UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

RAFAEL GRASSI DE ALCÂNTARA

Avaliação da substituição parcial da farinha de trigo nas propriedades de pães do tipo francês

Pirassununga

2017

RAFAEL GRASSI DE ALCÂNTARA

**Avaliação da substituição parcial da farinha de trigo nas propriedades
de pães do tipo francês**

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências do programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Ciências da Engenharia de Alimentos

Orientadora: Prof^a Dr^a Rosemary Aparecida de Carvalho

Coorientadora: Prof^a Dr^a Fernanda Maria Vanin

Pirassununga

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AA347a Alcântara, Rafael Grassi de
Avaliação da substituição parcial da farinha de
trigo nas propriedades de pães do tipo francês. /
Rafael Grassi de Alcântara ; orientador Rosemary
Aparecida de Carvalho ; coorientador Fernanda
Maria Vanin. -- Pirassununga, 2017.
97 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia e Ciência de Materiais) -- Faculdade
de Zootecnia e Engenharia de Alimentos,
Universidade de São Paulo.

1. Planejamento fatorial. 2. Farinha de banana
verde. 3. Farinha de arroz. 4. Farinha de milho. 5.
Farinha de maracujá. I. Carvalho, Rosemary
Aparecida de , orient. II. Vanin, Fernanda Maria,
coorient. III. Título.

*Gostaria de dedicar este trabalho a minha namorada Mariana Echalar
e ao visionário Hideo Kojima, por me servir de inspiração, redefinindo o termo
“excelência” com seu trabalho.*

Agradecimentos

À minha namorada Mariana Echalar por me ajudar com todo meu processo acadêmico.

Aos meus dois camaradas, Marcelo Troysi e Lucas Segato, por incontáveis horas de debates e conversas sinceras.

A todos os integrantes e ex integrantes do Laboratório de Processamento de Pães e Massas (LAPROPAMA) por me ajudarem com meu projeto de mestrado, como um verdadeiro grupo de pesquisa.

À minha família, Katy C. Grassi de Alcântara, Aparecido Pedro de Alcântara e Marina Grassi de Alcântara, por contribuírem com bons conselhos e eventuais recursos.

À CAPES pela bolsa de mestrado.

À minha orientadora Profa. Dra. Rosemary Aparecida de Carvalho e coorientadora Profa. Dra. Fernanda Maria Vanin, por esperarem sempre mais de mim.

ALCÂNTARA, R.G. **Avaliação da substituição parcial da farinha de trigo nas propriedades de pães do tipo francês**. 2017. 97f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

RESUMO

O pão francês é um produto consumido diariamente, composto majoritariamente por farinha de trigo. A utilização da farinha de trigo pode ser questionada em relação ao seu baixo valor nutricional e alto preço, devido à dependência do Brasil pela importação do trigo. São escassos os estudos que visam à fabricação de pães do tipo francês com diferentes farinhas, sendo um mercado a ser explorado. Assim, o objetivo deste projeto foi avaliar o efeito da adição das farinhas de milho (FM), de arroz (FA) e de banana verde (FB), em substituição parcial à farinha de trigo, na produção de pães do tipo francês. Para isso foram utilizados três planejamentos fatoriais 2^2 , onde a concentração da farinha substituta (FM, FA ou FB) e a concentração do melhorador químico foram as variáveis independentes. Os pães foram avaliados tecnologicamente, em relação ao conteúdo de água, perda de água durante o assamento, volume específico, perfil de textura, porosidade do miolo, cor do miolo e da crosta, assim como a força máxima de cisalhamento. Através da análise de variância (ANOVA) com um nível de confiança de 95% verificou-se a significância e preditividade das respostas estudadas. Dessa forma, pode-se observar que para os pães produzidos com farinha de milho apresentaram significância e preditividade os modelos gerados para as respostas volume específico do pão assado, elasticidade, força de cisalhamento, parâmetro de cor a^* do miolo, e L^* , a^* , e b^* da crosta. Para os pães produzidos com farinha de arroz apenas os modelos gerados para as respostas perda de água, volume específico, fração vazia, densidade celular e força de cisalhamento foram significativos e preditivos. Já para a farinha de banana verde os modelos gerados para as respostas perda de água durante o assamento, força de cisalhamento, fração vazia do miolo, área média celular, perímetro médio celular, parâmetros de cor L^* , a^* e b^* do miolo e da crosta dos pães foram significativos e preditivos. Dessa forma, pode-se concluir que a produção de pães do tipo francês a partir da substituição da farinha de trigo pelas FM, FA e FB é tecnicamente viável, verificado através das diversas caracterizações dos produtos, demonstrando a importância do presente estudo, e definição de perspectivas para a continuação da pesquisa.

Palavras chave: Planejamento fatorial, farinha de banana verde, farinha de milho, farinha de arroz, melhorador químico.

ALCÂNTARA, R.G. **Evaluation of the partial substitution of wheat flour in the properties of French-type breads.** 2017. 97f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

ABSTRACT

French-type bread is a product consumed daily, composed mostly of wheat flour. The use of wheat flour could be questioned in relation to its nutritional value and high price, due to the Brazil's dependence on wheat imports. There are few studies that investigate the production of french-type bread with different flours, being a market to be widely explored. Thus, the aim of this project was to evaluate the effect of the addition of maize (FM), rice (FA) and green banana (FB) flour, in partial substitution to wheat flour in the production of french-type bread. For this purpose, three factorial designs 2^2 were used, where the concentration of the substitute flour (FM, FA or FB) and the concentration of the baking improver were the independent variables. The loaves were evaluated technologically in relation to the water content, loss of water during the roasting, specific volume, texture profile, crumb porosity, crust and crumb color, as well as the maximum shear force. Analysis of variance (ANOVA) with a confidence level of 95% verified the significance and predictivity of the responses studied. In this way, it could be observed that for the breads produced with corn flour, the models generated for the specific bread volume, elasticity, shear force, color parameter a^* of the crumb, and L^* , a^* and b^* of the crust were significant and predictive. For breads produced with rice flour only the models generated for the responses water loss, specific volume, void fraction, cell density and shear force were significant and predictive. For the green banana flour, the models generated for the responses of water loss during baking, shear force, void fraction, mean cell area, mean cell perimeter, L^* , a^* and b^* color parameters of the crumb and crust were significant and predictive. Thus, it could be concluded that the production of French-type breads from the substitution of wheat flour by FM, FA and FB is technically feasible, verified through the various characterizations of the products, demonstrating the importance of the present study, and definition the perspectives for further research.

Key words: factorial design, green banana flour, maize flour, rice flour, improver.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TAXA DE CONTROLE DE DIGESTÃO E REAÇÃO GLICÊMICA.....	30
FIGURA 2. FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DOS PÃES FRANCESES.....	36
FIGURA 3. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: VOLUME ESPECÍFICO, DUREZA, MASTIGABILIDADE, COESIVIDADE, RESILIÊNCIA, FORÇA DE CISLHAMENTO E ELASTICIDADE, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE MILHO E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA (P=0,05).	44
FIGURA 4. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: PARÂMETRO DE COR A*, B* E L* DO MIOLO, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE MILHO E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA (P=0,05).	44
FIGURA 5. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: PARÂMETRO DE COR A*, B* E L* DO MIOLO, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE MILHO E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA (P=0,05).	45
FIGURA 6. IMAGENS DE ESCÂNER UMA SECÇÃO TRANSVERSAL DOS PÃES COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FARINHA DE MILHO.....	49
FIGURA 7. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: PERDA DE ÁGUA, VOLUME ESPECÍFICO, MASTIGABILIDADE, FORÇA DE CISLHAMENTO, FRAÇÃO VAZIA, E DENSIDADE CELULAR, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE ARROZ E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA (P=0,05).	56
FIGURA 8. IMAGENS DE ESCÂNER UMA SECÇÃO TRANSVERSAL DOS PÃES COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FARINHA DE ARROZ.	60
FIGURA 9. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: FRAÇÃO VAZIA, ÁREA MÉDIA CELULAR, PERÍMETRO MÉDIO CELULAR E DENSIDADE CELULAR, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE BANANA VERDE E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA (P=0,05).	67
FIGURA 10. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: PARÂMETRO DE COR A*, B* E L* DO MIOLO, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE BANANA VERDE E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA (P=0,05).	68
FIGURA 11. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: PARÂMETRO DE COR A*, B* E L* DO MIOLO, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE BANANA VERDE E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA (P=0,05).	68

FIGURA 12. DIAGRAMAS DE PARETO PARA AS VARIÁVEIS DEPENDENTES: PERDA DE ÁGUA, VOLUME ESPECÍFICO E FORÇA DE CISALHAMENTO, EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE BANANA VERDE E MELHORADOR ANALISADOS À 95% DE CONFIANÇA ($P=0,05$).	69
FIGURA 13. IMAGENS DE ESCÂNER DA SECÇÃO TRANSVERSAL DE PÃES COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FARINHA DE BANANA VERDE.	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. EXEMPLOS DE ESTUDOS QUE AVALIARAM O EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DE FARINHA DE TRIGO POR FARINHAS ALTERNATIVAS NA PRODUÇÃO DE PÃES.....	22
TABELA 2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA FARINHA DE MILHO.	27
TABELA 3. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA FARINHA DE ARROZ.....	28
TABELA 4. PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 UTILIZADO PARA AS FORMULAÇÕES DE PÃES FRANCESES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA SUBSTITUTA DE MILHO (C_{FM}), ARROZ (C_{FA}) E BANANA VERDE (C_{FB}) E MELHORADOR (C_M).....	35
TABELA 5. MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE MILHO (C_{FM}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	41
TABELA 6. CONTINUAÇÃO MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE MILHO (C_{FM}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	42
TABELA 7. CONTINUAÇÃO MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE MILHO (C_{FM}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	43
TABELA 8. COEFICIENTE DE REGRESSÃO E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA AS DIFERENTES VARIÁVEIS DEPENDENTES AVALIADAS, EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE MILHO (β_1) E CONCENTRAÇÃO DE MELHORADOR (β_2).....	45
TABELA 9. MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA E ARROZ (C_{FA}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	53
TABELA 10. CONTINUAÇÃO MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE ARROZ (C_{FA}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	54
TABELA 11. CONTINUAÇÃO MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE ARROZ (C_{FA}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	55
TABELA 12. COEFICIENTE DE REGRESSÃO E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA AS DIFERENTES VARIÁVEIS DEPENDENTES AVALIADAS, EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS	

INDEPENDENTES CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE ARROZ (β_1) E CONCENTRAÇÃO DE MELHORADOR (β_2).....	57
TABELA 13. MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE BANANA VERDE (C_{FB}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	64
TABELA 14. CONTINUAÇÃO DA MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE BANANA VERDE (C_{FB}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	65
TABELA 15. CONTINUAÇÃO DA MATRIZ DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 E RESPOSTAS DA CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE BANANA VERDE (C_{FB}) E MELHORADOR QUÍMICO (C_M).....	66
TABELA 16. COEFICIENTE DE REGRESSÃO E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA AS DIFERENTES VARIÁVEIS DEPENDENTES AVALIADAS, EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES CONCENTRAÇÃO DE FARINHA DE BANANA VERDE (β_1) E CONCENTRAÇÃO DE MELHORADOR (β_2).....	69

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABRAMILHO - Associação Brasileira de Produtores de Milho

ANOVA - Análise de variância

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FA - Farinha de Arroz

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations – Statistics Division

FB - Farinha Banana verde

FM - Farinha de Milho

FT - Farinha de Trigo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PROPAN - Programa de Desenvolvimento da Alimentação, Confeitaria e Panificação

TPA - Análise de perfil de textura

USDA - United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1.	Introdução	16
2.	Revisão Bibliográfica	17
2.1.	O pão francês	17
2.2.	O processamento do pão francês	20
2.3.	Substituição da farinha de trigo	20
2.3.1.	Pães produzidos com substituição parcial de farinha de trigo	21
2.3.2.	Por que substituir a farinha de trigo no território nacional?	25
2.4.	Farinha de milho	26
2.5.	Farinha de arroz	28
2.6.	Farinha de banana verde	29
3.	Objetivos	32
4.	Hipótese	33
5.	Materiais e métodos	34
5.1.	Materiais	34
5.2.	Métodos	34
5.2.1.	Produção dos Pães	34
5.2.2.	Avaliação tecnológica dos pães	36
5.2.3.	Análise estatística	38
6.	Resultados e discussão	40
6.1.	Farinha de milho	40
6.1.1.	Conteúdo de água: da massa, do miolo e da crosta	46
6.1.2.	Perda de água durante o assamento	46
6.1.3.	Volume específico	46

6.1.4.	Perfil de textura	47
6.1.5.	Força máxima de cisalhamento	48
6.1.6.	Porosidade do miolo	49
6.1.7.	Cor do miolo e da crosta.....	50
6.1.8.	Conclusões parciais sobre a utilização da farinha de milho	51
6.2.	Farinha de arroz.....	52
6.2.1.	Conteúdo de água: massa, miolo e crosta.....	57
6.2.2.	Perda de água durante o assamento	57
6.2.3.	Volume específico	58
6.2.4.	Perfil de textura	58
6.2.5.	Força máxima de cisalhamento	59
6.2.6.	Porosidade do miolo	60
6.2.7.	Cor do miolo e da crosta.....	61
6.2.8.	Conclusões parciais sobre a utilização da farinha de arroz	62
6.3.	Farinha de banana verde	62
6.3.1.	Conteúdo de água: massa, miolo e crosta.....	69
6.3.2.	Perda de água durante o assamento	70
6.3.3.	Volume específico	71
6.3.4.	Perfil de Textura	72
6.3.5.	Força máxima de cisalhamento	72
6.3.6.	Porosidade do miolo	73
6.3.7.	Cor do miolo e da crosta.....	75
6.3.8.	Conclusões parciais sobre a utilização da farinha de banana verde	77
6.4.	Comparação das farinhas utilizadas para substituição da farinha de trigo	78
7.	Conclusão	80
8.	Referências Bibliográficas.....	81
Anexo.		90

1. Introdução

O pão é um alimento milenar, básico na dieta humana, consumido diariamente no mundo em suas variadas formas, independente da classe social. Segundo pesquisa orçamentária nos anos 2008/2009 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), o consumo brasileiro per capita urbano do pão francês foi de 52,1 g/dia, o equivalente em média a um pão francês diário. No ano de 2012, estudos publicados pelo Programa de Desenvolvimento da Alimentação, Confeitaria e Panificação (PROPAN) (2013) evidenciaram um aumento do consumo de pão francês de 1,76 %, o que mostra se tratar de um mercado em crescimento (PROPAN, 2015). Além destes importantes números, em 2014, o índice de crescimento das empresas de Panificação e Confeitaria foi de 8,02% com o faturamento atingindo R\$ 82,5 bilhões (PROPAN, 2015).

O preço do pão no mercado nacional tem apresentado aumentos consecutivos, principalmente nos últimos anos (2015), devido à grande dependência brasileira de importação do trigo, que tem seus preços definidos em dólar (PROPAN, 2015). Considerando que aproximadamente 60 % do pão francês é composto por farinha de trigo (GISSLEN, 2000), a introdução de outros tipos de farinhas em produtos de panificação, em substituição parcial a farinha de trigo, poderia representar uma oportunidade para o mercado agroindustrial brasileiro.

A substituição parcial se vê necessária pelas características viscoelásticas presentes nas massas dos pães produzidos com farinha de trigo. Na produção dos pães, a farinha de trigo, na presença de água e força mecânica, é capaz de formar o glúten que proporciona características únicas e fundamentais, principalmente a formação de uma massa viscoelástica capaz de reter o gás carbônico produzido na fermentação e consequentemente responsável pelo volume e textura do pão francês. Portanto, a substituição total da farinha de trigo pode afetar drasticamente as propriedades físicas, estruturais e organolépticas do pão. No entanto, a substituição parcial da farinha de trigo é possível sem prejudicar consideravelmente as suas características sensoriais e estruturais e depende diretamente das características das farinhas utilizadas (GOESAERT et al., 2005).

Para melhorar a qualidade dos produtos de panificação em termos nutricionais, podem ser utilizadas diferentes matérias primas com a finalidade de produzir um produto com potencial funcional, apresentando benefícios à saúde do consumidor. Essa prática, de maneira geral, é amplamente utilizada no mercado de pães de forma, evidenciada pela grande variedade desses produtos, mas é menos evidente no caso dos pães franceses. Uma das alternativas para produzir um pão considerado alimento funcional pode ser a utilização de diferentes farinhas ou misturas,

ricas em compostos funcionais, para substituição da farinha de trigo. Em termos nutricionais, os pães produzidos com tais farinhas podem conter maior conteúdo de fibras, proteínas, compostos fenólicos, entre outros.

A produção agrícola brasileira de alguns grãos e sementes ocupa posição de destaque no panorama mundial, visto que o Brasil está entre os dez maiores produtores agrícolas, segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations – Statistics Division* (FAOSTAT) (2013). Além da alta produção nacional de grãos, o Brasil também é um forte produtor de frutas. Assim, a substituição de farinha de trigo por farinhas oriundas de grãos ou frutas produzidas em larga escala no Brasil, pode representar uma atividade promissora do ponto de vista econômico, além dos nutricionais.

Existe um grande número de estudos visando a fabricação de pães com diferentes farinhas. Porém, observa-se que estas pesquisas, e produtos desenvolvidos no mercado, têm como produto alvo os pães de forma, enquanto a produção de pão francês com substituição parcial de farinha de trigo ainda é um mercado a ser explorado.

Assim, o objetivo deste projeto foi avaliar o efeito da adição das farinhas de milho (FM), de arroz (FA) e de banana verde (FB), em substituição parcial à farinha de trigo, na produção de pães franceses. Para isso foram utilizados três planejamentos fatorial 2^2 , onde a concentração da farinha substituta (FM, FA ou FB) e a concentração do melhorador químico foram as variáveis independentes.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. O pão francês

O pão francês tradicional é composto por farinha de trigo, água, sal e fermento biológico (GOESAERT et al., 2005). Dentre estes ingredientes, a farinha de trigo é o componente majoritário e consiste basicamente de amido (70-75%), água (14%) e proteínas (10-12%) (GOESAERT et al., 2005).

O amido é constituído basicamente por amilose (23 %) e amilopectina (73 %), polímeros de monômeros de glicose, sendo a amilose uma cadeia linear e a amilopectina uma estrutura ramificada. Em geral o amido apresenta duas funcionalidades muito importantes. A primeira é fornecer, a partir da sua hidrólise por amilases, a glicose para a fermentação do pão. A segunda é conferir textura ao pão pela gelatinização do amido, propriedade ligada diretamente à vida de

prateleira (GOESAERT et al., 2005). Durante o preparo da massa, principalmente durante a etapa de mistura, o amido absorve aproximadamente 46 % de água, ocorrendo a inchaço dos grânulos. A gelatinização ocorre depois da absorção de água e com o aumento da temperatura do sistema, por exemplo, a gelatinização do amido do trigo acontece em temperaturas entre 58 e 66 ° C. A utilização de tratamento térmico leva à solubilização do amido, sendo que quando resfriado o sistema, observa-se um aumento significativo na viscosidade da pasta formada, culminando na formação de um gel (SCHEUER et al., 2011). No caso do pão, pelas altas temperaturas usadas no forno por vários minutos, ocorre uma evaporação da água contida no gel, desenvolvendo a textura do pão.

Em relação à composição proteica, entre 80 e 85 % correspondem a proteínas insolúveis em água responsáveis pela formação da rede de glúten, sendo as principais proteínas deste complexo proteico as gliadinas e gluteninas (BENASSI; WATANABE, 1997). A farinha de trigo quando misturada em água e submetida a trabalho mecânico, é capaz de formar uma rede de glúten a partir de ligações de pontes dissulfídicas e outras ligações mais fracas entre as gliadinas e gluteninas. Essa rede, responsável pela viscoelasticidade da massa, retenção de gás carbônico e consequente aumento de volume do pão francês, é essencial para a qualidade do pão (CAPRILES; ARÊAS, 2014). As proteínas do glúten possuem duas funcionalidades bem distintas. As gliadinas são monômeros responsáveis pela textura da massa, fornecendo viscosidade à massa, enquanto as gluteninas são polímeros capazes de formar uma rede contínua fornecendo a elasticidade à massa (CRUZ; KOBLITZ, 2011). A qualidade do pão é afetada principalmente pela quantidade e qualidade do glúten presente. Em relação à quantidade, a relação gliadina/glutenina é importante, pois apresenta uma relação direta com a viscoelasticidade da massa, sendo que, por exemplo, uma menor quantidade de gliadina proporciona uma massa muito dura. Em relação à qualidade, acredita-se que diferenças nas propriedades das gluteninas impactam na qualidade do pão, entre suas propriedades destacam-se a composição, a estrutura e/ou a distribuição de tamanho dos polímeros (GOESAERT et al., 2005).

A água, outro ingrediente de grande importância, é responsável pela hidratação das proteínas insolúveis e do amido, dissolução do sal, dispersão do fermento e meio de transporte de nutrientes necessários à fermentação. A água, quando adicionada à farinha, ativa as enzimas e funciona como meio para a formação de novas ligações entre as macromoléculas da farinha, formando a rede do glúten, permitindo o inchamento dos grânulos de amido, posterior gelatinização. Dessa forma, altera as propriedades reológicas da massa (YADAV et al., 2009), afetando principalmente a textura e as características do miolo (MONDAL; DATTA, 2008).

A fermentação é uma etapa muito importante, nesta o fermento biológico fresco, culturas de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, fermentam os açúcares provenientes do amido da farinha, gerando gás carbônico, etanol e outros compostos orgânicos (YADAV et al., 2009). Durante esta etapa, a massa permanece em repouso afim de reduzir os impactos mecânicos sofridos na amassadeira, e complementar o desenvolvimento do glúten, além de ocorrer a produção de sabor e aroma na massa (BENASSI; WATANABE, 1997).

O sal é um ingrediente não apenas utilizado para conferir sabor à massa, este possui propriedades funcionais na produção dos produtos de panificação. A concentração de sal pode controlar a fermentação da massa até certos limites, de maneira geral, quanto maior a concentração de sal, menor a taxa de fermentação, válido ao contrário também, controlando, portanto, o volume do pão (YADAV et al., 2009). Este ingrediente é fundamental para a formação do glúten, pois fortalece a rede, devido ao aumento da solubilidade da gliadina em solução salina, proporcionando melhor formação de rede, e também pela inibição das enzimas proteolíticas, caso contrário poderia ocorrer a despolimerização do complexo proteico do glúten (BENASSI; WATANABE, 1997). Ainda, o sal torna o miolo mais uniforme, reduz a atividade de água e intensifica a reação de Maillard o que produz uma crosta mais escura; pelo seu efeito plastificante durante o assamento, melhora a mobilidade dos reagentes, deixando o pão com melhores características organolépticas (SILOW et al., 2016).

Muitas vezes é utilizado melhorador químico de farinha, termo genérico para produtos comerciais que contém uma ampla variedade de aditivos utilizados com a finalidade de melhorar as características do pão que incluem estabilizadores, emulsificantes, oxidantes, gomas e enzimas (por exemplo, amilases exógenas, proteases, lipases, lipoxigenases) (SELOMULYO; ZHOU, 2007). A enzima alfa-amilase, presente naturalmente na farinha de trigo, porém em quantidade insuficiente (GUARIENTI, 1996), é fundamental para o processo de hidrólise do amido, principal fonte de nutrientes das leveduras (MATSUDA, 2007). Por outra parte, os emulsificantes permitem conservar o miolo macio por mais tempo, retardando a perda de umidade, e consequentemente diminuindo a taxa de envelhecimento do produto (retrogradação) (GOESAERT et al., 2005). Os agentes oxidantes também fazem parte da sua composição, estes interagem com o glúten oxidando grupos sulfidrilas presentes, formando desta maneira pontes dissulfídicas entre as proteínas, tendo melhor formação da matriz tridimensional das proteínas do glúten (DEMIRALP; CELIK; KOKSEL, 2000).

2.2. O processamento do pão francês

A compreensão do processamento do pão é uma tarefa complexa devido ao elevado número de mudanças físico-químicas que acontecem durante o assamento. Durante o processo de assamento ocorrem as principais mudanças que transformam a massa em pão, dentre elas, pode-se destacar a evaporação de parte da água contida no produto, expansão do gás carbônico, produzido pela ação metabólica das leveduras na fermentação, gelatinização do amido, desnaturação das proteínas, formação da crosta, reação de Maillard, entre outras (MONDAL; DATTA, 2008).

A vaporização da água durante o assamento permite a criação de uma interface na superfície que apresenta uma maior temperatura e menor conteúdo de umidade em relação ao centro do produto, essa interface é a responsável pela formação da crosta. Ainda em relação à formação da crosta, pode-se apontar que sua menor umidade em relação ao miolo, associado a temperaturas superiores a 100°C durante o assamento, implicam no favorecimento da reação de Maillard, responsável pelo desenvolvimento da cor e odor característico do mesmo. A gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas causam uma mudança na textura do produto, transformando a massa viscosa em um miolo principalmente elástico, limitando o crescimento celular (aumento do tamanho dos alvéolos) e aumentando a pressão dentro do pão (VANIN; LUCAS; TRYSTRAM, 2009).

Por último ocorre o envelhecimento do pão, isto quer dizer o decréscimo da aceitação sensorial dos pães devido a mudanças físicas da casca e do miolo do pão, em geral, a crosta perde crocância e o miolo fica mais duro, isto ocorre devido à transferência de umidade do miolo para a crosta e a recristalização da amilopectina durante o armazenamento, mudança predominante no envelhecimento do pão, também conhecida como retrogradação. O envelhecimento pode ser retardado pela utilização de enzimas, emulsificantes, açúcares, entre outros (MATUDA, 2004).

2.3. Substituição da farinha de trigo

A farinha de trigo é o principal ingrediente na formulação do pão francês e apresenta relação direta na sua qualidade, portanto, a sua substituição parcial e/ou total afeta drasticamente às propriedades físicas, estruturais e organolépticas. Como explicado anteriormente, a farinha de trigo na presença de água e força mecânica é capaz de formar o

glúten que proporciona características únicas e fundamentais, principalmente a formação de uma massa viscoelástica capaz de reter o gás carbônico produzido na fermentação e consequentemente responsável pelo volume do pão francês. No entanto, a substituição parcial da farinha de trigo sem prejudicar consideravelmente as suas características sensoriais e estruturais é possível e depende diretamente das características das farinhas utilizadas (GOESAERT et al., 2005).

A substituição da farinha de trigo pode trazer diferentes alterações, já que a maioria das outras farinhas não possuem o glúten na sua composição nem nenhum composto que providencie características semelhantes à massa, com destaque sob o ponto de vista tecnológico, para a fermentação. Uma vez que a capacidade de reter o gás carbônico da massa e ainda em função da composição da farinha adicionada, ou seja, a presença e o teor de açúcares, amido danificado e enzimas, a capacidade de expansão dos gases, e consequentemente da massa, é fortemente influenciada (BENASSI; WATANABE, 1997).

Diante desse aspecto, pela falta ou seu teor reduzido de glúten na composição, em termos de parâmetro da qualidade do produto final, o volume tende a diminuir, a cor do miolo pode sofrer alterações no caso de presença de pigmentos, a cor da crosta pode ser mais intensa quando houver maior teor de proteínas e açúcares, a sua estrutura celular pode ser mais irregular devido ao enfraquecimento do glúten, podendo haver também alterações na textura, aroma e sabor dos pães produzidos (RAHAIE et al., 2014).

As intensidades das alterações dependem da quantidade de farinha a ser substituída e da composição da farinha a ser adicionada. O nível de substituição da farinha de trigo é função das alterações acima descritas, sendo influenciada além das características intrínsecas da farinha substituta, pela qualidade da farinha de trigo, método da panificação, formulação do produto (no caso do pão francês a utilização de melhorador) (BENASSI; WATANABE, 1997).

2.3.1. Pães produzidos com substituição parcial de farinha de trigo

Nos últimos anos a substituição parcial de farinha de trigo vem sendo muito estudada, principalmente por países em desenvolvimento e tropicais, como no caso do Brasil, para incorporar culturas originais destes países, trazendo benefícios adicionais à saúde de produtos à base de farinha de trigo, assegurando assim a segurança alimentar e promovendo a economia (OLAOYE; ADE-OMOWAYE, 2011).

Dessa forma, nesta seção estão apresentados alguns dos estudos mais recentes, os quais utilizam farinhas de diferentes grãos, leguminosas e cereais para substituir a farinha de trigo, deixando o pão com maior valor nutricional e evitando a perda da qualidade sensorial do mesmo (Tabela 1).

Tabela 1. Exemplos de estudos que avaliaram o efeito da substituição de farinha de trigo por farinhas alternativas na produção de pães.

Produto	Farinha substituta	Faixa de substituição	Referência
Pão de forma	fibras das vagens de ervilha e feijão largo	1 %	Fendri et al (2016)
Pão (método esponja)	farinha de soja	5 e 10 %	Conforti e Davis (2006)
Pão (método esponja)	farinha de linhaça	15 %	Conforti e Davis (2006)
Pão de forma	farinha de soja	0 a 15 %	Olaoye, Onilude e Idowu (2006)
Pão de forma	farinha de grão de bico	10, 20 e 30%	Mohammed, Ahmed e Senge (2012)
Pão de forma	farinha de feijão-de-corda	5 a 20 %	Hallén, İbanoğlu e Ainsworth (2004)
Pão de forma	farinha de batata	0, 2, 4, 6, 8, 10 e 15%	Yáñez et al (1981)
Pão de fermentação natural	farinha de aveia	40 %	Rieder et al. (2012)
Pão de forma	farinha de amaranto	0 a 40 %	Sanz-Penella et al. (2013)
pão egípcio	farinha de taro	5, 10, 15 e 20 %	Ammar, Hegazy e Bedeir (2009)

Sivam et al. (2010) fizeram uma revisão sobre as propriedades da massa de pão quando adicionada com fibras e compostos fenólicos. Em relação à adição de fibra, os efeitos negativos

para a qualidade final do produto foram a redução do volume, aumento da dureza do miolo e escurecimento, como também o desenvolvimento de possíveis sabores. A redução do volume ocorre devido à diluição do glúten e às interações entre a fibra, a água e o glúten, sendo que consideráveis quantidades de água se ligam às hidroxilas das fibras durante o processo, havendo menor quantidade de água livre para a formação da rede do glúten e para a gelatinização do amido. A adição de compostos fenólicos afeta o sabor do produto final, pois estes, geralmente, conferem sabor amargo e causam adstringência, a intensidade pode variar em relação à composição e à quantidade destes compostos.

No estudo de Fendri et al (2016), pode-se observar um exemplo de como as fibras influenciam a qualidade do pão, pela adição de fibras das vagens de ervilha e feijão largo (1g/100g) em pão de forma feito com farinha de trigo, os resultados mostraram que a massa apresentou aumento na força e a textura do pão foi melhorada. Os autores recomendaram a utilização destas fibras como melhorador na indústria de panificação.

Considerando que a soja é uma das culturas mais produzidas no mundo, Conforti e Davis (2006) estudaram o efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de soja (5 e 10 %) e linhaça (15 %) na produção de pães pelo método esponja. Os resultados mostraram que houve uma diminuição significativa ($p < 0,05$) do volume, aumento da dureza e escurecimento do miolo. Olaoye, Onilude e Idowu (2006) também estudaram a substituição de farinha de trigo por farinha de soja (0 a 15 %) na produção de pão de forma, a análise sensorial mostrou que pães produzidos com 5 % de substituição não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) no aroma, estrutura interna, sabor e aceitação geral, no entanto, apresentou diferença significativa para a crosta, formato e a aparência.

Outro exemplo de substituição da farinha de trigo por farinha de grão é o estudo de Mohammed, Ahmed e Senge (2012). Estes autores utilizaram farinha de grão de bico (10, 20 e 30%) para a produção de pão de forma, os resultados mostraram um aumento significativo ($p < 0,05$) na absorção de água e no tempo de desenvolvimento da massa, sendo a massa com 20 e 30 % de substituição foi pegajosa. O volume, estrutura interna e textura foram os parâmetros mais afetados.

A fim de mostrar a variedade de farinhas que podem ser utilizadas para substituir a farinha de trigo, a seguir são mostrados vários estudos que utilizaram farinhas a partir de tubérculos, leguminosas, sementes e cereais. No estudo de Hallén, İbanoğlu e Ainsworth (2004), os autores substituíram a farinha de trigo por farinha de feijão-de-corda (5 a 20 %) na produção de pão de forma, o aumento da quantidade a ser substituída levou a mudanças no

conteúdo de cinzas, proteína e cor, aumento na absorção de água e diminuição do volume e compactação da estrutura.

Yánez et al (1981) utilizaram farinha de batata nos níveis 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 15% na produção de pães de forma. Os resultados mostraram que a utilização de farinha de batata provocou aumento na absorção de água, no peso e volume do pão, além de retenção de umidade por mais tempo.

Rieder et al. (2012) estudaram a substituição de farinha de trigo por farinha de aveia (40 %) na produção de pão utilizando o método esponja, e os resultados mostraram um aumento no volume e diminuição na firmeza do miolo. Estes autores inferiram o maior volume do pão à inativação das enzimas pelo assamento, resultando em menor degradação de β -glucana, tendo maior peso molecular e consequentemente a massa tem maior viscosidade, estabilizando as células (alvéolos) de gás.

Sanz-Penella et al. (2013) avaliaram o efeito da substituição de até 40 % por farinha de amaranto na qualidade do pão de forma, em geral, observou-se um aumento na dureza do miolo e elasticidade. Estes autores concluíram que a utilização da farinha de amaranto aumenta o valor nutricional do pão em relação a fibras, minerais e proteínas e para não perder a qualidade de pão recomenda-se até 20 % substituição.

Ammar, Hegazy e Bedeir (2009) estudaram a substituição parcial de farinha de trigo por farinha de taro, também conhecido como inhame-coco, nos níveis de 5, 10, 15 e 20 % no pão egípcio, os resultados mostraram que o aumento do teor da substituição da farinha de trigo aumentou a absorção de água, extensibilidade da massa e diminuiu o tempo de mistura, a energia e a estabilidade da massa. Combinando tais resultados com os da análise sensorial, os autores concluíram que a substituição com até 10 % de farinha de taro produzia pães similares ao controle (só farinha de trigo).

Como foi observado nos diversos estudos apresentados, a redução da qualidade de pão obtida a partir da substituição parcial da farinha de trigo não é apenas em função da diluição/redução do glúten, se não também das propriedades intrínsecas da farinha substituta. Hadnaýev, Torbica e Hadnaýev (2011) realizaram um estudo sobre as propriedades reológicas de farinhas substitutas (arroz, *buckwheat* (trigo mourisco), milho, amaranto e soja) pelo Mixolab, equipamento que analisa as farinhas, determinando a qualidade e quantidade das proteínas, amido e enzimas presentes. Os autores concluíram que os perfis destas farinhas são muito diferentes em comparação com o perfil da farinha de trigo, sendo que a de arroz e *buckwheat* (trigo mourisco) tiveram perfis mais parecidos. Além disso, concluíram que a utilização de uma mistura de farinha de trigo com estas farinhas teria um melhor resultado para

poder manter as características reológicas e aumentar as propriedades funcionais do produto final.

2.3.2. Por que substituir a farinha de trigo no território nacional?

De acordo com a FAOSTAT (2013), o Brasil ocupa a 20ª posição entre os países produtores de trigo, com uma produção de 5.717.803 de toneladas, mas sua produção não atende à demanda nacional. Segundo a *United States Department of Agriculture* (USDA) (2016), é estimada uma importação brasileira de cerca de 6,3 milhões de toneladas deste insumo no ciclo 2015/2016. Este cenário torna a produção de alimentos à base de trigo dependente do mercado externo. Restrições de oferta de trigo, contribuintes ao aumento de seu preço, fazem subir também o preço de pães, massas e biscoitos no país.

De acordo com notícia publicada em 2015, o preço do pão francês no Brasil não só vem aumentando continuamente, como aumentou em até 15% em outubro 2015 devido à alta no valor do dólar (GERALDO, 2015). Em 2013, o preço do pão francês chegou a subir 22% no país. Essa alta no preço pode ser explicada pelo aumento no preço da farinha de trigo, devido à diminuição da área plantada e fatores climáticos, mas principalmente pela suspensão das exportações de farinha de trigo da Argentina. Em julho, o país suspendeu as vendas de trigo e adotou uma política de controle de preços, o que afetou diretamente a economia do Brasil, que é o maior comprador do trigo argentino (CALEGARI; LOMBARDI, 2013). Em maio do 2015, segundo levantamento de dados elaborado pela Fundação de Proteção e Defesa do Consumidor (PROCON, 2015), a média do preço do pão francês nos supermercados e padarias foi de 8,74 R\$/Kg e 10,19 R\$/Kg, respectivamente. A estimativa do preço em setembro de 2015 foi de até 15,40 R\$/Kg (MELO, 2015). Além disso, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2016), entre agosto e dezembro de 2015, devido a fatores climáticos, foi previsto uma queda de 21,8% na produção interna de trigo, o de poderá acarretar uma maior importação que a estimada.

Por outro lado, a produção agrícola brasileira de outros grãos e sementes ocupa posição de destaque no panorama mundial, visto que o Brasil está entre os dez maiores produtores agrícolas (FAOSTAT, 2013). A estimativa da safra nacional de produção de grãos brasileiros, referente aos anos de 2015/2016, indicou que os três principais grãos produzidos no país foram soja, milho e arroz (CONAB, 2016). Sendo um país tropical, o Brasil também é um forte

produtor de frutas, dentre as diferentes variedades produzidas, destaca-se a produção de banana, uma vez que ocupa a quarta posição no ranking de produção mundial (FAOSTAT, 2015).

2.4. Farinha de milho

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho (depois dos EUA e da China) (USDA, 2016), obtendo uma estimativa de produção entre 82,35 e 83,81 milhões de toneladas para a safra 2016/2017, sendo este insumo 39,07% de sua produção total em grãos (CONAB, 2016). A produção mundial deste grão na safra de 2015/2016 foi de 980 milhões de toneladas, até setembro de 2015 (CONAB, 2015). Além destes importantes números, a Associação Brasileira de Produtores de Milho (ABRAMILHO) (2010) afirma que o milho faz parte do cultivo de quase todos os países em diferentes condições, apresentando uma vasta variedade.

O milho (*Zea mays*) é um cereal que não possui glúten, utilizado como base na formulação de vários produtos destinados aos consumidores celíacos, e presente em várias formulações com glúten, como em "tortillas" no México e na 'broa' em Portugal (BRITES et al., 2010).

Os grãos de milho, de forma geral, são compostos basicamente de amido (87,1 %) (EM ALIMENTAÇÃO, 2011), apresentando diferenças na morfologia, estrutura molecular, razão entre amilose e amilopectina e composição de nutrientes; estes fatores influenciam na digestão do amido (SOONG; QUEK; HENRY, 2015). Estudos evidenciam que uma maior proporção de amilase no milho está associada à redução de glicose sanguínea (LUHOVYY et al., 2014).

Kuhnlen et al. (2011) quantificaram o conteúdo de carotenoides de 26 variedades de milho produzido no sul do Brasil e determinaram que o milho amarelo (MPA 1) mostrou maior conteúdo de carotenoides ($10,86 \times 10^{-3}$ g/kg), sendo xantofila zeaxantina e lutenina, os carotenoides encontrados em maior concentração, $0,07-10,70$ e $0,030 - 3,69 \times 10^{-3}$ g/kg, respectivamente. Estes compostos podem trazer inúmeros benefícios à saúde do consumidor, tais como: propriedades antioxidantes e prevenção de doenças cardiovasculares, câncer e cataratas (FAULKS; SOUTHON, 2001; CHEW et al., 2003).

A farinha de milho ganhou destaque pela alta disponibilidade, porém, não é capaz de formar redes coesas e elásticas, como o glúten, capaz de reterem o dióxido de carbono produzido na fermentação, sendo este seu principal problema tecnológico (BRITES et al., 2010). Comercialmente, a farinha instantânea de milho contém gomas na sua formulação, polissacarídeos de alto peso molecular solúveis em água, pois estes ajudam na retenção de água

e melhoram a textura do produto final (ARÁMBULA et al., 1999). A Tabela 2 apresenta a composição da farinha de milho.

Tabela 2. Composição centesimal da farinha de milho.

Composição Centesimal	Farinha de Milho
Umidade (%)	11,8
Proteínas (%)	7,2
Lipídeos (%)	1,5
Carboidratos (%)	79,1
Fibras (%)	5,5
Cinzas (%)	0,5

Fonte: Em alimentação, 2011.

O estudo de Ozola, Straumite e Klava (2011) analisou os efeitos da adição de farinha de milho extrusada na qualidade do pão de forma sem glúten. Esta substituição parcial produziu pães mais regulares, estáveis e com uma textura porosa.

Por outro lado, o estudo de Sabanis e Tzia (2009) avaliaram a substituição parcial da farinha de trigo (10 a 50 %) por diferentes farinhas, entre elas a de milho. Em geral, os resultados mostraram que uma substituição de até 10 % é recomendável para manter a qualidade dos pães e obter os atributos cor, dureza e sabor aceitáveis. O estudo de Alpaslan e Hayta (2006) foi similar, os autores testaram a substituição de 5, 10 e 15 % de farinha de trigo em produtos de panificação tipo *bagel/pretzel*. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa na cor da crosta, crocância do pão controle e daquele produzido com 5 % de farinha de milho, no entanto, houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os parâmetros dureza, coesividade, elasticidade, força de fratura e rigidez. Os autores também observaram que as notas da avaliação sensorial diminuíram à medida que a quantidade de farinha de milho aumentou, assim, os autores recomendaram a substituição parcial de até 10 % para este produto.

Păucean e Man (2013) avaliaram o efeito de farinha de milho (30, 40 e 50 %) e farinha de milho desengordurada (5, 10 e 15 %) em pães de forma. Os resultados mostraram que a incorporação de até 40 % e 15 % de farinha de milho e farinha de milho desengordurada, respectivamente, produziram pães sem efeitos negativos sobre a qualidade. O estudo de Siddiq et al. (2009) avaliou apenas o efeito da substituição da farinha de trigo pela farinha de milho desengordurada em pães. Eles substituíram 5 a 20 % da farinha de trigo, obtendo pães com menor volume específico, maior dureza e firmeza à medida que aumentou a concentração de

farinha de milho. Em relação à cor, o controle apresentou maior luminisidade e maiores valores para os parâmetros de cor chroma a^* e b^* . Contudo, os pães produzidos até com 15 % de farinha de milho não apresentaram diferença significativa para os atributos sensoriais cor do miolo, uniformidade alveolar, aroma, firmeza, sensação de boca e *off-flavor*.

2.5. Farinha de arroz

O Brasil é também um grande produtor de arroz, sendo o nono produtor no ranking mundial (USDA, 2016), com estimativa de produção para a safra 2016/2017 entre 11,56 e 12,04 milhões de toneladas (CONAB, 2016).

A farinha de arroz possui bons atributos, como gosto suave, coloração branca, é facilmente digerível e apresenta propriedades hipoalergênicas, além de ser encontrada facilmente (BLANCO et al., 2011; HAGER; BOSMANS; DELCOUR, 2014). A ausência de glúten na sua composição faz dela a farinha mais utilizada, junto com a farinha de milho, em produtos sem glúten (PICAZO et al., 2014; BLANCO et al., 2011). A Tabela 3 apresenta a composição da farinha de milho.

Tabela 3. Composição centesimal da farinha de arroz.

Composição Centesimal	Farinha de Arroz
Umidade (%)	12,7
Proteínas (%)	1,3
Lipídeos (%)	0,3
Carboidratos (%)	85,5
Fibras (%)	0,6
Cinzas (%)	0,2

Fonte: Em alimentação, 2011.

Reyes, Palomo e Brassani (2004) testaram concentrações de 15 a 60 % de farinha de arroz, os resultados evidenciaram que pães com concentrações altas causaram uma sensação arenosa na boca e tiveram maiores alterações em relação ao volume, textura e peso. Os pães com 30 e 40 % de farinha de arroz foram os selecionados considerando às características físico-químicas, no entanto, após uma análise sensorial de aceitação, a substituição de 30 % da farinha de trigo por farinha de arroz foi determinada como a melhor para os propósitos do estudo.

Quando utilizadas diferentes concentrações de farinhas de arroz como substituto de farinha de trigo em biscoitos doces (30-100%), observou-se que a força de compressão foi significativamente menor, ou seja, estes ficaram mais macios, em função do aumento da concentração da farinha de arroz (HYUN-JUNG; AHRA; SEUNG-TAIK, 2014). O estudo de Soares et al. (2009) testou diferentes níveis de substituição com farelo de arroz torrado (7,5 – 30%) para o pão de forma, sendo que os melhores resultados foram para o de 7,5 %, pois obteve maior volume específico, não deferindo do controle em relação aos atributos sensoriais e obtendo um acréscimo de 26 % de fibras totais, uma redução de 8,4% de carboidratos e de 3,6% do valor calórico.

2.6. Farinha de banana verde

A banana (*Musa spp.*), de acordo com a FAOSTAT (2013), encontra-se entre as principais culturas mundiais, após o arroz, o trigo e o milho. É cultivada em mais de 130 países, principalmente tropicais e subtropicais (TRIBESS et al., 2009). No ano de 2014, a produção mundial da banana atingiu 114,1 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2017), no entanto, cerca de um quinto da colheita de bananas foi descartada, principalmente por defeitos na casca (ZHANG et al., 2005). Em 2010, no Brasil, foi a segunda fruta mais produzida com uma produção de 6.962.792 toneladas de bananas (IBGE, 2015). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2003), uma perda de 40% da fruta ocorre devido à falta de cuidados na fase de comercialização, sendo as regiões Norte e Nordeste onde existem maiores perdas.

A produção de farinha de banana verde representa uma excelente alternativa, visando minimizar o desperdício da fruta, uma vez que permite produzir um ingrediente de baixo custo e alto valor nutricional (TRIBESS et al., 2009). Este alto valor nutricional pode ser atribuído a seu alto teor de amido, 61,3–76,5g/ 100g, e fibra, 6,3–15,5g/ 100g (JUAREZ-GARCIA et al., 2006), e principalmente pelos elevados teores de amido resistente do tipo 2, 52,7–54,2g/ 100 g (TRIBESS et al., 2009). Amido resistente é um polissacarídeo não digerível, considerado fibra dietética, utilizado pela microbiota do colón na fermentação anaeróbica, produzindo ácidos graxos de cadeia curta que ajudam na prevenção do câncer intestinal (SCARMINIO et al., 2012), com uma dose diária recomendada estipulada a 20 g/dia (BAGHURST; BAGHURST; RECORD, 2001). Além destes componentes, a composição da banana verde é determinada basicamente por celulose, heme celulose, lignina, fibra dietética, além de ácidos fenólicos como

antocianinas (SARAWONG et al., 2014a). Devido a sua composição, contendo ingredientes de natureza funcional, a ingestão regular de farinha de banana verde pode trazer benefícios à saúde do consumidor (TRIBESS et al., 2009). Entre estes, destacam-se: o controle de nível glicêmico, colesterol, regularidade intestinal e prevenção do câncer intestinal (HASLINDA et al., 2009; ZANDONADI et al., 2012).

Uma característica importante do amido resistente é a sua não digestibilidade. Dessa forma, ao chegar ao cólon o componente é fermentado lentamente, produzindo grande quantidade de butirato, quando comparado às fibras. E devido a sua digestão lenta, sua absorção ocorre ao longo de todo o intestino delgado, o que proporciona um pico menor na curva de reação glicêmica, e consequentemente uma menor quantidade de insulina é liberada no sangue (PEREIRA, 2007), como é possível observar na Figura 1.

Figura 1. Taxa de controle de digestão e reação glicêmica.

Fonte: (PEREIRA, 2007), modificado.

Sarawong et al. (2014b) utilizaram farinha de banana verde como um ingrediente funcional na preparação de pão de forma sem glúten. Neste estudo, avaliaram a adição de farinha de banana verde (0-30 %) à um pão sem glúten produzido a partir de uma mistura de farinha de arroz e amido de trigo livre de glúten (50/50), com o objetivo de aumentar as propriedades funcionais e o conteúdo de amido resistente dos pães. Como resultado, obtiveram-

se as condições ótimas de preparo de um pão com adição de 30 % de farinha de banana verde, adição de 160% de água, temperatura do forno de 180°C por 90 minutos. Essas condições produziram pães sem glúten com boa qualidade, maior volume, menor firmeza da casca e maior regularidade da estrutura em relação ao pão com glúten.

O estudo de Zandonadi et al. (2012) teve como objetivo o desenvolvimento e a análise de massa de macarrão sem glúten do tipo *fettuccine* com baixa-espessura produzida com farinha de banana. O estudo mostrou que não houve diferenças significativas entre a amostra produzida com farinha de banana verde e a padronizada em relação à aparência, aroma, sabor e qualidade geral. No entanto, a amostra modificada apresentou um menor teor de gordura em 98% e uma maior aceitabilidade em relação à padronizada, tanto para indivíduos celíacos quanto para não celíacos.

Ho, Aziz e Azahari (2013) estudaram a composição centesimal e as propriedades sensoriais de pães produzidos com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de banana (10 %), farinha de banana (10 %) com adição de goma xantana e carboximetilcelulose (CMC) (0,8%). Os resultados mostraram que os pães produzidos tiveram um menor volume, um miolo mais escuro e uma crosta mais clara do que o controle (pão tradicional), sendo que a utilização de CMC aumentou o volume do pão produzido. Em relação à composição centesimal, observou-se que os pães produzidos com farinha de banana, independentemente de utilizar goma xantana ou CMC, tiveram maior teor de umidade, cinzas e fibras, porém menor teor de proteína, gordura e carboidratos do que o controle.

Mohamed, Xu e Singh (2010) utilizaram farinha de banana para substituir 10, 15, 20, 25 e 30 % de farinha de trigo em pão fermentado com levedura. Os resultados mostraram que à medida que o teor de farinha de banana aumentou, também aumentou a capacidade de absorver água da massa, porém diminuiu a tolerância à mistura (maior resistência à mistura). Em relação aos pães, os resultados mostraram que foram mais escuros e o volume foi significativamente maior que o controle, com exceção do pão produzido com 30 % de farinha de banana.

No estudo realizado por De Oliveira et al. (2015) foram produzidos pães com 10, 20 e 30 % de farinha de banana verde e purê de banana verde e avaliada a qualidade dos pães obtidos em relação a parâmetros tecnológicos. Os resultados mostraram que os pães obtidos foram mais escuros que o padrão, havendo uma diminuição do parâmetro de cor luminosidade L^* à medida que os níveis de substituição aumentaram; além disso, os pães com 10 % de farinha de banana verde e 20 % de purê de banana verde não diferiram estatisticamente em relação à dureza.

O estudo de Pacheco-Delahaye e Testa (2005) testou a substituição parcial de farinha de trigo por farinha de banana verde (7, 10 e 20 %) para o pão de forma. Também foi observada uma maior absorção de água e o escurecimento dos pães, diminuindo a luminosidade à medida que a concentração de farinha de banana verde aumenta. No entanto, também foi estudado o conteúdo de fibra dietética e de amido resistente, havendo um aumento significativo, ou seja, obtendo pães com maior valor nutricional. A partir da análise sensorial, os autores concluíram, que a substituição parcial de 7% de farinha de trigo é recomendada, pois estes não diferiram estatisticamente com o pão tradicional (com glúten) em relação ao odor, sabor, cor e textura.

Além destas características funcionais da farinha de banana verde, as propriedades físicas do amido resistente, particularmente a sua baixa capacidade de retenção de água, têm demonstrado bons resultados no processamento de pães, principalmente em termos de crocância, expansão e melhoria da textura do produto final (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). Todos estes estudos sugerem a viabilidade da produção de pães franceses com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de banana verde.

3. Objetivos

Este projeto teve como objetivo produzir e caracterizar pães franceses produzidos a partir da substituição parcial da farinha de trigo (FT) pelas farinhas de milho (FM), de arroz (FA), e de banana verde (FB) separadamente, visando-se a obtenção de produtos com características próximas ao pão francês tradicional.

Os objetivos específicos foram:

- 1) Produzir pães franceses à base de FT com substituição parcial com diferentes níveis de FM, FA e FB utilizando-se um planejamento fatorial 2^2 , sendo as concentrações da farinha substituta e do melhorador as variáveis independentes;
- 2) Analisar quais respostas geraram modelos lineares preditivos e significativos para as variáveis independentes;
- 3) Determinar dentre as concentrações de farinha substituta e melhorador estudadas quais produziram parâmetros físico químicos mais próximos aos de um pão francês tradicional, a fim de poder maximizar os benefícios nutricionais oriundos destas farinhas.

4. Hipótese

A hipótese desse trabalho é que a substituição parcial de farinha de trigo por farinha de milho, farinha de arroz e/ou farinha de banana verde, possa produzir pães do tipo francês, com características físico químicas próximas ao produto tradicional. Dessa forma, a utilização dessas farinhas poderá ainda contribuir para que os aspectos nutricionais dos produtos possam ser melhorados, além de diminuir as importações de trigo necessárias para a produção do tradicional pão francês.

5. Materiais e métodos

5.1. Materiais

Farinha de trigo (FT) (Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, Suprema, Brasil), farinha de milho (FM) (Yoki, Brasil), farinha de arroz (FA) (Casarão, Brasil) e farinha de banana verde (FB) (Comércio da cidade de São Paulo, Brasil), sal (Sal Refinado Extra Iodado, Cisne, Brasil), melhorador para panificação (S500 Puraflex, Puratos, Brasil) e fermento biológico fresco (Fleischmann, Brasil) foram adquiridos no comércio.

5.2. Métodos

5.2.1. Produção dos Pães

Foram produzidos pães franceses à base de farinhas obtidas a partir das misturas compostas de farinha de trigo, farinha de milho, farinha de arroz e farinha de banana verde em diferentes concentrações. A massa dos pães foi fabricada segundo metodologia descrita por Vanin et al. (2010), com algumas adaptações. O pão francês padrão foi produzido utilizando os seguintes ingredientes: 1200 g de farinha de trigo, 12 g de melhorados, 24 g de sal, 60 g de fermento biológico fresco e 696 g de água.

O efeito da formulação dos pães a partir de cada uma das farinhas foi estudado. Os pães foram formados a partir de variação de dois ingredientes (para cada farinha estudada): farinha substituta (de milho, de arroz ou de banana verde) e melhorador, as concentrações máximas das farinhas substitutas foram determinadas em testes prévios realizados pelo grupo de pesquisa. Independente da concentração de farinha de trigo ou da farinha substituta utilizada, e do melhorador, a massa dos demais ingredientes foram mantidas constantes (24 g de sal, 60 g de fermento biológico fresco e 696 g de água). Dessa forma, os fatores que poderiam influenciar na produção dos pães foram: concentração da farinha e concentração do melhorador. O efeito destes fatores sobre as propriedades dos pães, descritas abaixo, foram estudados por meio de um planejamento fatorial 2^2 com 4 repetições no ponto central; os resultados foram analisados usando metodologia de superfície de resposta a fim de determinar as condições ótimas para a elaboração dos pães. As concentrações máximas e mínimas de cada farinha e do melhorador foram definidas de acordo com resultados preliminares produzidos pelo grupo de pesquisa.

A Tabela 4 detalha o planejamento fatorial 2^2 utilizado para a produção de pães franceses com farinha de milho, arroz e banana verde, com as concentrações máximas e mínimas de farinha substituta e melhorador.

Tabela 4. Planejamento fatorial 2^2 utilizado para as formulações de pães franceses produzidos com diferentes concentrações de farinha substituta de milho (C_{FM}), arroz (C_{FA}) e banana verde (C_{FB}) e melhorador (C_M).

Ensaio	Variáveis		Variáveis		Variáveis	
	Independentes		Independentes		Independentes	
	Farinha de Milho		Farinha de Arroz		Farinha de Banana verde	
	X_1 (C_{FM})	X_2 (C_M)	X_1 (C_{FA})	X_2 (C_M)	X_1 (C_{FB})	X_2 (C_M)
1	-1 (0)	-1 (12)	-1 (0)	-1 (12)	-1 (0)	-1 (12)
2	+1 (40)	-1 (12)	+1 (50)	-1 (12)	+1 (20)	-1 (12)
3	-1 (0)	+1 (36)	-1 (0)	+1 (48)	-1 (0)	+1 (20)
4	+1 (40)	+1 (36)	+1 (50)	+1 (48)	+1 (20)	+1 (20)
5	0 (20)	0 (24)	0 (25)	0 (30)	0 (10)	0 (16)
6	0 (20)	0 (24)	0 (25)	0 (30)	0 (10)	0 (16)
7	0 (20)	0 (24)	0 (25)	0 (30)	0 (10)	0 (16)
8	0 (20)	0 (24)	0 (25)	0 (30)	0 (10)	0 (16)

X_1 = variável codificada = C_{FM} (concentração de farinha de milho), C_{FA} (concentração de farinha de arroz), C_{FB} (concentração de farinha de banana verde) = g/ 100g de farinha total; X_2 = variável codificada = C_M (concentração de melhorador) = g/ 1200g de farinha total. Fonte: própria autoria.

Para a produção dos pães, os ingredientes foram misturados em uma amassadeira industrial (AM-12E, Famag Brasil, Brasil) para a formação da massa durante 9 minutos, sendo a temperatura da água adicionada igual a seguinte expressão: $T_{\text{água}} = 60 - T_{\text{ambiente}} - T_{\text{farinha}}$. Após a saída da amassadeira, a massa permaneceu em repouso (coberta com plástico) durante 10 minutos. Em seguida, a massa foi dividida em porções de 100g, que permaneceram em repouso durante mais 15 minutos (também cobertas com plástico). Após este período, os pães foram moldados em uma modeladora, utilizada na regulagem 15/4 (MR500, Prática Technipan, Brasil) própria para moldes de pães franceses. Os pães moldados foram fermentados em estufa (Klimaquip, Pouso Alegre, Brasil) para fermentação a 35°C e 85% de umidade relativa até que a massa tenha seu volume aumentado 2,5 vezes em relação ao tamanho inicial (aproximadamente 30 min). Após três minutos do final da etapa de fermentação foi cortada a pestana em todos os pães. O assamento foi feito utilizando-se um forno (E250, Prática Produtos

S/A, Pouso Alegre, Brasil) a 200°C durante 14 minutos. A Figura 2 apresenta um fluxograma resumido da produção dos pães franceses.

Figura 2. Fluxograma da produção dos pães franceses.

Fonte: própria autoria.

5.2.2. Avaliação tecnológica dos pães

Conteúdo de água e perda de água durante o assamento

Os conteúdos de água da massa crua, do miolo e da crosta, foram calculados após secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. A perda de água durante o assamento foi determinada a partir da relação de peso entre a massa crua e a massa assada, expressos em percentual (Vanin et al, 2010). Essas análises foram realizadas em triplicatas diretamente após a saída dos pães do assamento.

Volume específico

Para calcular o volume do pão produzido foi utilizado o equipamento VolScan profile (VSP300, Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido). A análise foi feita em triplicata para cada ensaio, e o resultado obtido foi expresso em mililitros. Para obter o volume específico do pão, foi calculada a razão entre o volume obtido pelo equipamento e o peso do pão em gramas (San

Miguel, 2013). Essas análises foram realizadas em triplicatas após uma hora da saída dos pães do assamento.

Porosidade do miolo (alvéolos)

A porosidade do miolo (alvéolos) foi medida por meio de um escâner segundo a metodologia de Crowley, Grau e Arendt (2000), com algumas alterações para a análise digital de imagem. As imagens foram retiradas do centro da seção transversal dos pães, sendo analisada uma área de 30 mm x 30 mm para cada face. As cores das imagens obtidas foram ajustadas para tons de cinza pelo software de digitalização. As características medidas foram: fração vazia, área média celular, área mediana celular (ZGHAL; SCANLON; SAPIRSTEIN, 1999), perímetro médio celular, fator de forma e densidade celular (FARRERA-REBOLLO et al., 2012), sendo que o termo celular refere-se ao alvéolo. O equipamento utilizado foi o escâner HP ScanJet G4050 (Hewlett-Packard, USA) com o software Digitalização HP versão 14.5.459.0 (Hewlett-Packard, USA). Adicionalmente, o software Matlab R2015a versão 8.5.0.19713 (The MathWorks, Natick, E.U.A.) processou as imagens adquiridas a partir de programa elaborado pelo grupo de pesquisa. Essas análises foram realizadas em triplicatas após uma hora da saída dos pães do assamento.

Cor

Os parâmetros de cor chroma a^* , chroma b^* e luminosidade (L^*) da crosta e do miolo dos pães foram avaliados utilizando-se um colorímetro MiniScan EZ 4500L (Hunter Associates Laboratory, Reston, E.U.A.). Para a determinação dos parâmetros chroma a^* , chroma b^* e L^* a leitura foi realizada em triplicata (LARA; CORTÉS; PEREZ, 2011). Essas análises foram realizadas em triplicatas após uma hora da saída dos pães do assamento.

Textura

Parâmetros de textura do miolo foram analisados por meio da análise de perfil de textura (TPA) de seções transversais de 20 mm do miolo, utilizando-se um texturômetro TA-XT Plus (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) (GOMEZ et al., 2007). Para realização da análise utilizou-se um probe cilíndrico de 25 mm de diâmetro. Essas análises foram realizadas em triplicatas após uma hora da saída dos pães do assamento.

Cisalhamento

A força máxima de cisalhamento dos pães foi medida conforme Rabelo et al. (2013), modificada. As amostras foram cortadas em secções transversais de 15 mm, com miolo e casca, posicionadas verticalmente, e cisalhadas por uma lâmina de Warner-Bratzler (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) utilizado um texturômetro TA-XT Plus (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido). Os parâmetros definidos para o teste foram mantidos constantes em: 4,00 m/s de velocidade de pré-teste, 1,00 mm/s de velocidade de teste, 5,00 mm/s de velocidade de pós-teste, com uma força de ativação de teste de 20,0 g. Essas análises foram realizadas em triplicatas após uma hora da saída dos pães do assamento.

5.2.3. Análise estatística

O efeito da formulação dos pães foi estudado através de um planejamento fatorial 2^2 . Neste estudo o efeito da concentração da farinha substituta e da concentração de melhorador foram avaliados. Dessa forma, os fatores que poderiam influenciar na produção dos pães foram: concentração da farinha e concentração do melhorador. A análise dos efeitos das variáveis estudadas (concentração de farinha substituta e concentração de melhorador) sobre as diferentes respostas foi avaliada utilizando o software Statistitca 7.0. Os dados foram ajustados ao modelo linear de primeira ordem (Equação 1) segundo a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). A análise de variância (ANOVA) foi realizada para avaliar a significância do modelo obtido para cada variável de resposta a 95% de intervalo de confiança.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (1)$$

Sendo:

Y_i : função resposta;

X_1, X_2 : valor das variáveis independentes

β_0 : coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;

$\beta_{1,2}$: coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

β_{12} : coeficiente de interação entre as variáveis independentes.

Optou-se por apresentar a análises estatística através da análise dos Digramas de Pareto. Através do Diagrama de Pareto pode-se avaliar os efeitos de cada variável independente

individual e suas interações. Todas as determinações para cálculos de efeito ou modelo foram realizadas pelo erro residual, visto que o erro puro é usado apenas para cálculos dos valores de falta de ajuste da análise de variância (ANOVA), indicando a variação dos pontos centrais.

Para a realização das análises estatísticas do planejamento fatorial e da confecção das superfícies de respostas, foi utilizado o programa estatístico Statistica versão 10 (StatSoft, USA).

6. Resultados e discussão

6.1. Farinha de milho

Pães com diferentes concentrações de farinha de trigo, farinha de milho e melhorador químico, foram produzidos utilizando um delineamento por planejamento fatorial 2^2 , os resultados obtidos para as diferentes respostas foram apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7, médias $\pm$ desvio padrão.

Através da análise dos Digramas de Pareto, observou-se que os efeitos das variáveis dependentes volume específico, dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade, resiliência, força de cisalhamento (Figura 3), parâmetros de cor L^* , a^* , e b^* , tanto para o miolo (Figura 4) como para a crosta (Figura 5) apresentaram significância à 95% de confiança ($p=0,05$). A partir dessa análise os valores obtidos para as respostas volume específico, dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade, resiliência, força de cisalhamento, parâmetros de cor L^* , a^* , e b^* do miolo e da crosta foram ajustados ao modelo linear à 95 % de confiança ($p<0,05$). Os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para estas variáveis de resposta estão apresentadas na Tabela 8. As demais variáveis dependentes avaliadas pela metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da concentração de farinha de milho e melhorador não apresentaram efeitos significativos à 95% de intervalo de confiança, dessa forma, não foram apresentados (Anexo 1).

Tabela 5. Matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de milho (C_{FM}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		CAMa	CAMi	CACr	PA	VE	Du	Ela	Coe
	X ₁ (C _{FM})	X ₂ (C _M)								
1	-1 (0)	-1 (12)	46,56 ± 0,16	44,23 ± 1,37	16,94 ± 2,02	20,62 ± 1,09	6,02 ± 0,41	0,09 ± 0,02	0,98 ± 0,02	0,83 ± 0,02
2	+1 (40)	-1 (12)	45,64 ± 0,16	44,82 ± 0,10	20,63 ± 0,73	19,39 ± 0,46	2,30 ± 0,01	0,84 ± 0,12	0,87 ± 0,04	0,53 ± 0,05
3	-1 (0)	+1 (36)	45,59 ± 0,78	43,81 ± 0,23	11,63 ± 0,94	21,38 ± 0,83	5,97 ± 0,16	0,10 ± 0,01	0,94 ± 0,03	0,81 ± 0,03
4	+1 (40)	+1 (36)	45,96 ± 0,06	43,23 ± 0,15	15,68 ± 1,49	20,68 ± 1,21	3,80 ± 0,07	0,29 ± 0,03	0,89 ± 0,10	0,53 ± 0,11
5	0 (20)	0 (24)	45,05 ± 0,10	44,26 ± 0,11	18,86 ± 2,06	19,09 ± 0,37	4,26 ± 0,30	0,18 ± 0,02	0,94 ± 0,02	0,77 ± 0,02
6	0 (20)	0 (24)	46,00 ± 0,12	43,57 ± 0,30	17,84 ± 1,13	19,97 ± 0,11	4,20 ± 0,38	0,19 ± 0,03	0,94 ± 0,03	0,75 ± 0,04
7	0 (20)	0 (24)	51,80 ± 1,62	43,23 ± 0,27	15,29 ± 0,48	21,14 ± 0,38	4,53 ± 0,25	0,21 ± 0,02	0,92 ± 0,03	0,73 ± 0,03
8	0 (20)	0 (24)	45,33 ± 0,06	43,40 ± 0,06	20,12 ± 1,18	19,61 ± 0,95	3,82 ± 0,13	0,22 ± 0,01	0,93 ± 0,03	0,76 ± 0,02

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; CAMa = Conteúdo de água da massa (%), CAMi = Conteúdo de água do miolo (%), CACr = Conteúdo de água da crosta (%), PA = Perda de água (%), VE = Volume específico (mL/g), Du = Dureza (Kg), Ela = Elasticidade, Coe = Coesividade.

Tabela 6. Continuação matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de milho (C_{FM}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		Mst	Res	FV	AMdC	AMaC	PMC	DC
	X ₁ (C _{FM})	X ₂ (C _M)							
1	-1 (0)	-1 (12)	65 ± 3	0,44 ± 0,02	35 ± 3	0,73 ± 0,10	0,059 ± 0,008	2,5 ± 0,2	49 ± 4
2	+1 (40)	-1 (12)	429 ± 64	0,21 ± 0,04	25 ± 5	0,46 ± 0,09	0,055 ± 0,008	1,9 ± 0,2	55 ± 8
3	-1 (0)	+1 (36)	74 ± 5	0,42 ± 0,03	30 ± 9	0,62 ± 0,27	0,054 ± 0,013	2,1 ± 0,6	50 ± 7
4	+1 (40)	+1 (36)	235 ± 135	0,17 ± 0,09	27 ± 3	0,56 ± 0,13	0,062 ± 0,007	2,3 ± 0,3	50 ± 7
5	0 (20)	0 (24)	131 ± 12	0,39 ± 0,02	27 ± 3	0,63 ± 0,06	0,058 ± 0,008	2,2 ± 0,2	43 ± 2
6	0 (20)	0 (24)	126 ± 19	0,37 ± 0,07	30 ± 5	0,67 ± 0,17	0,053 ± 0,007	2,4 ± 0,4	47 ± 8
7	0 (20)	0 (24)	143 ± 23	0,36 ± 0,03	34 ± 2	0,85 ± 0,08	0,048 ± 0	2,8 ± 0,1	40 ± 2
8	0 (20)	0 (24)	154 ± 17	0,39 ± 0,02	31 ± 5	0,64 ± 0,12	0,062 ± 0,012	2,5 ± 0,2	48 ± 2

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; Mst = Mastigabilidade, Res = Resiliência, FV = Fração vazia (área alveolar/área total), AMdC = Área média celular (mm²), AMaC = Área mediana celular (mm²), PMC = Perímetro médio celular (mm), DC = Densidade celular (Célula/cm²).

Tabela 7. Continuação matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de milho (C_{FM}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		L* Mi	a* Mi	b* Mi	L* Ct	a* Ct	b* Ct	Cis
	X ₁ (C _{FM})	X ₂ (C _M)							
1	-1 (0)	-1 (12)	68,1 ± 3,3	-0,3 ± 0,1	10,7 ± 1,1	61,0 ± 3,4	14,0 ± 1,9	36,5 ± 1,4	45 ± 6
2	+1 (40)	-1 (12)	71,1 ± 0,2	5,6 ± 0,1	40,0 ± 0,4	71,7 ± 3,0	11,9 ± 1,6	42,3 ± 1,7	25 ± 8
3	-1 (0)	+1 (36)	82,6 ± 0,4	0,9 ± 0,2	18,8 ± 0,5	60,7 ± 2,6	17,5 ± 1,0	42,1 ± 0,5	40 ± 6
4	+1 (40)	+1 (36)	73,3 ± 3,0	3,6 ± 0,3	36,1 ± 2,1	73,8 ± 7,1	10,2 ± 1,7	31,7 ± 4,6	17 ± 3
5	0 (20)	0 (24)	75,8 ± 0,5	2,7 ± 0,3	30,1 ± 1,0	71,9 ± 4,7	11,9 ± 2,5	33,8 ± 3,9	32 ± 6
6	0 (20)	0 (24)	75,8 ± 0,9	2,5 ± 0,2	29,6 ± 0,8	66,2 ± 3,2	14,5 ± 1,3	36,3 ± 2,9	33 ± 4
7	0 (20)	0 (24)	75,3 ± 0,5	2,6 ± 0,2	29,8 ± 0,6	71,0 ± 1,9	12,2 ± 0,9	36,9 ± 3,5	31 ± 5
8	0 (20)	0 (24)	75,3 ± 0,7	3,0 ± 0,2	30,5 ± 0,8	70,2 ± 4,5	11,8 ± 2,5	33,6 ± 4,0	30 ± 5

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; L* Mi = L* do miolo, a* Mi = a* do miolo, b* Mi = b* do miolo, L* Ct = L* da crosta, a* Ct = a* da crosta, b* Ct = b* da crosta; Cis – força de cisalhamento (N).

Figura 3. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: volume específico, dureza, mastigabilidade, coesividade, resiliência, força de cisalhamento e elasticidade, efeito da concentração de farinha de milho e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 4. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: parâmetro de cor a^* , b^* e L^* do miolo, efeito da concentração de farinha de milho e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 5. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: parâmetro de cor a*, b* e L* do miolo, efeito da concentração de farinha de milho e melhorador analisados à 95% de confiança (p=0,05).

Tabela 8. Coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para as diferentes variáveis dependentes avaliadas, em função das variáveis independentes concentração de farinha de milho (β_1) e concentração de melhorador (β_2).

Resposta (Y)	β_0	β_1	β_2	β_{12}	R ²	F _{calculado}	F _{tabelado} 1 (p=0,05)	F _{falta de} ajuste	F _{tabelado2} (p=0,05)
Volume específico	4,36*	-1,47*	0,36	0,39	0,95	32,58	5,99	5,18	9,28
Dureza	0,26*	0,24*	-0,14*	-0,14*	0,92	14,68	6,59	100,38	10,13
Elasticidade	0,93*	-0,05*	-0,01	0,02*	0,95	25,55	5,79	5,26	9,55
Coesividade)	0,71*	-0,14*	-0,01	0,001	0,87	40,51	5,99	12,23	9,28
Mastigabilidade	169,52*	131,54*	-45,96	-50,79	0,91	15,43	5,99	55,13	9,28
Resiliência	0,34*	-0,12*	-0,02	-0,001	0,88	38,01	5,99	12,31	9,28
Força cisalhamento	31,58*	-10,60*	-3,23*	-0,66	0,99	161,57	5,79	0,61	9,55
L* miolo	74,66*	-1,59	4,17*	-3,08*	0,95	16,28	5,79	115,55	9,55
a* miolo	2,57*	2,18*	-0,20	-0,81*	0,99	132,94	5,79	2,74	9,55
b* miolo	28,20*	11,64*	1,05	-3,02	0,96	48,05	5,99	135,30	9,28
L* crosta	68,30*	5,95*	0,44	0,61	0,80	21,64	5,99	1,12	9,28
a* crosta	12,99*	-2,35*	0,42	-1,30	0,83	9,77	5,99	1,86	9,28
b* crosta	36,66*	-1,13	-1,24	-4,04*	0,74	10,42	5,99	3,42	9,28

F_{calculado} > F_{tabelado1}: modelo significativo;

F_{falta de ajuste} < F_{tabelado2}: modelo significativo e preditivo, p < 0,05 (95 % de confiança);

* Indica significância a 95% de intervalo de confiança

6.1.1. Conteúdo de água: da massa, do miolo e da crosta

No intervalo de concentração estudada, as relações de C_{FM} , C_M e relação $C_{FM} \times C_M$ não influenciaram as respostas de conteúdo de água da massa, do miolo e da crosta (Anexo 1).

Embora os modelos lineares não possam ser utilizados para representar de forma significativa os efeitos da concentração de farinha de milho e de melhorador, no conteúdo de água da massa, do miolo e da crosta, pode-se observar que os valores médios apresentados permaneceram em torno de $46,5 \pm 2,3$ g de água/ 100g de massa, $43,8 \pm 0,6$ g de água/ 100g de miolo, $17,1 \pm 2,9$ g de água/ 100g de crosta, respectivamente.

6.1.2. Perda de água durante o assamento

Para a resposta perda de água durante o assamento, na faixa de concentração estudada, as relações de C_{FM} , C_M e relação $C_{FM} \times C_M$ não influenciaram significativamente (Anexo 1). O valor médio de perda de água durante o assamento, foi de $20,2 \pm 0,8$ g de água/ 100 g de produto.

6.1.3. Volume específico

A partir dos resultados apresentados na Tabela 8 observou-se que, na faixa de concentração estudada, apenas a C_{FM} teve efeito significativo no volume específico. Assim, a partir da ANOVA pode-se gerar o modelo linear codificado para a resposta de volume específico (Equação 2).

$$\text{Volume específico (mL/mg)} = 4,36 - 1,47 * C_{FM} \quad (2)$$

Onde C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha de trigo).

Os valores de volume específico para os pães produzidos com farinha de trigo e farinha de milho variaram de 2,30-6,02 mL/g (Tabela 5). Estes valores estão próximos aos valores de

estudos anteriores sobre pão francês formulado apenas com farinha de trigo (ALMEIDA; CHANG, 2012; CARR et al., 2006).

Como esperado, o aumento da concentração da farinha de milho provocou uma redução nos valores de volume específico. Este efeito pode ser atribuído à diminuição da rede de glúten, sendo afetada a retenção do gás carbônico, e consequentemente diminuindo o volume específico.

Os resultados obtidos neste estudo foram similares aos obtidos no estudo de Sabanis e Tzia (2009). Estes autores também observaram diminuição no volume específico de pães em função do aumento da concentração de farinha de milho (0-50%). No estudo de Saddiq et al. (2009) a substituição de farinha de trigo por farinha de milho desengordurada em níveis de 5-20 g/ 100g, provocou uma diminuição do volume específico dos pães de 35 % (1,77 a 1,15 mL/g), a medida que a concentração de substituição aumentou. Por outro lado, o volume específico dos pães produzidos com farinha de milho neste estudo foi superior ao reportado para broa por Brites et al. (2010), entre 1,40 e 1,57 mL/g.

6.1.4. Perfil de textura

Para avaliar o perfil de textura são determinados os seguintes parâmetros: dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade e resiliência. No caso da utilização da farinha de milho para substituir a farinha de trigo em pães franceses, o perfil de textura, ou seja, todos os parâmetros determinados, apresentaram efeitos significativos na faixa de concentração estudada (Tabela 8). Porém, a partir da análise de significância e preditividade dos modelos lineares gerados, observou-se que apenas o modelo gerado para a resposta elasticidade foi significativo e preditivo ($F_{\text{Falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado2}}$). (Tabela 8). Dessa forma, apenas a resposta elasticidade será discutida.

Elasticidade

Para a resposta elasticidade, observou-se que a relação C_{FM} e a relação $C_{FM} \times C_M$ afetaram significativamente a resposta elasticidade. A partir dos coeficientes de regressão gerou-se o modelo linear codificado para a resposta de elasticidade (Equação 3).

$$\text{Elasticidade} = 0,93 - 0,05 \cdot C_{FM} + 0,02 \cdot C_M \times C_{FM} \quad (3)$$

Onde C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = massa de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

A elasticidade do pão foi afetada pelo aumento da concentração da farinha de milho, efeito esperado, pois estes pães apresentaram menor volume específico, o que pode ter relação com a menor elasticidade. Este fato provavelmente é provocado pelo teor reduzido de glúten, proteína responsável pela viscoelasticidade da massa.

À medida que a concentração de farinha de milho aumentou de 0 para 40%, a elasticidade diminuiu de 0,98 para 0,87 (Tabela 5). Estes dados são consistentes com os de Păucean & Man (2013), que observou que a substituição parcial de farinha de trigo por 40% de farinha de milho resultou em uma perda de elasticidade nos pães (de 0,88 para 0,63).

6.1.5. Força máxima de cisalhamento

A partir dos resultados apresentados na Tabela 11 foram realizados os tratamentos estatísticos para a resposta força de cisalhamento. Na faixa estudada, as variações de C_{FM} e C_M tiveram efeito significativo sobre a resposta, já a interação de $C_{FM} \times C_M$ não teve efeito significativo (Tabela 8). Portanto, a partir dos coeficientes de regressão, foi gerado o modelo linear codificado para a resposta de força máxima de cisalhamento (Equação 4).

$$\text{Força máxima (N)} = 31,58 - 10,60 * C_{FM} - 3,23 * C_M \quad (4)$$

Onde C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

A força de cisalhamento diminuiu com o aumento das concentrações de farinha de milho e melhorador, efeito que provavelmente ocorreu devido ao aumento da concentração de emulsificantes (presentes no melhorador) e de fibra e amido, presentes em maior concentração na farinha de milho do que na de trigo, assim, a redução da força de cisalhamento foi devido à maior capacidade de retenção de água na crosta, o que deixa a crosta mais mole.

6.1.6. Porosidade do miolo

A porosidade do miolo se caracteriza através de 5 respostas: fração vazia, área média celular, área mediana celular, perímetro médio celular e densidade celular. Estas respostas foram obtidas por meio de uma análise digital das imagens de escâner de uma secção transversal dos pães. Na Figura 6, exemplos dessas imagens de pães com 0%, 20% e 40% de substituição parcial de farinha de milho, respectivamente, podem ser observados.

Figura 6. Imagens de escâner uma secção transversal dos pães com substituição parcial de farinha de milho.

a) Secção transversal do pão com 0% de farinha de milho b) Secção transversal do pão com 20% de farinha de milho c) Secção transversal do pão com 40% de farinha de milho

Para o caso da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de milho, nos intervalos de concentrações de farinha de milho e melhorador estudados, não foram obtidos efeitos significativos para a C_{FM} , C_M e $C_{FM} \times C_M$ sobre as respostas fração vazia, área média celular, área mediana celular, perímetro médio celular e densidade celular. Dessa forma, não foram apresentados os modelos gerados para estas respostas (Anexo 1).

Provavelmente a não significância desses parâmetros é porque todos os parâmetros da estrutura desempenham um papel em conjunto e, infelizmente, usando a metodologia da superfície de resposta, esse efeito não pôde ser observado.

Ainda que os modelos lineares não possam ser utilizados para representar de forma significativa os efeitos da concentração de farinha de milho e de melhorador, nos parâmetros de porosidade dos pães, pode-se observar que os valores médios apresentados permaneceram em torno de $29,9 \pm 3,5$, $0,6 \pm 0,1$, $2,3 \pm 0,3$, $45,6 \pm 4,8$, para a fração vazia (área alveolar/área total), área mediana celular (mm^2), perímetro médio celular (mm) e densidade celular ($\text{célula}/\text{cm}^2$), respectivamente.

De acordo com Zghal et al. (2000) a densidade do miolo pode ser afetada pela concentração de proteína da farinha, tempo de fermentação e mistura da massa, ou seja, desagregação excessiva das paredes celulares e coalescência das células de gás, podem estar associadas a uma massa mais fraca, crosta mais grosseira e não uniforme.

6.1.7. Cor do miolo e da crosta

A cor é determinada a partir dos parâmetros de cor luminosidade L^* , chroma a^* e chroma b^* . Assim, foi determinada a cor do miolo e da crosta. Para os parâmetros de cor do miolo, foram gerados modelos lineares significativos, enquanto, os parâmetros de cor da crosta não apresentaram modelos lineares significativos.

Os digramas de Pareto (Figura 4 e Figura 5) demostraram quais os efeitos significativos sobre os parâmetros de cor da crosta e do miolo.

Para o parâmetro de cor de luminosidade L^* do miolo as relações de C_M e $C_{FM} \times C_M$ apresentaram efeito significativo esta resposta (Tabela 8). Para o parâmetro de cor chroma a^* do miolo, foi observado que na faixa de concentração estudada, a C_{FM} e a interação de $C_{FM} \times C_M$ apresentou efeito significativo sobre a resposta (Tabela 8), enquanto que para o parâmetro de cor chroma b^* do miolo apenas a C_{FM} apresentou efeito significativo sobre a resposta (Tabela 8). Porém, a partir da análise de significância e preditividade dos modelos lineares gerados, observou-se que apenas o modelo gerado para a resposta chroma a^* do miolo foi significativo e preditivo ($F_{\text{Falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado2}}$). (Tabela 8). Dessa forma, apenas a resposta chroma a^* do miolo será discutida.

A partir dos coeficientes de regressão gerou-se o modelo linear codificado para o parâmetro de cor de chroma a^* do miolo (Equação 5).

$$a^* \text{ miolo} = 2,57 + 2,18 \cdot C_{FM} \quad (5)$$

Onde C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

O parâmetro de cor chroma a^* do miolo mostrou tendência para valores maiores à medida que a concentração da farinha de milho aumentou (Eq. 5). No estudo de Alpaslan e

Hayta (2006), o valor do parâmetro de cor chroma a^* de produtos do tipo *bagel* / *pretzel* foi menor comparado ao controle (pão feito somente com farinha de trigo), o que corrobora com os resultados observados neste estudo.

A seguir estão apresentados os parâmetros de cor da crosta. Para o parâmetro luminosidade L^* e chroma a^* da crosta, observou-se que na faixa estudada, apenas a C_{FM} teve efeito significativo nos parâmetros de cor da crosta. Já o chroma b^* teve efeito significativo para a interação de C_{FM} e C_M . A partir dos coeficientes de regressão, foram gerados os modelos lineares codificados para os parâmetros de cor de luminosidade L^* , chroma a^* e chroma b^* da crosta (Equações 6, 7 e 8).

$$L^* \text{ crosta} = 68,30 + 5,95 * C_{FM} \quad (6)$$

$$a^* \text{ crosta} = 12,99 - 2,35 * C_{FM} \quad (7)$$

$$b^* \text{ crosta} = 36,66 - 4,04 * C_{FM} C_M \quad (8)$$

Onde C_{FM} = concentração de farinha de milho (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

Os parâmetros de cor para a crosta, nas faixas de concentração de farinha de milho e melhorador estudadas geraram modelos lineares significativos e preditivos, onde a variação C_{FM} tenha apresentado efeito significativo para a resposta luminosidade L^* e chroma a^* e a relação $C_{FM} \times C_M$ tenha apresentado efeito significativo para a resposta chroma b^* .

6.1.8. Conclusões parciais sobre a utilização da farinha de milho

A substituição de farinha de trigo por farinha de milho no estudo fatorial 2^2 , sendo as concentrações de farinha e de melhorador químico as variáveis independentes tiveram como parâmetros de respostas significativos e preditivos: volume específico, elasticidade, força de cisalhamento, chroma a^* miolo, L^* da crosta, a^* da crosta e b^* do miolo.

De maneira geral, a substituição de farinha de trigo por farinha de milho, produziu pães com volumes específicos menores, com menor elasticidade, e menor força máxima de cisalhamento, resultados na sua maioria esperados pela redução do teor de glúten e aumento de

fibras na composição. Além disso, apresentaram coloração mais claros. A partir dos resultados, nota-se que o volume específico diminuiu significativamente com o aumento da concentração da farinha de milho, diminuindo os espaços vazios entre os grânulos de amido e a rede de glúten, aumentando a densidade da estrutura e consequentemente diminuindo a elasticidade do miolo. No entanto, observou-se uma significativa redução da força de cisalhamento com o aumento da concentração de emulsificantes (presentes no melhorador) e de fibra e amido, presentes em maior concentração na farinha de milho do que na de trigo, devido à maior capacidade de retenção de água na crosta, o que deixa a crosta mais mole. Estes pães resultaram ter a textura influenciada mais fortemente pela concentração de farinha de milho, portanto, recomenda-se trabalhar com concentrações de substituição de até 20 %.

6.2. Farinha de arroz

Pães com diferentes concentrações de farinha de trigo, farinha de arroz e melhorador químico, foram produzidos utilizando um delineamento por planejamento fatorial 2^2 , os resultados obtidos para as diferentes respostas foram apresentados nas Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11, médias $\pm$ desvio padrão.

Através da análise dos Digramas de Pareto, observou-se que os efeitos das variáveis dependentes perda de água, volume específico, mastigabilidade, força de cisalhamento, fração vazia, e densidade celular (Figura 7), apresentaram efeitos significativos à 95% de intervalo de confiança ($p=0,05$). A partir dessa análise os valores obtidos para estas respostas foram ajustados ao modelo linear à 95 % de confiança ($p<0,05$). Os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para estas variáveis de resposta estão apresentadas na Tabela 12. As demais variáveis dependentes avaliadas pela metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da concentração de farinha de arroz e melhorador não apresentaram efeitos significativos à 95% de intervalo de confiança (Anexo 2).

Tabela 9. Matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha e arroz (C_{FA}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		CAMa	CAMi	CACr	PA	VE	Du	Ela	Coe
	X ₁ (C _{FA})	X ₂ (C _M)								
1	-1 (0)	-1 (12)	47,16 ± 0,30	44,49 ± 0,34	15,63 ± 1,10	16,70 ± 0,07	3,68 ± 0,06	0,28 ± 0,03	0,94 ± 0,03	0,80 ± 0,03
2	+1 (50)	-1 (12)	46,71 ± 0,07	44,35 ± 0,09	16,27 ± 3,85	19,17 ± 1,08	2,35 ± 0,02	0,91 ± 0,13	0,94 ± 0,02	0,67 ± 0,03
3	-1 (0)	+1 (48)	46,24 ± 0,01	43,63 ± 0,32	15,05 ± 1,00	18,54 ± 0,14	4,38 ± 0,12	0,20 ± 0,02	0,93 ± 0,02	0,79 ± 0,04
4	+1 (50)	+1 (48)	45,84 ± 0,42	44,25 ± 0,28	14,06 ± 1,07	19,49 ± 0,47	2,52 ± 0,17	0,70 ± 0,08	0,89 ± 0,03	0,62 ± 0,06
5	0 (25)	0 (30)	44,89 ± 0,22	44,73 ± 0,66	15,01 ± 0,12	18,77 ± 0,50	3,52 ± 0,05	0,29 ± 0,05	0,99 ± 0,02	0,78 ± 0,03
6	0 (25)	0 (30)	45,67 ± 0,07	44,76 ± 0,17	11,46 ± 1,09	18,49 ± 0,16	3,87 ± 0,04	0,23 ± 0,04	0,99 ± 0,02	0,79 ± 0,02
7	0 (25)	0 (30)	46,43 ± 0,13	44,14 ± 0,28	15,40 ± 0,61	19,46 ± 0,15	4,04 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,96 ± 0,01	0,81 ± 0,02
8	0 (25)	0 (30)	47,08 ± 0,08	43,24 ± 0,16	14,18 ± 0,56	19,17 ± 0,11	4,03 ± 0,06	0,25 ± 0,03	0,96 ± 0,02	0,81 ± 0,04

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FA} = concentração de farinha de arroz (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; CAMa = Conteúdo de água da massa (%), CAMi = Conteúdo de água do miolo (%), CACr = Conteúdo de água da crosta (%), PA = Perda de água (%), VE = Volume específico (mL/g), Du = Dureza (Kg), Ela = Elasticidade, Coe = Coesividade.

Tabela 10. Continuação matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de arroz (C_{FA}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		Mst	Res	FV	AMdC	AMaC	PMC	DC
	X ₁ (C _{FA})	X ₂ (C _M)							
1	-1 (0)	-1 (12)	177 ± 23	0,43 ± 0,02	32 ± 3	0,56 ± 0,07	0,057 ± 0,009	2,3 ± 0,3	57 ± 5
2	+1 (50)	-1 (12)	573 ± 55	0,37 ± 0,03	22 ± 2	0,44 ± 0,04	0,062 ± 0,007	1,9 ± 0,1	51 ± 5
3	-1 (0)	+1 (48)	146 ± 19	0,40 ± 0,03	32 ± 4	0,73 ± 0,09	0,065 ± 0,010	2,6 ± 0,3	44 ± 4
4	+1 (50)	+1 (48)	411 ± 39	0,30 ± 0,06	15 ± 3	0,37 ± 0,06	0,054 ± 0,008	1,6 ± 0,1	41 ± 7
5	0 (25)	0 (30)	194 ± 22	0,44 ± 0,04	27 ± 6	0,55 ± 0,15	0,057 ± 0,009	2,3 ± 0,5	50 ± 11
6	0 (25)	0 (30)	147 ± 11	0,45 ± 0,01	28 ± 3	0,58 ± 0,08	0,062 ± 0,007	2,4 ± 0,3	49 ± 4
7	0 (25)	0 (30)	140 ± 11	0,45 ± 0,02	31 ± 5	0,74 ± 0,34	0,059 ± 0,008	2,6 ± 0,7	46 ± 11
8	0 (25)	0 (30)	168 ± 19	0,47 ± 0,02	30 ± 2	0,64 ± 0,15	0,067 ± 0,026	2,5 ± 0,4	48 ± 7

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FA} = concentração de farinha de arroz (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; Mst = Mastigabilidade, Res = Resiliência, FV = Fração vazia (área alveolar/área total), AMdC = Área média celular (mm²), AMaC = Área mediana celular (mm²), PMC = Perímetro médio celular (mm), DC = Densidade celular (Célula/cm²).

Tabela 11. Continuação matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de arroz (C_{FA}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		L* Mi	a* Mi	b* Mi	L* Ct	a* Ct	b* Ct	Cis
	X ₁ (C _{FA})	X ₂ (C _M)							
1	-1 (0)	-1 (12)	82,4 ± 1,5	2,0 ± 0,1	19,3 ± 0,7	71,4 ± 4,3	12,3 ± 1,0	27,4 ± 3,9	38 ± 7
2	+1 (50)	-1 (12)	75,6 ± 0,7	2,4 ± 0,1	21,5 ± 0,3	68,6 ± 4,4	12,9 ± 1,4	32,0 ± 2,9	24 ± 8
3	-1 (0)	+1 (48)	78,8 ± 0,3	1,6 ± 0,1	20,9 ± 0,3	64,8 ± 3,6	14,3 ± 2,6	36,6 ± 4,1	38 ± 4
4	+1 (50)	+1 (48)	77,5 ± 0,4	2,0 ± 0,1	20,3 ± 0,2	65,0 ± 3,3	12,2 ± 2,4	29,7 ± 4,7	25 ± 8
5	0 (25)	0 (30)	78,5 ± 0,6	2,0 ± 0,2	21,1 ± 0,5	67,9 ± 2,8	13,5 ± 1,0	33,6 ± 4,1	34 ± 9
6	0 (25)	0 (30)	81,2 ± 0,5	1,7 ± 0,1	19,4 ± 0,3	64,2 ± 1,0	14,4 ± 1,3	36,5 ± 1,8	27 ± 5
7	0 (25)	0 (30)	82,2 ± 2,1	1,8 ± 0,4	19,1 ± 1,0	59,6 ± 5,3	16,1 ± 2,6	34,6 ± 2,4	31 ± 7
8	0 (25)	0 (30)	79,4 ± 0,3	1,4 ± 0,1	19,4 ± 0,3	65,3 ± 2,6	15,0 ± 1,9	37,9 ± 2,7	30 ± 7

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FA} = concentração de farinha de arroz (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; L* Mi = L* do miolo, a* Mi = a* do miolo, b* Mi = b* do miolo, L* Ct = L* da crosta, a* Ct = a* da crosta, b* Ct = b* da crosta, Cis = Força de Cisalhamento (N).

Figura 7. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: perda de água, volume específico, mastigabilidade, força de cisalhamento, fração vazia, e densidade celular, efeito da concentração de farinha de arroz e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Tabela 12. Coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para as diferentes variáveis dependentes avaliadas, em função das variáveis independentes concentração de farinha de arroz (β_1) e concentração de melhorador (β_2).

Resposta	β_0	β_1	β_2	β_{12}	R^2	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado1}}$ (p=0,05)	$F_{\text{falta de ajuste}}$	$F_{\text{tabelado2}}$ (p=0,05)
Perda de água	18,73*	0,86*	0,54	-0,38	0,82	6,28	5,99	4,10	9,28
Volume específico	3,55*	-0,80*	0,22	-0,13	0,74	12,43	5,99	6,02	9,28
Mastigabilidade	244,59*	165,22*	-48,47	-32,68	0,67	9,43	5,99	38,81	9,28
Força cisalhamento	30,87*	-6,85*	0,06	0,36	0,86	36,46	5,99	0,07	9,28
Fração vazia	27,15*	-6,56*	-1,62	-,174	0,83	16,72	5,99	4,77	9,28
Densidade celular	48,28*	-2,11	-5,65*	0,89	0,94	24,74	5,99	2,13	9,28

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado1}}$: modelo significativo;

$F_{\text{Falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado2}}$: modelo significativo e preditivo, $p < 0,05$ (95 % de confiança);

* Indica significância a 95% de intervalo de confiança.

6.2.1. Conteúdo de água: massa, miolo e crosta

Para as respostas conteúdo de água da massa, do miolo e da crosta, na faixa de concentração estudada, não apresentaram efeito significativo as relações de C_{FA} , C_M e $C_{FA} \times C_M$.

6.2.2. Perda de água durante o assamento

Para a resposta perda de água durante o assamento, na faixa de concentração estudada, apenas o efeito da C_{FA} apresentou efeito significativo (Tabela 12), sendo representado pela Equação (9).

$$\text{Perda de água (\%)} = 18,73 + 0,86 * C_{FA} \quad (9)$$

Onde C_{FA} = concentração de farinha de arroz (g/ 100g de farinha de trigo).

6.2.3. Volume específico

Para a resposta volume específico, na faixa estudada, os efeitos de C_{FA} e $C_{FA} \times C_M$ não apresentaram efeito significativo, já o efeito da C_{FA} afetou significativamente esta resposta (Tabela 12). O modelo gerado foi significativo e preditivo ($F_{\text{Falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado2}}$) (Tabela 12), sendo representado pela Equação (10).

$$\text{Volume específico (mg/L)} = 3,55 - 0,80 \cdot C_{FA} \quad (10)$$

Onde C_{FA} = concentração de farinha de arroz (g/ 100g de farinha de trigo).

O volume específico dos pães produzidos com farinha de arroz apresentou valores médios de $3,55 \pm 0,74$ mL/g. Sabanis e Tzia (2009) observaram em pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de arroz (10 a 50 %) valores de volume específico entre 2,3 e 2,8 mL/g. Dessa forma, pode-se observar que os valores observados neste estudo foram superiores aos reportados na literatura.

6.2.4. Perfil de textura

A análise das respostas do perfil de textura para os pães produzidos com farinha de arroz em substituição a farinha de trigo mostrou que todos que para todas as respostas avaliadas, os efeitos de C_{FA} , C_M e $C_{FA} \times C_M$ não foram significativos (Anexo 2). Por outro lado, para a resposta mastigabilidade, a C_{FA} apresentou efeito significativo (Tabela 12). Porém, o modelo linear gerado não foi significativo e preditivo ($F_{\text{Falta de ajuste}} > F_{\text{tabelado2}}$) (Tabela 12).

Ainda que os modelos lineares não possam ser utilizados para representar de forma significativa os efeitos da concentração de farinha de arroz e de melhorador, nos parâmetros de textura dos pães, pode-se observar que os valores médios apresentados permaneceram próximos a valores previamente reportados na literatura.

Para a resposta dureza observou-se um valor de $0,38 \pm 0,27$ Kg. Este valor apesar do elevado desvio padrão está próximo aos reportados por Kadan et al. (2001) pães de forma produzidos com 100% de farinha de arroz, 0,24 e 0,40 Kg, para pães produzidos com farinha de arroz feita com 100% de arroz longo, e 90% de arroz longo respectivamente.

A elasticidade apresentou um valor médio de $0,95 \pm 0,03$, valor menor que o apresentado por Kadan et al. (2001), $1,82 \pm 0,36$ para pães de forma produzidos com farinha de arroz.

O valor médio obtido para a resposta coesividade $0,76 \pm 0,07$ foi próximo ao valor obtido para pães feitos apenas com farinha de arroz, $0,80 \pm 0,01$ Kadan et al. (2001). Da mesma forma, a resiliência apresentou um valor médio de $0,42 \pm 0,06$, similar ao obtido por Kadan et al. (2001), $0,48 \pm 0,02$, para pães com 100 % farinha de arroz.

6.2.5. Força máxima de cisalhamento

Para a resposta de força máxima de cisalhamento, na faixa estudada, a C_{FA} apresentou efeito significativo sobre a resposta de força máxima de cisalhamento (Tabela 12). Já as relações C_M e $C_{FA} \times C_M$ não afetaram significativamente esta resposta. Utilizando a análise de variância, verificou-se que o modelo foi significativo e preditivo ($F_{Falta\ de\ ajuste} < F_{tabelado2}$) (Tabela 12) (Equação 11).

$$\text{Força cisalhamento (N)} = 30,87 - 6,85 * C_{FA} \quad (11)$$

Onde C_{FA} = concentração de farinha de arroz (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

Para o parâmetro força máxima de cisalhamento, observou-se que a concentração de farinha de arroz teve grande influência, diminuindo a força necessária para cisalhar à amostra com o aumento da concentração de farinha de arroz variando de aproximadamente 40 N para valores menores a 23 N, não sofrendo influência da concentração de melhorador. Isto pode ter ocorrido pela maior retenção de água dos pães produzidos com farinha de arroz em comparação aos pães padrões, conforme observado na avaliação da resposta “Perda de água durante”(6.2.2.).

Mesmo não estando completamente relacionado, no estudo de Chung, Cho e Lim (2014) foi utilizada a farinha de arroz como substituto de farinha de trigo em biscoitos doces, as concentrações testadas foram de 30-100%. Em relação à força de compressão observou-se que esta foi significativamente menor, ou seja, ficaram mais macios com o aumento da concentração da farinha de arroz. No estudo de Sabanis e Tzia (2009), foi possível observar que a medida que a concentração de farinha de arroz aumentou, a firmeza dos pães de forma diminuiu; da

mesma forma, como observado neste estudo para a força máxima de cisalhamento dos pães produzidos.

6.2.6. Porosidade do miolo

A Figura 8 mostra exemplos de imagens obtidas por meio de uma análise digital de escâner utilizando a secção transversal dos pães, para amostras com 0%, 25% e 50% de substituição parcial de farinha de arroz, respectivamente.

Figura 8. Imagens de escâner uma secção transversal dos pães com substituição parcial de farinha de arroz.

a) Secção transversal do pão com 0% de farinha de arroz b) Secção transversal do pão com 25% de farinha de arroz c) Secção transversal do pão com 50% de farinha de arroz

Para as respostas área média celular, área mediana celular e perímetro médio celular, na faixa de concentração estudada, as relações de C_{FA} , C_M e interação $C_{FA} \times C_M$ não apresentaram efeito significativo (Anexo 2).

Para a resposta fração vazia, apenas a relação C_{FA} teve efeito significativo, enquanto para a resposta densidade celular apenas a C_M (Tabela 12). Para estas respostas os modelos gerados foram significativos e preditivos ($F_{\text{Falha de ajuste}} < F_{\text{tabelado2}}$), e os modelos gerados podem ser observados pelas Equações (12) e (13).

$$\text{Fração vazia} = 27,15 - 6,56 \cdot C_{FA} \quad (12)$$

$$\text{Densidade celular} = 48,28 - 5,65 \cdot C_M \quad (13)$$

Onde C_{FA} = concentração de farinha de arroz (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

Através da Equação (13) observa-se que o teor do melhorador teve um efeito negativo, ocorrendo uma diminuição da densidade celular à medida que a concentração desta variável aumentava, variando de 59 a 41 célula/cm². Este resultado não foi muito esperado, pois se esperava que a concentração da farinha de arroz tivesse uma maior influência, por ser um parâmetro com correlação direta com o volume específico do pão, que tende a diminuir com a adição de farinhas sem glúten. Acredita-se que a diminuição da densidade celular com o aumento do teor do melhorador ocorre pela presença de emulsificantes na composição do melhorador, ajudando na incorporação de ar na massa durante a mistura, aumentando a fração vazia, em outras palavras, diminuindo a densidade.

Ziobro et al. (2012) discutem que o miolo dos pães sem glúten é visivelmente diferente do pão tradicional, especialmente pela diminuição do número e o aumento do tamanho das células, consequentemente redução da densidade celular, tendência observada pela substituição da farinha de trigo pela farinha de arroz.

6.2.7. Cor do miolo e da crosta

A cor tanto do miolo quanto da crosta foi determinada a partir dos parâmetros de luminosidade L^* , chroma a^* e chroma b^* . Na faixa de concentração estudada, as relações de C_{FA} , C_M e $C_{FA} \times C_M$ não apresentaram efeito significativo sobre os parâmetros de cor do miolo e da crosta (Anexo 2).

Os valores médios dos parâmetros de cor luminosidade L^* e chroma b^* do miolo foi de $79,45 \pm 2,36$ e $20,14 \pm 0,91$, respectivamente. Estes valores estão próximos aos reportados por Sabanis e Tzia (2009) para pães com diferentes concentrações de farinha de arroz (0-50%), valores L^* entre 74,36 e 77,32, e do chroma b^* entre 14,12 e 15,38.

Da mesma forma, pode-se observar que os valores médios dos parâmetros de cor L^* e chroma b da crosta, $65,84 \pm 3,51$ e $33,56 \pm 3,65$, respectivamente, foram próximos aos reportados para crosta de pães produzidos com farinha de arroz na literatura (L^* entre 65,91 e 66,88, e b^* entre 28,48 e 29,96) (SABANIS; TZIA, 2009).

6.2.8. Conclusões parciais sobre a utilização da farinha de arroz

A substituição de farinha de trigo por farinha de arroz no estudo fatorial 2^2 gerou modelos lineares significativos e preditivos para as respostas perda de água durante o assamento, volume específico, força de cisalhamento, fração vazia e densidade celular.

Todas as respostas acima, foram afetadas significativamente apenas pela concentração de farinha de arroz (com exceção da resposta densidade celular).

De maneira geral, o aumento da concentração de farinha de arroz provocou uma diminuição nos valores das respostas, se distanciando dos valores médios obtidos para a amostra padrão.

Apesar das demais respostas não gerarem modelos significativos e preditivos, pode-se observar que os valores reportados neste estudo estão próximos aos reportados na literatura. Através da análise das respostas de perda água durante o assamento, volume específico, força de cisalhamento e fração vazia, recomenda-se trabalhar com substituição parcial de farinha de trigo por até 25 %, pois com esta concentração os pães produzidos apresentam respostas com valores mais próximos aos do pão padrão, mantendo-se a qualidade tecnológica do pão produzido.

6.3. Farinha de banana verde

Os resultados obtidos para as diferentes respostas avaliadas através do delineamento experimental para avaliar o efeito da concentração de farinha de banana verde e melhorador químico podem ser observados nas Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15.

Através da análise dos Digramas de Pareto, observou-se que os efeitos das variáveis dependentes fração vazia, área média celular, perímetro médio celular, densidade celular (Figura 9); parâmetros de cor L^* , a^* , e b^* , tanto para o miolo (Figura 10) como para a crosta (Figura 11); volume específico, perda de água, força de cisalhamento (Figura 12), apresentaram significância à 95% de confiança ($p=0,05$). A partir dessa análise os valores obtidos para estas respostas foram ajustados ao modelo linear à 95 % de confiança ($p<0,05$). Os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para estas variáveis de resposta estão apresentadas na Tabela 16.

As demais variáveis dependentes avaliadas pela metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da concentração de farinha de banana verde e melhorador não

apresentaram efeitos significativos à 95% de intervalo de confiança. Dessa forma, os Diagramas de Pareto para as respostas conteúdo de água da massa, conteúdo de água do miolo, conteúdo de água da crosta, dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade, resiliência e área mediana celular, não foram apresentados (Anexo 3).

Tabela 13. Matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de banana verde (C_{FB}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		CAMa	CAMi	CACr	PA	VE	Du	Ela	Coe
	X ₁ (C _{CF})	X ₂ (C _M)								
1	-1 (0)	-1 (12)	45,85 ± 0,09	45,22 ± 0,24	16,84 ± 0,86	17,84 ± 0,48	3,63 ± 0,25	0,30 ± 0,04	0,95 ± 0,03	0,80 ± 0,03
2	+1 (20)	-1 (12)	46,37 ± 0,04	43,79 ± 0,09	21,18 ± 1,09	16,28 ± 0,26	2,21 ± 0,03	0,94 ± 0,12	0,88 ± 0,02	0,67 ± 0,03
3	-1 (0)	+1 (20)	46,50 ± 0,11	45,73 ± 0,19	13,75 ± 1,61	22,84 ± 0,34	6,22 ± 0,11	0,08 ± 0,01	0,91 ± 0,03	0,80 ± 0,03
4	+1 (20)	+1 (20)	44,88 ± 0,20	44,49 ± 0,65	19,31 ± 2,58	16,65 ± 0,40	2,42 ± 0,06	0,71 ± 0,09	0,87 ± 0,01	0,69 ± 0,03
5	0 (10)	0 (16)	46,29 ± 0,11	45,25 ± 0,22	13,28 ± 1,45	18,46 ± 0,75	4,09 ± 0,12	0,12 ± 0,01	0,91 ± 0,05	0,80 ± 0,01
6	0 (10)	0 (16)	47,34 ± 0,11	44,93 ± 0,19	16,62 ± 1,01	18,62 ± 0,76	4,21 ± 0,11	0,23 ± 0,03	0,94 ± 0,01	0,80 ± 0,01
7	0 (10)	0 (16)	46,27 ± 0,22	44,76 ± 0,23	19,45 ± 0,90	18,10 ± 0,57	4,07 ± 0,04	0,19 ± 0,01	0,88 ± 0,10	0,80 ± 0,02
8	0 (10)	0 (16)	46,42 ± 1,62	43,45 ± 0,18	18,34 ± 0,85	18,68 ± 0,69	4,04 ± 0,20	0,22 ± 0,04	0,93 ± 0,03	0,80 ± 0,01

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; CAMa = Conteúdo de água da massa (%), CAMi = Conteúdo de água do miolo (%), CACr = Conteúdo de água da crosta (%), PA = Perda de água (%), VE = Volume específico (mL/g), Du = Dureza (Kg), Ela = Elasticidade, Coe = Coesividade.

Tabela 14. Continuação da matriz do planejamento fatorial 2^2 e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de banana verde (C_{FB}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		Mst	Res	FV	AMdC	AMaC	PMC	DC
	X_1 (C_{FB})	X_2 (C_M)							
1	-1 (0)	-1 (12)	226 ± 25	$0,42 \pm 0,04$	25 ± 5	$0,47 \pm 0,11$	$0,057 \pm 0,009$	$1,9 \pm 0,3$	55 ± 4
2	+1 (20)	-1 (12)	582 ± 63	$0,32 \pm 0,03$	35 ± 3	$0,51 \pm 0,08$	$0,046 \pm 0,007$	$2,5 \pm 0,3$	71 ± 5
3	-1 (0)	+1 (20)	57 ± 11	$0,40 \pm 0,05$	38 ± 12	$0,70 \pm 0,12$	$0,054 \pm 0,008$	$2,4 \pm 0,3$	54 ± 17
4	+1 (20)	+1 (20)	437 ± 63	$0,34 \pm 0,02$	33 ± 3	$0,40 \pm 0,05$	$0,048 \pm 0$	$2,1 \pm 0,2$	83 ± 8
5	0 (10)	0 (16)	95 ± 12	$0,44 \pm 0,01$	34 ± 2	$0,61 \pm 0,09$	$0,051 \pm 0,007$	$2,4 \pm 0,3$	56 ± 6
6	0 (10)	0 (16)	155 ± 18	$0,44 \pm 0,01$	33 ± 3	$0,58 \pm 0,12$	$0,043 \pm 0,008$	$2,3 \pm 0,3$	57 ± 7
7	0 (10)	0 (16)	134 ± 21	$0,43 \pm 0,03$	30 ± 2	$0,52 \pm 0,06$	$0,051 \pm 0,007$	$2,1 \pm 0,2$	58 ± 3
8	0 (10)	0 (16)	160 ± 13	$0,44 \pm 0,02$	33 ± 2	$0,56 \pm 0,08$	$0,046 \pm 0,007$	$2,3 \pm 0,3$	60 ± 4

X_1 , X_2 variáveis independentes C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; Mst = Mastigabilidade, Res = Resiliência, FV = Fração vazia (área alveolar/área total), AMdC = Área média celular (mm²), AMaC = Área mediana celular (mm), PMC = Perímetro médio celular (mm), DC = Densidade celular (Célula/cm²).

Tabela 15. Continuação da matriz do planejamento fatorial 2² e respostas da caracterização dos pães produzidos com diferentes concentrações de farinha de banana verde (C_{FB}) e melhorador químico (C_M).

Amostra	Variáveis		L* Mi	a* Mi	b* Mi	L* Ct	a* Ct	b* Ct	Cis
	X ₁ (C _{CF})	X ₂ (C _M)							
1	-1 (0)	-1 (12)	78,3 ± 1,8	2,1 ± 0,2	20,6 ± 0,5	66,1 ± 3,7	12,9 ± 2,6	35,9 ± 2,1	57 ± 9
2	+1 (20)	-1 (12)	43,9 ± 2,0	4,0 ± 0,2	16,0 ± 0,7	48,4 ± 2,4	8,9 ± 1,0	25,9 ± 1,6	27 ± 5
3	-1 (0)	+1 (20)	64,9 ± 2,3	-0,4 ± 0,1	9,7 ± 0,5	61,3 ± 2,6	13,2 ± 1,7	39,1 ± 1,5	32 ± 4
4	+1 (20)	+1 (20)	45,2 ± 1,4	3,9 ± 0,3	15,7 ± 0,5	43,3 ± 2,8	11,0 ± 2,1	26,9 ± 1,8	28 ± 2
5	0 (10)	0 (16)	51,5 ± 1,6	2,2 ± 0,2	14,1 ± 0,9	53,7 ± 3,5	10,7 ± 1,6	32,0 ± 1,7	34 ± 7
6	0 (10)	0 (16)	58,1 ± 3,4	3,7 ± 0,3	15,5 ± 1,3	57,3 ± 2,8	10,7 ± 0,6	28,4 ± 3,2	41 ± 7
7	0 (10)	0 (16)	58,6 ± 2,2	3,6 ± 0,2	15,2 ± 0,7	57,3 ± 3,9	12,0 ± 1,4	29,6 ± 3,5	36 ± 7
8	0 (10)	0 (16)	59,2 ± 2,2	3,6 ± 0,2	15,4 ± 1,0	53,2 ± 1,2	11,8 ± 1,9	32,0 ± 1,6	37 ± 6

X₁, X₂ variáveis independentes C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha total); C_M = concentração de melhorador químico (g/ 1200 g de farinha total); (-1), (0), (+1) = valores codificados do planejamento experimental; L* Mi = L* do miolo, a* Mi = a* do miolo, b* Mi = b* do miolo, L* Ct = L* da crosta, a* Ct = a* da crosta, b* Ct = b* da crosta, Cis = Força de Cisalhamento (N).

Figura 9. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: fração vazia, área média celular, perímetro médio celular e densidade celular, efeito da concentração de farinha de banana verde e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 10. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: parâmetro de cor a*, b* e L* do miolo, efeito da concentração de farinha de banana verde e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 11. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: parâmetro de cor a*, b* e L* do miolo, efeito da concentração de farinha de banana verde e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 12. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: perda de água, volume específico e força de cisalhamento, efeito da concentração de farinha de banana verde e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Tabela 16. Coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para as diferentes variáveis dependentes avaliadas, em função das variáveis independentes concentração de farinha de banana verde (β_1) e concentração de melhorador (β_2).

Resposta	β_0	β_1	β_2	β_{12}	R^2	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado1}}$ ($p=0,05$)	$F_{\text{falta de ajuste}}$	$F_{\text{tabelado2}}$ ($p=0,05$)
Fração vazia	32,50*	1,75*	2,86*	-3,94*	0,94	22,66	6,59	0,30	10,13
Área média celular	0,54*	-0,05	0,05	-0,10*	0,83	7,55	5,99	6,91	9,28
Perímetro médio	2,24*	0,09	0,05	-0,24*	0,81	13,10	5,99	0,78	9,28
Densidade celular	62,12*	10,22*	1,85	4,37	0,75	9,72	5,99	26,93	9,28
Perda de água	18,43*	-1,94*	1,34*	-1,16*	0,99	172,90	6,59	0,13	10,13
Volume específico	3,86*	-1,31*	0,70*	-0,60*	0,95	27,97	6,59	86,67	10,13
Força cisalhamento	36,58*	-8,47*	-5,76*	6,54*	0,96	31,64	6,59	0,16	10,13
L* miolo	57,48*	-13,53*	-3,04	3,68	0,95	33,12	5,99	2,44	9,28
a* miolo	2,84-	1,58*	-0,67	0,60	0,81	9,53	5,99	3,27	9,28
b* miolo	15,28*	0,35	-2,79*	-2,65*	0,95	66,14	5,79	0,99	9,55
L* crosta	55,07*	-8,95*	-2,45	-0,06	0,96	48,22	5,99	1,63	9,28
a* crosta	11,41*	-1,54*	0,61	0,43	0,81	15,45	5,99	1,73	9,28
b* crosta	31,22*	-5,56*	1,06	-0,56	0,90	37,70	5,99	1,01	9,28

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado1}}$: modelo significativo;

$F_{\text{falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado2}}$: modelo significativo e preditivo, $p < 0,05$ (95 % de confiança);

* Indica significância a 95% de intervalo de confiança.

6.3.1. Conteúdo de água: massa, miolo e crosta

Na faixa de concentração estudada, as relações de C_{FB} , C_M e $C_{FB} \times C_M$ não apresentaram efeito significativo sobre as respostas de conteúdo de água da massa, do miolo e da crosta (Anexo 3).

6.3.2. Perda de água durante o assamento

Os tratamentos estatísticos para avaliação dos efeitos principais e de interações, para determinação dos coeficientes de regressão do modelo linear e a análise de variância para a resposta, perda de água durante o assamento foi realizada a partir dos resultados apresentados na Tabela 13. Observou-se que a concentração de farinha de banana verde e de melhorador, e sua interação apresentaram efeito significativo sobre a resposta perda de água durante o assamento (Tabela 16). A partir dos coeficientes de regressão, pode-se gerar o modelo linear para a resposta de perda de água durante o assamento (Equação 14).

$$\text{Perda de água (\%)} = 18,43 - 1,94 * C_{FB} + 1,34 * C_M - 1,16 * C_{FB} * C_M \quad (14)$$

Onde C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

Através da Equação 14, pode-se observar que quanto maior a concentração de farinha de banana verde, menor foi a perda de água. Este efeito pode estar associado com os elevados níveis de amido resistente normalmente apresentados na farinha de banana verde (PACHECO-DELAHAYE; TESTA, 2005), variando de 19 a 17 % de perda de água. Em relação à concentração do melhorador, observa-se que este também afetou a resposta perda de água durante o assamento, sendo que quanto maior o teor de melhorador, maior a perda de água. À medida que a farinha de banana verde é adicionada observou-se que o melhorador perdeu efeito para esta variável, sendo que para os pães produzidos com a maior concentração de farinha de banana verde (20 g/100 g de farinha de trigo), a porcentagem de perda de água foi < 17 % independente da concentração de melhorador.

Mohamed, Xu e Singh (2010) utilizaram farinha de banana verde para substituir 10, 15, 20, 25 e 30 % de farinha de trigo em pão fermentado com levedura. Os resultados mostraram que a medida que o teor de farinha de banana verde aumentou, também aumentou a capacidade de absorver água da massa, porém diminuiu a tolerância à mistura

No estudo proposto por Mohamed, Xu e Singh (2010), farinha de banana verde foi utilizada para substituir 10, 15, 20, 25 e 30 % de farinha de trigo em pão fermentado com levedura. Os autores verificaram que a adição de farinha de banana promoveu o aumento da capacidade de absorver água da massa a retenção de água, e atribuíram este fato à presença de

fibras, açúcares e potássio na composição da farinha de banana. Dessa forma, pode-se associar que os menores valores de perda água para os pães franceses produzidos com farinha de banana verde podem estar associados aos elevadores teores de amido resistente e fibras.

6.3.3. Volume específico

Observou-se que para a resposta volume específico, a C_{FB} , C_M e sua interação apresentaram efeito significativo (Tabela 16). Porém, o modelo linear gerado não foi significativo e preditivo ($F_{\text{Falta de ajuste}} > F_{\text{tabelado2}}$) (Tabela 16).

Apesar do modelo gerado não ser significativo e preditivo, pode-se observar o aumento da concentração de farinha de banana verde provocou redução significativa no volume específico dos pães. Este efeito era esperado pela diminuição do teor e força do glúten, e consequentemente provável diminuição da retenção de gás carbônico pela massa. Nas concentrações estudadas de farinha de banana verde o volume específico diminuiu de 3,5 a 2,5 mL/g (Figura 19).

Por outro lado, de maneira geral, o aumento da concentração de melhorador provocou aumento nos valores de volume específico do pão (3,5 – 7 mL/g), provavelmente devido à maior hidrólise de amido pela presença de amilases no melhorador, o que levou a uma fermentação mais ativa, havendo mais CO_2 formado, ou seja, maior volume do pão.

O estudo de De Oliveira et al. (2015) obteve resultados similares, ou seja, o aumento da substituição de farinha de trigo por farinha de banana verde (0-30%) acarretou em uma diminuição do volume específico dos pães produzidos (4,0 – 2,4 cm³/g).

No estudo de Sarawong et al. (2014b) a adição de 25% farinha de banana verde em pães sem glúten, produzido com farinha de arroz, mostrou um aumento significativo (aproximadamente 7 %) no volume dos pães controle, sem a farinha de banana verde. Este estudo também demonstrou que concentrações de farinha de banana verde entre 30-35% provocaram uma redução no volume. Estes resultados são contrários aos obtidos provavelmente devido a ter como controle o pão elaborado com farinha de arroz, já que estes não contêm glúten, responsável pela retenção de gás carbônico o que afeta diretamente o volume. Assim, espera-se uma redução do volume final do pão de farinha de trigo substituído com farinha de banana verde, o que por sua vez terá efeito em outros parâmetros, como textura, porosidade e perda de água dos pães produzidos.

6.3.4. Perfil de Textura

Na faixa de concentração estudada, as variações de C_{FB} , C_M e interação $C_{FB} \times C_M$ não apresentaram efeito significativo sobre todos os parâmetros de textura (dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade e resiliência) (Anexo 3).

Apesar dos efeitos não serem significativos nos parâmetros de textura dos pães, pode-se observar que os valores médios apresentados permaneceram próximos a valores previamente reportados na literatura.

A média da dureza dos pães obtidos na faixa de concentrações estudada foi de $0,35 \pm 0,31$ Kg (referente a $3,43 \pm 3,04$ N). Na literatura, verificou-se que pães produzidos com 10 e 20% de farinha de banana verde apresentaram valores de dureza de $0,85 \pm 0,1$ N e $1,53 \pm 0,26$ N, respectivamente (ZUWARIAH; AZIAH, 2009), menores que os resultados obtidos.

O valor médio da elasticidade obtida neste estudo foi de $0,91 \pm 0,03$, sendo bem maior do que a elasticidade obtida por Zuwariah e Aziah (2009) para pães com 10 e 20 % de farinha de banana verde, $0,38 \pm 0,11$ e $0,45 \pm 0,25$ mm, respectivamente.

A coesividade apresentou valor médio de $0,77 \pm 0,06$, muito semelhante aos valores obtidos por Zuwariah e Aziah (2009) para os pães com 10 e 20 % de farinha de banana verde, $0,76 \pm 0,02$ e $0,68 \pm 0,04$, respectivamente.

Já a média dos valores obtidos para a resiliência foi de $0,40 \pm 0,05$, valor pouco superior aos obtidos por Zuwariah e Aziah (2009), $0,02 \pm 0,01$ e $0,02 \pm 0,03$, para os pães com 10 e 20 % de farinha de banana verde respectivamente.

6.3.5. Força máxima de cisalhamento

Na faixa estudada, observou-se que as relações de C_{FB} , C_M e $C_{FB} \times C_M$ apresentaram efeito significativo sobre a resposta de força máxima de cisalhamento (Tabela 16). A partir dos coeficientes de regressão, pode-se gerar o modelo linear codificado para a resposta de força máxima de cisalhamento (Equação 15).

$$\text{Força máxima de cisalhamento} = 36,58 - 8,47 * C_{FB} - 5,76 * C_M + 6,54 * C_{FB} * C_M \quad (15)$$

Onde C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

A concentração de farinha de banana verde e de melhorador tiveram um grande efeito em relação à força de cisalhamento, sendo que quanto maior a concentração de farinha de banana verde e/ou do melhorador menor a força de cisalhamento, variando de 57 a 27 N, ou seja, um efeito considerável na textura dos pães, produzindo pães menos resistentes ao corte. No entanto, a interação das duas variáveis teve o efeito contrário, assim, a utilização do melhorador teve efeito dependente da concentração da farinha de banana verde, pois em concentrações baixas de farinha de banana verde a adição de concentrações maiores de melhorador ocasionou uma diminuição na força de cisalhamento, por outra parte, em concentrações elevadas de farinha de banana verde, a força de cisalhamento aumentou à medida que a concentração do melhorador aumentou.

Como no caso das outras farinhas, a presença de emulsificantes no melhorador e as fibras da farinha de banana verde fazem com que a crosta retenha maior teor de água, deixando o pão menos crocante, ou seja, com uma força de cisalhamento menor.

6.3.6. Porosidade do miolo

As respostas de porosidade do miolo, fração vazia, área média celular, área mediana celular, perímetro médio celular e densidade celular, são obtidas por meio de uma análise digital das imagens de escâner de uma secção transversal dos pães. Na Figura 13 apresentam-se exemplos dessas imagens de pães com 0%, 10% e 20% de substituição parcial de farinha de banana verde, respectivamente.

Para as respostas fração vazia, área média celular, perímetro médio celular e densidade celular, apresentaram efeitos significativos (Tabela 16). Assim, foram realizados os tratamentos estatísticos para avaliação da significância e preditividade dos modelos, sendo os modelos lineares gerados para as respostas fração vazia, área média celular e densidade celular significativos e preditivos (Tabela 16).

Figura 13. Imagens de escâner da secção transversal de pães com substituição parcial de farinha de banana verde.

a) Secção transversal do pão com 0% de farinha de banana verde

b) Secção transversal do pão com 10% de farinha de banana verde

c) Secção transversal do pão com 20% de farinha de banana verde

Para a resposta fração vazia, na faixa estudada, verificou-se que a C_{FB} , a C_M e a interação $C_{FB} \times C_M$ apresentaram efeito significativo sobre a resposta de fração de vazio (Tabela 16). Já para a resposta área média celular e perímetro médio, na faixa estudada, as relações de C_{FB} e C_M não apresentaram efeito significativo, enquanto a interação de $C_{FB} \times C_M$ afetou significativamente esta resposta (Tabela 16). As Equações 16, 17 e 18, representam os modelos gerados para as respectivas respostas.

$$\text{Fração vazia} = 32,50 + 1,75 * C_{FB} + 2,86 * C_M - 3,94 * C_{FB} * C_M \quad (16)$$

$$\text{Área média celular (mm}^2\text{)} = 0,54 - 0,10 * C_{FB} * C_M \quad (17)$$

$$\text{Perímetro médio (mm)} = 2,24 - 0,24 * C_{FB} * C_M \quad (18)$$

Onde C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

No caso da fração vazia, quanto maior a concentração de farinha de banana verde e melhorador maior a porcentagem de fração vazia no miolo. Por outro lado, a interação das duas variáveis teve efeito contrário, diminuindo a fração vazia, no entanto os valores ainda estiveram bem maiores do que os do pão francês tradicional.

No caso da área média celular e perímetro médio, a interação $C_{FB} \times C_M$ afetou significativamente as respostas, observando-se que concentrações intermediárias de farinha de banana verde (10%) em conjunto com níveis médios de melhorador (16g) podem produzir pães com área média celular e perímetro médio próximo ao do pão controle (feito apenas com farinha de trigo).

6.3.7. Cor do miolo e da crosta

A partir dos resultados apresentados na Tabela 15 foram realizados os tratamentos estatísticos para avaliação dos efeitos principais e de interações, para determinação dos coeficientes de regressão do modelo linear e a análise de variância para os parâmetros de cor de luminosidade L^* , chroma a^* e chroma b^* do miolo e da crosta.

Para o parâmetro de cor de luminosidade L^* do miolo as relações de C_M e $C_{FB} \times C_M$ não apresentaram efeito significativo, porém, a relação C_{FB} afetou significativamente esta resposta (Tabela 16). Para o parâmetro de cor chroma a^* do miolo, foi observado que na faixa de concentração estudada, apenas a C_{FB} apresentou efeito significativo sobre a resposta (Tabela 16), enquanto que para o parâmetro de cor chroma b^* do miolo a C_M e a interação de $C_{FB} \times C_M$ apresentaram efeito significativo sobre a resposta (Tabela 16).

A partir dos coeficientes de regressão, foram gerados os modelos lineares codificados para os parâmetros de cor de luminosidade L^* , chroma a^* e chroma b^* do miolo (Equações 16, 17 e 18).

$$L^* \text{ miolo} = 57,48 - 13,53 * C_{FB} \quad (16)$$

$$a^* \text{ miolo} = 2,84 + 1,58 * C_{FB} \quad (17)$$

$$b^* \text{ miolo} = 15,28 - 2,79 * C_M - 2,65 * C_{FB} * C_M \quad (18)$$

Onde C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

O parâmetro de cor de luminosidade do miolo diminuiu com o aumento da concentração de farinha de banana verde, o que pode ser explicado pelo alto conteúdo de fibras e amido resistente que proporcionam uma coloração mais escura em geral. Para este parâmetro a concentração de melhorador químico foi indiferente. Resultados compatíveis aos obtidos por De Oliveira et al. (2015), onde o aumento da concentração de farinha de banana levou a um miolo mais escuro.

De acordo com a Eq. (18), observa-se que a concentração de melhorador teve um efeito significativo do parâmetro b^* do miolo, ou seja, o aumento da concentração provocou uma diminuição no chroma b^* do miolo variando de 22 a 8 aproximadamente; o que representa uma diminuição na cor amarelo. Da mesma forma, a interação de C_M e C_{FB} também teve efeito sobre

o chroma b^* do miolo. Ressalta-se que em todas as condições testadas o valor do parâmetro permaneceu positivo, indicando a sua tonalidade amarelada.

De Oliveira et al. (2015) também mostraram que quando substituída a farinha de trigo pela farinha de banana verde em pães o valor do parâmetro b^* diminui significativamente, no entanto, nas três concentrações de substituição testadas por estes autores (10, 20 e 30 %) os valores de b^* não diferiram significativamente entre si, não havendo uma tendência clara.

No estudo de Ho, Aziz e Azahari (2013) quando substituído 10 % da farinha de trigo por farinha de banana verde o valor do parâmetro aumentou significativamente, porém, ressalta-se que o valor do parâmetro b^* do pão controle (tradicional) apresentou um valor muito abaixo ao obtido, podendo ser diferenças relacionadas ao equipamento/análise.

A seguir estão apresentados os parâmetros de cor da crosta. Para o parâmetro luminosidade L^* , chroma a^* e chroma b^* da crosta, observou-se que na faixa estudada, apenas a C_{FB} teve efeito significativo nos parâmetros de cor da crosta. A partir dos coeficientes de regressão, foram gerados os modelos lineares codificados para os parâmetros de cor de luminosidade L^* , chroma a^* e chroma b^* da crosta (Equações 19, 20 e 21).

$$L^* \text{ crosta} = 55,07 - 8,95 * C_{FB} \quad (19)$$

$$a^* \text{ crosta} = 11,41 - 1,55 * C_{FB} \quad (20)$$

$$b^* \text{ crosta} = 31,22 - 5,56 * C_{FB} \quad (21)$$

Onde C_{FB} = concentração de farinha de banana verde (g/ 100g de farinha de trigo); C_M = concentração de melhorador (g/ 1200 g de farinha total).

De acordo com a Eq. (19), observa-se que quanto maior concentração de farinha de banana verde menor o valor de luminosidade, ou seja, o pão apresentou-se mais escuro, devido provavelmente a sua composição química. A mesma relação entre a adição de farinha de banana verde e luminosidade da crosta foram observados no estudo de De Oliveira et al. (2015). Comparando os valores da luminosidade do miolo e da crosta, observa-se que a crosta tem valores menores para a luminosidade, ou seja, a crosta é mais escura que o miolo, como esperado. Observação compatível com os dados obtidos por De Oliveira et al. (2015).

A Eq. (20), mostra que uma maior concentração de farinha de banana verde ocasionou um menor valor do parâmetro de cor chroma a^* , ou seja, menos avermelhado o pão ficou. No estudo de De Oliveira et al. (2015) também foi constatado que a substituição de farinha de trigo

por farinha de banana verde ocasionou a diminuição do parâmetro de cor chroma a^* , ou seja, os pães apresentaram baixa tendência a cores avermelhadas.

No caso do chroma b^* a concentração de farinha teve efeito negativo, ou seja, quanto maior a concentração de farinha menor a magnitude deste parâmetro, variando de 36 a 22, ou seja, menos amarelado a crosta do pão produzido. Porém, ressalta-se que todos os dados obtidos foram positivos e altos, indicando que a coloração tende a cores amareladas, só que essa tendência é diminuída com a concentração de farinha de banana verde.

O estudo de Sarawong et al. (2014b) mostrou que o pão com mais água é mais escuro, pois a luminosidade da crosta (L^*) foi reduzida. Os pães produzidos com farinha de banana verde apresentaram menor perda de água durante o assamento (Seção 6.3.2.), de modo que os resultados poderiam ser análogos. No entanto, o mesmo estudo mostrou que a adição de água aumentou o parâmetro de cor chroma b^* da crosta (ficaram mais avermelhados), neste caso, os resultados obtidos neste trabalho foram opostos. O estudo de De Oliveira et al. (2015) apresentou valores para o parâmetro de cor chroma b^* da crosta de pães produzidos com diferentes teores de farinha de banana verde variáveis, sem uma tendência definida com o aumento de farinha de banana verde, porém para todas as formulações estes valores foram positivos, mostrando assim a presença de cores amareladas e/ou douradas.

6.3.8. Conclusões parciais sobre a utilização da farinha de banana verde

A substituição de farinha de trigo por farinha de banana verde no estudo fatorial 2^2 , sendo as concentrações de farinha e de melhorados químico as variáveis independentes teve como parâmetros de respostas significativos e preditivos: perda de água durante o assamento, fração vazia, área média celular, perímetro médio celular, força de cisalhamento, parâmetros de cor L^* , a^* e b^* da crosta e do miolo.

Em geral, os pães produzindo com farinha de banana verde apresentaram menor perda de água durante o assamento, maior fração vazia, menor área média celular e perímetro médio celular, sendo mais escuros, tanto no miolo como na crosta, porém menos amarelados e avermelhados, ou seja, deixando os pães com uma cor marrom escura.

A substituição de farinha de trigo por farinha de banana verde é possível, havendo melhores resultados quando a substituição é até um 10 %, podendo assim produzir pães com maior valor nutricional (maior teor de fibra e amido resistente) e mantendo as características

semelhantes ao pão francês tradicional, equilibrando principalmente as variações do volume específico, cor do miolo e crosta e a porosidade do miolo.

6.4. Comparação das farinhas utilizadas para substituição da farinha de trigo

De acordo com os resultados apresentados nas seções anteriores, foi possível observar que a substituição parcial da farinha de trigo por farinha de banana verde, de milho e de arroz é possível, porém existem mudanças nas características físicas e nutricionais dos pães produzidos, principalmente pela falta de glúten na composição.

Dentre as propriedades afetadas as mais relevantes são (I) a mudança de cor, podendo ser mais ou menos pronunciado dependendo diretamente do conteúdo de pigmentos ou alto teor de fibras; neste caso a farinha de arroz por ter coloração branca semelhante a farinha de trigo acarretou em menores alterações; (II) a diminuição do volume específico do pão à medida que aumenta a quantidade de substituição de farinha de trigo, pois o teor de glúten é reduzido, enfraquecendo a rede e perdendo a capacidade de retenção do gás carbônico formado durante a fermentação. O pão francês tradicional apresenta valores de volume específico ao redor de 6 mL/g, a diferença com o volume específico dos pães produzidos na maior substituição avaliada para cada farinha e menor concentração de melhorador foi muito grande, sendo a farinha de arroz a menos diferente. O estudo de Sabanis e Tzia (2009) produziu pães com diferentes concentrações de farinha de arroz (0-50%), os resultados mostraram que à medida que a concentração de farinha sem glúten aumenta, o volume específico diminui. O estudo de Hager et al. (2012) comparou pães de diferentes farinhas sem glúten (arroz, aveia, quinoa, milho, sorgo) com pães a base de farinha de trigo, neste caso não se trata de uma substituição parcial e sim total, porém os resultados podem ser associados. Neste estudo, foi verificado que a produção de pães com farinhas sem glúten tem volume específico menor devido à baixa retenção de gás carbônico pela ausência do glúten, ou no caso a diminuição do teor de glúten. Dentre os parâmetros da textura, (III) a dureza é o mais afetado, sendo os valores obtidos para este parâmetro cerca de 10 vezes maior para a maior concentração de substituição parcial do que para o pão francês tradicional. Entre as farinhas não existe muita diferença, sendo o pão com farinha de milho, nessas condições, o menos duro; (IV) o tamanho dos alvéolos é outro parâmetro muito importante para a textura do pão e muito afetado pela substituição da farinha de trigo, pois tem relação direta com a retenção do gás carbônico produzido pelas leveduras, com a fração vazia tem se uma estimativa do tamanho dos alvéolos, para o pão francês

tradicional esta fração é aproximadamente 35 (área alveolar/área total), não sendo diferente ao valor obtido para a farinha de banana verde, por outro lado, as frações vazias dos pães produzidos com farinha de milho e arroz foram menores, 25 e 22 (área alveolar/área total), respectivamente.

Estas mudanças ocorreram principalmente pela diferença na composição de cada farinha. A Tabela 17 apresenta a composição centesimal da farinha de trigo, milho, arroz e de banana verde.

Tabela 17. Composição centesimal da farinha de trigo, milho, arroz e de banana verde.

Composição	Farinha de Trigo	Farinha de Milho	Farinha de Arroz	Farinha de Banana Verde
Umidade (%)	13,0	11,8	12,7	6,9
Proteínas (%)	9,8	7,2	1,3	3,60
Lipídeos (%)	1,4	1,5	0,3	0,89
Carboidratos (%)	75,1	79,1	85,5	78,58
Fibras (%)	2,3	5,5	0,6	7,2
Cinzas (%)	0,8	0,5	0,2	3,14

Fonte: Para a farinha de trigo, de milho e de arroz os dados foram adaptados da tabela “Em Alimentação (2011). Para a farinha de banana verde os dados foram adaptados de Menezes et al., 2011.

Como pode ser observado na Tabela 17 em comparação com a farinha de trigo a farinha de milho tem um pouco menos umidade e proteínas, porém maior teor de carboidratos e mais que o dobro de fibra. O fato de ter um maior conteúdo de carboidratos, que basicamente é amido e fibras, faz com que a massa de pão absorva maior quantidade de água, aumentando a gelatinização do amido, o que finalmente leva a uma crosta menos crocante, ou seja, uma força de cisalhamento menor. O aumento de fibras na composição tende a deixar o pão mais denso e por tanto mais duro, como foi observado nos resultados.

Por outro lado, a farinha de arroz apresentou teores de proteínas e fibras muito baixos, sendo composto majoritariamente por amido. Neste caso foi observado novamente o fato que o maior teor de amido pode ter deixado a crosta mole, devido à maior gelatinização deste. No entanto, nutricionalmente, é uma farinha mais pobre do que a de milho e de banana verde.

A farinha de banana verde apresenta uma umidade muito baixa, maior teor de carboidratos e um teor de fibras elevado. A principal dificuldade tecnológica encontrada quando trabalhado com a farinha de banana de trigo, está diretamente relacionado com o seu alto teor de fibras, o que leva a uma absorção de água muito alta. Como a quantidade de água foi mantida

constante na produção dos pães, estes ficaram muito menores, mais densos e, portanto, mais duros.

Como foi possível observar, a composição centesimal varia entre cada farinha, produzindo pães com diferentes propriedades e características, sendo algumas mais fáceis de trabalhar, como os produzidos com farinha de arroz ou sendo um verdadeiro desafio tecnológico, como foi o caso da substituição com farinha de banana verde. Porém, foram obtidos pães com um perfil nutricional muito mais rico. Poderia se dizer, nestes parâmetros que a farinha de milho foi uma farinha muito interessante de aplicar, pois tecnologicamente foi bastante versátil e nutricionalmente tem um perfil nutricional melhor do que a da farinha de arroz.

7. Conclusão

A substituição parcial da farinha de pelas farinhas de milho, de arroz e de banana verde, separadamente, foi possível e nas concentrações de 20, 25 e 10 %, respectivamente, foram obtidos pães com características mais semelhantes aos pães franceses tradicionais.

A partir do planejamento fatorial 2^2 , tendo como variáveis independentes as concentrações de farinha substituta e de melhorador químico, foi possível notar que, em geral, a concentração de farinha substituta teve uma maior influência do que a concentração do melhorador químico. Das 66 respostas avaliadas (22 de cada farinha) apenas 23 respostas foram significativas e preditivas, indicando que as variáveis escolhidas, principalmente a concentração do melhorador, não teve influência em grande parte das respostas, assim como a interação das duas variáveis independentes.

Uma perspectiva para este estudo seria avaliar o efeito da substituição parcial das farinhas, sem a variação da concentração do melhorador, durante o processo de assamento. Dessa forma, uma melhor compreensão dos mecanismos de formação da estrutura alveolar do produto poderia ser melhor caracterizada

8. Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, E. L.; CHANG, Y. K. Effect of the addition of enzymes on the quality of frozen pre-baked French bread substituted with whole wheat flour. **LWT-Food Science and Technology**, v. 49, p. 64-72, 2012.
- ALPASLAN, M.; HAYTA, M. the effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. **Journal of Food Quality**, v. 29, p. 617–627, 2006.
- AMMAR, M.S.; HEGAZY, A.E.; BEDEIR, S.H. Using of Taro Flour as Partial Substitute of Wheat Flour in Bread Making. **World Journal of Dairy & Food Sciences**, v. 4, n.2, p. 94-99, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MILHO. **A dimensão do milho no mundo**. Brasília, DF: ABRAMILHO, 2010. Disponível em: <<http://www.abramilho.org.br/noticias.php?cod=975>>. Acesso em: 13 mar. 2015.
- ARÁMBULA, V. G. et al. Corn Masa and Tortillas from Extruded Instant Corn Flour Containing Hydrocolloids and Lime. **Journal of Food Science**, v. 64, p. 120-124, 1999.
- BAGHURST, K. I.; BAGHURST, P. A.; RECORD, S. J. **Dietary fibre, nonstarch polysaccharide and resistant starch intakes in Australia**. In: Spiller G. A. Handbook of dietary fibre in human health. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001. p. 583-591.
- BENASSI, V.T; WATANABE, E. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CTAA, 1997.
- BLANCO, C. A. et al. Improving gluten-free bread quality by enrichment with acidic food additives. **Food Chemistry**, v. 127, p. 1204–1209, 2011.
- BRITES, C. et al. Maize-Based Gluten-Free Bread: Influence of Processing Parameters on Sensory and Instrumental Quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, p. 707-715, 2010.
- CALEGARI, L.; LOMBARDI, M. **Preço do pãozinho chega a subir 22% no país; em SP, unidade sai por R\$ 0,60**. Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2013/10/09/preco-do-paozinho-frances-ja-acumula-alta-de-14-em-um-ano.htm>>. Arquivo capturado em: 13 de dezembro de 2013.

- CAPRILES, D. V.; ARÊAS, G. A. J. Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, p. 871-890, 2014.
- CARR, L. G. et al. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **LWT-Food Science and Technology**, v. 39, p. 540-547, 2006.
- CHEW, B.P. et al. Dietary lutein inhibits mouse mammary tumor growth by regulating angiogenesis and apoptosis. **Anticancer Research**, v. 23, p. 3333–3339, 2003.
- CHUNG, H.J.; CHO, A.; LIM, S.T. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. **Food Science and Technology**, v.57, p. 260-266, 2014.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de Safra Brasileira: grãos**, v. 3- Safra 2015/16 - Primeiro Levantamento, p. 119, Brasília, DF: CONAB, 2015.
- _____. **Acompanhamento de Safra Brasileira: grãos**, v. 3- Safra 2015/16 – Quarto Levantamento, p. 14, 18, 123, Brasília, DF: CONAB, 2016.
- CONFORTI, F.D; DAVIS, S.F. The effect of soya flour and flaxseed as a partial replacement for bread flour in yeast bread. **International Journal of Food Science and Technology**, v.41, p. 95-101, 2006.
- CROWLEY, P.; GRAU, H.; ARENDT, E. K. Influence of additives and mixing time on crumb grain characteristics of wheat bread. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 370–375, 2000.
- CRUZ, R. S.; KOBLITZ, M. G. B. **Grãos, Cereais e Leguminosas**. In: KOBLITZ M. G. B. **Matérias-primas Alimentícias: Composição e Controle de Qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- DE OLIVEIRA, D.A.S.B. et al. Avaliação da qualidade de pão com adição de farinha e purê da banana verde. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.37, n.3, p. 699-707, 2015.
- DEMIRALP, H; CELIK, S; KOKSEL, H. Effects of oxidizing agents and defatting on the electrophoretic patterns of flour proteins during dough mixing. **European Food Research Technology**, v. 211, p.322-325, 2000.

EM ALIMENTAÇÃO, Pesquisas. Tabela brasileira de composição de alimentos. In: **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA-UNICAMP, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo da Banana para o Estado de Rondônia**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2003. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaRondonia/>>.

Acesso em: 13 mar. 2015.

FARRERA-REBOLLO, R. R. et al. Evaluation of Image Analysis Tools for Characterization of Sweet Bread Crumb Structure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 474–484, 2012.

FAULKS, R.M; SOUTHON S. Carotenoids, metabolism and disease, in **Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods**, editado por WildmanEC. CRC Press, Boca Raton, Washington, 2001, p. 221–238.

FENDRI, L.B. et al. Wheat bread enrichment by pea and broad bean pods fibers: Effect on dough rheology and bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, p. 584-591, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - STATISTICS DIVISION. Estados Unidos: FAOSTAT, 2013. Disponível em:

<<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

_____ Estados Unidos: FAOSTAT, 2015. Disponível em:

<<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 19 jan. 2016.

_____ Estados Unidos: FAOSTAT, 2017. Disponível em:

<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 4 jan. 2017.

FUNDAÇÃO DE PROTEÇÃO E DEFESA DO CONSUMIDOR. **Pesquisa comparativa de preços – Pão Francês**. Campinas, SP: PROCON, 2015. Disponível em:

<<http://www.procon.campinas.sp.gov.br/sites/default/files//arquivos-pesquisa/Relat%C3%B3rio%206%C2%AA%20coleta%20dados%20-%20Jun2015.pdf>>.

Acesso em: 21 jan. 2016.

GERALDO, N. A Tribuna: **Alta do dólar poderá deixar o pão francês ainda mais caro**.

23/09/2015. Disponível em: <<http://www.atribuna.com.br/noticias/noticias->

detalhe/cidades/alta-do-dolar-podera-deixar-o-pao-frances-ainda-mais caro/?cHash=f5704796145d8a21b26920c2a609d2be>. Acesso em: 19 out 2015.

GISSLEN, W. **Professional Baking**. 3. ed. Editora Wiley, p. 672, 2000.

GOESAERT, H. et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v.16, p. 12-30, 2005.

GOMEZ, M. et al. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 167-173, 2007.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade Industrial de Trigo**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa – CNTP, 1996.

HADNAÏEVA, T.D; TORBICA, A; HADNAÏEV, M. Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crops assessed by Mixolab. **Procedia Food Science**, v.1, p. 328-334, 2011.

HAGER, A. S.; BOSMANS, G. M.; DELCOUR, J. A. Physical and Molecular Changes during the Storage of Gluten-Free Rice and Oat Bread. **Agriculture Food Chemistry**, v. 62, p. 5682–5689, 2014.

HAGER, A.S. et al. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. **European Food Research and Technology**, v.235, p. 333–344, 2012.

HALLÉN, E.; İBANOĞLU, S.; AINSWORTH, P. Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 177–184, 2004.

HASLINDA, W. H. et al. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminatabalbisiana Colla cv. Awak*) flour. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, p. 232 – 239, 2009.

HO, L.H.; AZIZ, N.A.A.; AZAHARI, B. Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata X balbisiana cv. Awak*) pseudo-stem flour. **Food chemistry**, v.139, p. 532-539, 2013.

HYUN-JUNG, C.; AHRA, C.; SEUNG-TAIK, L. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. **Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 260–266, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 – POF**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2010.

_____. **Séries Históricas e Estatísticas**. IBGE, 2015. Disponível em:

<<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?t=lavourapermanente&vcodigo=PA9>>.

Acesso em: 19 mar. 2016.

JUAREZ-GARCIA, E. et al. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. **Plant Foods Human Nutrition**, v. 61, p. 131-137, 2006.

KADAN, R.S. et al. Texture and other Physicochemical Properties of Whole Rice Bread. **Food Chemistry and Toxicology**, v.66, n. 7, p. 940-944, 2001.

KUHNEN, S. et al. Carotenoid and anthocyanin contents of grains of Brazilian maize landraces. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 91, p. 1548-1533, 2011.

LARA, E.; CORTÉS, P.; PEREZ, M. Structural and physical modifications of corn biscuits during baking process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 622-630, 2011.

LUHOVYY, B.L. et al. The Effects of Whole Grain High-Amylose Maize Flour as a Source of Resistant Starch on Blood Glucose, Satiety, and Food Intake in Young Men. **Journal of Food Science**, v. 79, p. H2550- H2556, 2014.

MATSUDA, L.Y. **Concentração de amido resistente em pão francês pré-assado congelado: aspectos tecnológicos**. Tese (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MELO, T. Midiamax: **Preço do pão francês deve subir a partir de setembro**. 05/08/2015 13h03 - Atualizado em 05/08/2015 15h23. Disponível em: <<http://www.midiamax.com.br/cotidiano/preco-pao-frances-deve-subir-partir-setembro-269135>>. Acesso em: 10 de nov. 2015

MENEZES, E.W. et al. Chemical composition and nutritional value of unripe banana flour (*Musa acuminata*, var. *Nanica*). **Plant Foods Hum Nutr**, v. 66, p. 231-237, 2011.

MOHAMED, A.; XU, J.; SINGH, M. Yeast leavened banana-bread: formulation, processing, colour and texture analysis. **Food Chemistry**, v.118, n.3, p. 620–626, 2010.

MOHAMMED, I.; AHMED, A.R.; SENGE, B. Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends. **Industrial Crops and Products**, v. 36, p. 196–202, 2012.

MONDAL, A.; DATTA, A. K. Bread baking – A review. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 465–474, 2008.

OLAOYE, O.A.; ADE-OMOWAYE, B.I.O. **Composite Flours and Breads: Potential of Local Crops in Developing Countries**. In: PREEDY, V.; ROSS, R.; PATEL, W.V. *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Academic Press, 2011. Cap 17, p. 183–192.

OLAOYE, O.A.; ONILUDE, A.A.; IDOWU, O.A. Quality characteristics of bread produced from composite flours of wheat, plantain and soybeans. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 11, p. 1102-1106, 2006.

OZOLA, L.; STRAUMITE, E.; KLAVA, D. **Extruded maize flour effect on the quality of gluten-free bread**. In: Conference Proceedings, 6th Baltic Conference on Food Science and Technology: Innovations for Food Science and Production, Foodbalt, p. 131-136, 2011.

PACHECO-DELAHAYE, E; TESTA, G. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. **Interciencia**, v.30, n.5, p. 300-304, 2005.

PĂUCEAN, A.; MAN, S. Influence of defatted maize germ flour addition in wheat: maize bread formulations. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologie**, v. 19, n.3, p. 298-304, 2013

PEREIRA, K. D. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 88-92, 2007.

PICAZO, S. M. et al. Inorganic and Total Arsenic Contents in Rice-Based Foods for Children with Celiac Disease. **Journal of Food Science**, v. 79, p. T122-T128, 2014.

PIRES, C. V. et al. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 179-187, 2006.

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA ALIMENTAÇÃO, CONFEITARIA E PANIFICAÇÃO. **Aumenta o consumo do pão no país**. Brasília, DF: PROPAN, 2013. Disponível em: <<http://www.propan.com.br/noticia.php?id=1212#.UyZMpai-2So>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

_____. **Alta do dólar deve elevar preço do pãozinho**. Brasília, DF: PROPAN, 2015. Disponível em: <<http://www.propan.com.br/noticia.php?id=1382#.VS5QBvmG9VY>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

RABELO, S. F. et al. Development of cassava doughnuts enriched with *Spirulina platensis* biomass. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.16, p. 42–51, 2013.

RAHAIE, S. et al. Recent developments on new formulations based on nutrient-dense ingredients for the production of healthy-functional bread: a review. **Journal of Food Science & Technology**, v.51, n.11, p.2896-2906, 2014.

REYES, A. M. J.; PALOMO, P.; BRESSANI, R. Development of bakery products for greater adult consumption based on wheat and rice flour. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 54, n. 3, p.314-321, 2004.

RIEDER, A. et al. Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. **Journal of Cereal Science**, v. 55, p. 44-52, 2012.

SABANIS, D.; TZIA, C. Effect of Rice, Corn and Soy Flour Addition on Characteristics of Bread Produced from Different Wheat Cultivars. **Food Bioprocess Technol**, v. 2, p.68–79, 2009.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch – a review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v.5, p.1-17, 2006.

SAN MIGUEL, M. A. **Influencia de la hidroxipropilmetilcelulosa, el psyllium y su combinación en las propiedades morfogeométricas y texturales de panes sin gluten elaborados con harina de arroz**. Tese (Mestrado), Universidad de Valladolid, 2013.

SANZ-PENELLA, J.M. et al. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 679-685, 2013.

- SARAWONG, C. et al. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. **Food Chemistry**, v. 143, p. 33–39, 2014a.
- SARAWONG, C. et al. Effect of green plantain flour addition to gluten-free bread on functional bread properties and resistant starch content. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, p. 1825–1833, 2014b.
- SCARMINIO, V. et al. Dietary intervention with green dwarf banana flour (*Musa sp* AAA) prevents intestinal inflammation in a trinitrobenzenesulfonic acid model of rat colitis. **Nutrition Research**, v. 32, p. 202–209, 2012.
- SCHEUER, P.M. et al. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.13, n.2, p.211-222, 2011.
- SELOMULYO, V.O.; ZHOU, W. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, v. 45, n. 1, p. 1–17, 2007.
- SIDDIQ, M. et al. Effect of defatted maize germ flour addition on the physical and sensory quality of wheat bread. **LWT – Food Science and Technology**, v.42, p. 464-470, 2009.
- SILOW, C. et al. Current status of salt reduction in bread and bakery products – A review. **Journal of Cereal Science**, v. 72, p. 135-145, 2016.
- SIVAM, A.S. et al. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. **Journal of Food Science**, v. 75, n.8, p. R163-R174, 2010.
- SOARES M.S.J. et al. Quality of breads with toasted rice bran. **Food Science and Technology**, v.29, n.3, 2009.
- SOONG, Y. Y.; QUEK, R. Y. C.; HENRY, J. C. Glycemic potency of muffins made with wheat, rice, corn, oat and barley flours: a comparative study between in vivo and in vitro. **European Journal of Nutrition**, v. 54, p. 1281-1285, 2015.
- TRIBESS, T.B. et al. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 1022–1025, 2009.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain:** World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service: USDA, 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acesso em: 19 de jan. 2016.

VANIN, F. M.; LUCAS, T.; TRYSTRAM, G. Crust formation and its role during bread baking. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, p. 333-343, 2009.

VANIN, F. M. et al. Simulating the formation of bread crust in a DMTA rheometer. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 277-283, 2010.

YADAV, D.N. et al. Role of ingredients and processing variables on the quality retention in frozen bread doughs: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v.46, n.1, p.12-20, 2009.

YÁÑEZ, E. et al. Potato flour as partial replacement of wheat flour in bread: baking studies and nutritional value of bread containing graded levels of potato flour. **Journal of Food Technology**, v. 16, p. 291-298, 1981.

ZANDONADI, R. P. et al. Green Banana Pasta: An Alternative for Gluten-Free Diets. **Journal of the academy of nutrition and dietetics**, v. 112, p. 7, 2012.

ZGHAL, M. C.; SCANLON, M. G.; SAPIRSTEIN, H. D. Prediction of bread crumb density by digital image analysis. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 734–742, 1999.

ZHANG, P. et al. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, n. 4, p. 443–458, mar. 2005.

ZIOBRO, R. et al. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 1, p. 68–74, 2012.

ZUWARIAH, I.; AZIAH, A.A.N. Physicochemical properties of wheat breads substituted with banana flour and modified banana flour. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, v. 37, n. 1, p. 33-42, 2009.

Anexo

Anexo 1 (Farinha de Milho)

Figura 1. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: conteúdo de água da massa, conteúdo de água do miolo, conteúdo de água da crosta, perda de água, efeito da concentração de farinha de milho e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 2. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: fração vazia, área média celular, área mediana celular, perímetro médio celular e densidade celular, efeito da concentração de farinha de milho e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Anexo 2 (Farinha de Arroz)

Figura 3. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: conteúdo de água da massa, do miolo e da crosta, efeito da concentração de farinha de arroz e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 4. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: área mediana celular, área média celular, perímetro médio celular, elasticidade, dureza, coesividade e resiliência, efeito da concentração de farinha de arroz e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 5. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: L*, a* e b* da crosta e do miolo, efeito da concentração de farinha de arroz e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Anexo 3 (Farinha de Banana Verde)

Figura 6. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: conteúdo de água da massa, conteúdo de água do miolo, conteúdo de água da crosta, efeito da concentração de farinha de banana verde e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).

Figura 7. Diagramas de pareto para as variáveis dependentes: fração vazia, área média celular, área mediana celular, perímetro médio celular e densidade celular, efeito da concentração de farinha de milho e melhorador analisados à 95% de confiança ($p=0,05$).