> 5.Muito mais escuro que o ideal <input type="checkbox"/> 4.Mais escuro que o ideal <input type="checkbox"/> 3.Ideal <input type="checkbox"/> 2.Mais claro que o ideal <input type="checkbox"/> 1.Muito mais claro que o ideal	<input type="checkbox"/> 5.Muito mais escuro que o ideal <input type="checkbox"/> 4.Mais escuro que o ideal <input type="checkbox"/> 3.Ideal <input type="checkbox"/> 2.Mais claro que o ideal <input type="checkbox"/> 1.Muito mais claro que o ideal	<input type="checkbox"/> 6.Muito agradável <input type="checkbox"/> 5.Agradável <input type="checkbox"/> 4.Ligeiramente agradável <input type="checkbox"/> 3.Ligeiramente desagradável <input type="checkbox"/> 2.Desagradável <input type="checkbox"/> 1.Muito desagradável
SABOR	TEXTURA	APRECIÇÃO GLOBAL	INTENÇÃO DE COMPRA
<input type="checkbox"/> 6.Muito agradável <input type="checkbox"/> 5.Agradável <input type="checkbox"/> 4.Ligeiramente agradável <input type="checkbox"/> 3.Ligeiramente desagradável <input type="checkbox"/> 2.Desagradável <input type="checkbox"/> 1.Muito desagradável	<input type="checkbox"/> 6.Muito agradável <input type="checkbox"/> 5.Agradável <input type="checkbox"/> 4.Ligeiramente agradável <input type="checkbox"/> 3.Ligeiramente desagradável <input type="checkbox"/> 2.Desagradável <input type="checkbox"/> 1.Muito desagradável	<input type="checkbox"/> 6.Muito agradável <input type="checkbox"/> 5.Agradável <input type="checkbox"/> 4.Ligeiramente agradável <input type="checkbox"/> 3.Ligeiramente desagradável <input type="checkbox"/> 2.Desagradável <input type="checkbox"/> 1.Muito desagradável	<input type="checkbox"/> 5.De certeza que compraria <input type="checkbox"/> 4.Proavelmente compraria <input type="checkbox"/> 3.Não sei se compraria <input type="checkbox"/> 2.Proavelmente não compraria <input type="checkbox"/> 1.De certeza que não compraria

Sugestões e/ou comentários

