



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

CRISTIANO SILVA DA COSTA

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FARINHA DE LINHAÇA MARROM (*Linum*
usitatissimum L.) E ENZIMAS SOBRE OS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E**
NUTRICIONAIS DE PÃES TIPO FORMA

FORTALEZA

2018

CRISTIANO SILVA DA COSTA

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FARINHA DE LINHAÇA MARROM (*Linum usitatissimum*
L.) E ENZIMAS SOBRE OS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E NUTRICIONAIS DE
PÃES TIPO FORMA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Tecnologia de Alimentos de Origem Vegetal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dorasilvia Ferreira Pontes.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Stella Regina Arcanjo Medeiros.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C871e Costa, Cristiano Silva da.
Efeitos da aplicação de farinha de linhaça marrom (*Linum usitatissimum* L.) e enzimas sobre os parâmetros tecnológicos e nutricionais de pães tipo forma / Cristiano Silva da Costa. – 2018.
79 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Dorasilvia Ferreira Pontes.

Coorientação: Profa. Dra. Stella Regina Arcanjo Medeiros.

1. Ácido alfa-linolênico. 2. Análise sensorial. 3. Parâmetros tecnológicos. 4. Propriedades funcionais. 5. Transglutaminase. I. Título.

CDD 664

CRISTIANO SILVA DA COSTA

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FARINHA DE LINHAÇA MARROM (*Linum usitatissimum*
L.) E ENZIMAS SOBRE OS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E NUTRICIONAIS DE
PÃES TIPO FORMA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Tecnologia de Alimentos de Origem Vegetal.

Aprovado em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Elisabeth Mary Cunha da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Stella Regina Arcanjo Medeiros (Co-orientadora)
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Prof. Dr. Renato de Azevedo Moreira
Universidade de Fortaleza (Unifor)

Prof^a. Dr^a. Gilcenara de Oliveira
Universidade de Fortaleza (Unifor)

Dr^a. Ídila Maria da Silva Araújo
Embrapa Agroindústria Tropical

Aos meus pais, Gorete e Eliziário
e aos meus irmãos Adriano e Fabiano.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em sua misericórdia infinita, permitiu o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Gorete e Eliziário, pelo amor incondicional, base educacional transmitida e compreensão nos períodos de ausência. Também aos meus irmãos Adriano e Fabiano, por todo o apoio e torcida.

À Universidade Federal do Ceará, especialmente ao Departamento de Engenharia de Alimentos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, por me proporcionarem aprendizado e imersão na pesquisa.

À Prof^ª. Dr^ª. Dorasilvia Ferreira Pontes, orientadora, por todo o acolhimento desde o início do mestrado, amizade, orientação, conselhos e conhecimento transmitidos.

À Prof^ª Dr^ª. Stella Regina Arcanjo Medeiros, coorientadora, por toda a orientação, paciência, amizade e brandura, mesmo nos momentos em requeria firmeza de sua parte.

Ao Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli, Coordenador do Laboratório de Tecnologia de Cereais da Universidade Federal do Ceará, pela convivência e permissão para o desenvolvimento da pesquisa no laboratório de cereais.

À Prof^ª Dra^ª. Gilcenara de Oliveira, da Universidade de Fortaleza (Unifor), pelo apoio, disposição em colaborar com a pesquisa e considerações feitas ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Renato de Azevedo Moreira, Coordenador do Laboratório de Desenvolvimento de Fármacos, da Universidade de Fortaleza, por todo o acolhimento, generosidade, conselhos valiosos e contribuições ao trabalho.

À Prof^ª. Dr^ª. Elisabeth Mary Cunha da Silva e à Prof^ª Dr^ª. Maria do Carmo Passos Rodrigues, pelo apoio durante a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Frederico Bezerra, à Prof^ª. Ma. Iramaia Bruno da Silva Lustosa e à Prof^ª. Ma. Gleucia Silva Moura, da Universidade de Fortaleza, por ceder o espaço dos Laboratórios de Nutrição para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Francisco Cardoso Figueiredo, da Universidade Federal do Piauí, pelo auxílio na realização de análises.

À Dra. Ídila Maria da Silva Araújo, da Embrapa Agroindústria Tropical, pelo apoio na realização de análises no Laboratório de Análise de Alimentos e por todas as considerações feitas ao trabalho.

À Ma. Marcia Regia Souza da Silveira, da Embrapa Agroindústria Tropical, pela abertura para a realização de análises no Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita.

Aos técnicos Rejane Albuquerque e José Augusto, por toda a dedicação, disponibilidade em ajudar e sadia convivência. Também às técnicas Vandira Justa, Hyldécia Lellis, Angelina, Silvana e Priscila, pelo auxílio na pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará Paulo Mendes, Júnior Moura, Tereza de Aguiar e Luís Gonzaga (*in memoriam*), pelo convívio e auxílio em diversos momentos.

Às amigas de turma Alyne Lemos e Maryana Monteiro, por toda a amizade e confiança desenvolvidas durante o Mestrado; por me escutarem e me aconselharem sempre que necessário. À Alyne, obrigado também por todas as caronas dadas.

Aos amigos da Pós-Graduação: Luciana Gama, Leiliane Herculano, Luan Ícaro, Ana Caroline, Marcos Sousa, Marcia Leal, Marina Lisboa, Luciana Bezerra, Jéssica Pitombeira, Cíntia Barros, Larissa Vieira, Glauber Santos, Fernanda Batista, Tayla Maria e Carlota Souza, por todos os momentos compartilhados, sejam de alegria ou de aflição, ao longo da pesquisa.

Aos discentes de graduação Andrêssa Galvão, Monalisa Pontes, Judá Alves e Weskley Suarêz, pela convivência, auxílio e conhecimento compartilhado.

Aos colegas de turma de Mestrado, por todos os momentos em que compartilhamos nossas alegrias, conquistas e dúvidas; e aos colegas da Unifor, pela convivência e contribuições.

À Ana Cristina e Dayanna Calixto pelo apoio durante as análises e ao Ayrton Sena pela contribuição durante o tratamento estatístico.

Aos amigos Tiago Martins, Benacélia Rabelo, Antonia Cosme e Sansão Lopes pela amizade e convivência ao longo dos anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido durante a pesquisa.

À empresa Prozyn, pela doação das enzimas, componentes fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

A todos que torceram e colaboraram para a realização desta pesquisa. Muito obrigado!

“Aprender não é um ato findo. Aprender é um
exercício constante de renovação.”

(Paulo Freire)

RESUMO

A semente de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) possui alto teor de ácido α -linolênico, além de fibras, compostos fenólicos e antioxidantes, apresentando crescente emprego na indústria alimentícia, inclusive na panificação. O pão, por sua vez, é um alimento consumido mundialmente e acessível à maioria das populações, tornando-se veículo de ingredientes que podem enriquecê-lo nutricionalmente. No entanto, o incremento de matérias-primas com alto teor de fibras pode afetar negativamente as características de volume específico e textura. A adição de coadjuvantes surge como alternativa para a melhoria desses parâmetros. Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito da aplicação da farinha de linhaça marrom e enzimas sobre os parâmetros tecnológicos e nutricionais de pães tipo forma. Determinou-se o teor de compostos fenólicos da farinha de linhaça, a composição dos ácidos graxos do óleo de linhaça por cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas, e a sua estabilidade oxidativa pelo Período de Indução em horas. Após testes preliminares com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de linhaça em pães tipo forma, escolheu-se uma formulação, a qual foi adicionada de enzimas transglutaminase e xilanase, em níveis determinados por meio de um delineamento composto central rotacional, com um total de 11 tratamentos. A partir da análise de volume específico, densidade e índice de expansão, elegeu-se o tratamento otimizado. A avaliação estatística do delineamento foi feita por análise de regressão, (p -valor $< 0,1$), análise de variância, superfície de resposta e suas curvas de contorno. A farinha de linhaça apresentou um total de 211,53 mg EAG/100g de compostos fenólicos. O óleo apresentou predominância de ácido graxo α -linolênico (C18:3) e um período de indução de até 3,76 horas a 80 °C. Quanto aos pães provenientes do delineamento, escolheu-se o tratamento com adição de 7,5% de transglutaminase e 6,0% de xilanase, o qual obteve volume específico = $2,71 \pm 0,12$; índice de expansão = $1,07 \pm 0,01$ e densidade = $0,37 \pm 0,12$. Este tratamento apresentou um crescimento de 74,17% no teor de lipídios e 39,02% de proteína, em relação à formulação padrão. Quanto aos atributos sensoriais, o mesmo obteve médias de $7,76 \pm 1,66$; $7,27 \pm 1,67$; $7,23 \pm 1,56$; $7,48 \pm 1,63$ para cor, aroma, sabor e textura, respectivamente. Conclui-se que o uso de enzimas contribuiu para melhora dos parâmetros físicos de pães adicionados de fibras, assim como a linhaça foi capaz de aumentar o teor de nutrientes do produto.

Palavras-chave: Ácido α -linolênico. Análise sensorial. Parâmetros tecnológicos. Propriedades funcionais. Transglutaminase. Xilanase.

ABSTRACT

Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) has a high content of α -linolenic acid, as well as fibers, phenolic compounds and antioxidants, with increasing employment in the food industry, including baking. Bread, in turn, is a food consumed worldwide and accessible to most populations, making it the vehicle of ingredients that can enrich it nutritionally. However, the increase of raw materials with high fiber content can negatively affect the characteristics of specific volume and texture. The addition of coadjuvants appears as an alternative for the improvement of these parameters. The objective of this work was to study the effect of the application of brown flax meal and enzymes on the technological and nutritional parameters of form - type breads. The content of flax flour phenolic compounds, linseed oil fatty acid composition by gas chromatography coupled to mass spectrometer, and its oxidative stability were determined by the Induction Period in hours. After preliminary tests with partial substitution of wheat flour for flax meal in form-type breads, a formulation was added, which was added with transglutaminase and xylanase enzymes, at levels determined by means of a Rotational Central Compound Design (DCCR), with a total of 11 treatments. From the analysis of specific volume, density and expansion index, the optimized treatment was chosen. The statistical evaluation of the DCCR was made by regression analysis, (p -value < 0.1), analysis of variance, response surface and its contour curves. The flax meal presented a total of 211.53 mg EAG/100g of phenolic compounds. The oil showed predominance of α -linolenic acid (C18:3) and an induction period of up to 3.76 hours at 80 °C. As for the buns from DCCR, the treatment with 7.5% of transglutaminase and 6.0% of xylanase was chosen, which obtained specific volume = 2.71 ± 0.12 ; expansion index = 1.07 ± 0.01 and density = 0.37 ± 0.12 . This treatment showed a growth of 74.17% in lipid content and 39.02% protein, relative to the standard formulation. As for the sensorial attributes, it obtained averages of 7.76 ± 1.66 ; 7.27 ± 1.67 ; 7.23 ± 1.56 ; 7.48 ± 1.63 for color, aroma, flavor and texture, respectively. It was concluded that the use of enzymes contributed to the improvement of the physical parameters of bread added with fiber, as flaxseed was able to increase the nutrient content of the product.

Keywords: α -linolenic acid. Sensory analysis. Technological Parameters. Functional properties. Transglutaminase. Xylanase.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura dos ácidos graxos linoleico e α -linolênico.....	21
Figura 2 – Atuação das xilanases sobre a estrutura da xilana.....	24
Figura 3 – Formas de interação da transglutaminase.....	25
Figura 4 – Mecanismo de reação da transglutaminase.....	26
Figura 5 – Fluxograma de processamento.....	32
Figura 6 – Picos de intensidade referentes ao perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça.....	42
Figura 7 – Superfície de Resposta e Curvas de Contorno para a variável resposta Volume específico, em diferentes concentrações transglutaminase e xilanase.....	48
Figura 8 – Superfície de Resposta e Curvas de Contorno para a variável resposta Densidade, em diferentes concentrações transglutaminase e xilanase.....	50
Figura 9 – Superfície de Resposta e Curvas de Contorno para a variável resposta Índice de expansão, em diferentes concentrações transglutaminase e xilanase.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Composição centesimal da linhaça marrom e dourada.....	18
Tabela 2 –	Composição de ácidos graxos, tocoferóis, compostos fenólicos e atividade antioxidante total de linhaça marrom e dourada.....	19
Tabela 3 –	Formulações utilizadas na elaboração de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça.....	32
Tabela 4 –	Variáveis e níveis do experimento da adição de transglutaminase e xilanase na formulação de pães tipo forma.....	34
Tabela 5 –	Matriz do delineamento composto central rotacional (DCCR) para as duas variáveis independentes transglutaminase e xilanase adicionadas à formulação otimizada de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça.....	34
Tabela 6 –	Composição centesimal e valor energético da farinha de linhaça marrom	40
Tabela 7 –	Perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça.....	41
Tabela 8 –	Período de Indução (horas) do óleo de linhaça em diferentes temperaturas	43
Tabela 9 –	Volume específico e densidade das formulações de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça.....	44
Tabela 10 –	Perfil de textura das formulações de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça.....	45
Tabela 11 –	Matriz do delineamento composto central rotacional e suas variáveis independentes e respostas.....	46
Tabela 12 –	Coefficientes de regressão para a variável resposta Volume específico, de acordo com o delineamento experimental.....	47
Tabela 13 –	Análise de Variância (ANOVA) para a variável resposta Volume específico, de acordo com o delineamento experimental.....	47
Tabela 14 –	Coefficientes de regressão para a variável resposta densidade de acordo com o delineamento experimental.....	49
Tabela 15 –	Análise de Variância (ANOVA) para a variável resposta Densidade, de acordo com o delineamento experimental.....	49
Tabela 16 –	Coefficientes de regressão para a variável resposta Índice de expansão, de acordo com o delineamento experimental.....	51
Tabela 17 –	Análise de Variância (ANOVA) para a variável resposta Índice de	51

expansão, de acordo com o delineamento experimental.....	
Tabela 18 – Composição centesimal de pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle.....	53
Tabela 19 – Compostos fenólicos totais dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle.....	54
Tabela 20 – Análise de textura do miolo dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle.....	55
Tabela 21 – Parâmetros de cor (L*, a*, b*) do miolo dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle.....	56
Tabela 22 – Análise Sensorial dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle.....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Alimentos Funcionais.....	17
2.2	Semente de linhaça.....	18
2.3	Componentes funcionais presentes na linhaça.....	20
2.3.1	Ácidos graxos.....	20
2.3.2	Fibras alimentares.....	22
2.4	Conceito de enzimas.....	23
2.4.1	Xilanase.....	23
2.4.2	Transglutaminase.....	24
2.5	Conceito de pão.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Matérias-primas.....	28
3.2	Métodos.....	28
3.2.2	Composição centesimal da farinha de linhaça marrom.....	28
3.2.2.1	Umidade.....	29
3.2.2.2	Cinzas.....	29
3.2.2.3	Proteína.....	29
3.2.2.4	Lipídios.....	29
3.2.2.5	Carboidratos.....	29
3.2.2.6	Valor calórico total.....	29
3.2.3	Determinação de componentes fenólicos totais da farinha de linhaça.....	30
3.2.4	Estudo do perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do óleo de linhaça.....	30
3.2.4.1	Extração do óleo de linhaça.....	30
3.2.4.2	Determinação do perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça.....	30
3.2.4.3	Estabilidade oxidativa do óleo de linhaça.....	31
3.2.5	Influência da adição de farinha de linhaça e enzimas sobre a qualidade de pães tipo forma.....	31
3.2.5.1	Testes preliminares para adição de farinha de linhaça à formulação de pães tipo forma.....	31
3.2.5.2	Delineamento experimental para adição de enzimas à formulação de pães	33

	<i>tipo forma adicionada de farinha de linhaça.....</i>	
3.2.6	<i>Avaliação tecnológica dos tratamentos obtidos a partir do delineamento experimental.....</i>	34
3.2.6.1	<i>Volume específico.....</i>	35
3.2.6.2	<i>Densidade.....</i>	35
3.2.6.3	<i>Índice de Expansão.....</i>	35
3.2.7	<i>Composição centesimal da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e da formulação controle.....</i>	36
3.2.8	<i>Avaliação tecnológica da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e da formulação controle.....</i>	36
3.2.9	<i>Avaliação tecnológica da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e da formulação controle.....</i>	36
3.2.9.1	<i>Análise de textura do miolo.....</i>	37
3.2.9.1	<i>Análise de cor do miolo.....</i>	37
3.2.10	<i>Análise sensorial.....</i>	37
3.2.11	<i>Análise estatística.....</i>	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Rendimento da farinha de linhaça marrom.....	40
4.2	Composição centesimal da farinha de linhaça marrom.....	40
4.3	Compostos fenólicos da farinha de linhaça marrom.....	40
4.4	Estudo do perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do óleo de linhaça.....	41
4.4.1	<i>Perfil de ácidos do óleo de linhaça.....</i>	41
4.4.2	<i>Estabilidade oxidativa do óleo de linhaça.....</i>	42
4.5	Influência da adição de farinha de linhaça e enzimas sobre a qualidade de pães tipo forma.....	43
4.5.1	<i>Influência da adição de farinha de linhaça sobre a qualidade de pães tipo forma.....</i>	43
4.5.2	<i>Influência da adição de enzimas sobre a qualidade de pães tipo forma.....</i>	46
4.5.2.1	<i>Influência da adição de enzimas sobre o volume específico de pães tipo forma.....</i>	47
4.5.2.2	<i>Influência da adição de enzimas sobre a densidade de pães tipo forma.....</i>	48
4.5.2.3	<i>Influência da adição de enzimas sobre o índice de expansão de pães tipo</i>	<i>50</i>

	<i>forma</i>	
4.6	Escolha da formulação otimizada a partir de formulação de pães tipo forma adicionados de enzimas	53
4.7	Composição centesimal da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e das formulações controles	53
4.8	Determinação de compostos fenólicos totais da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e das formulações controles	54
4.9	Avaliação tecnológica da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e das formulações controles	55
4.9.1	<i>Análise de textura do miolo</i>	55
4.9.2	<i>Análise de cor do miolo</i>	56
4.10	Análise sensorial	57
5	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	60
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	70
	APÊNDICE B – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL	71
	APÊNDICE C – CORTE TRANSVERSAL DE PÃES DO DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO (DIC)	74
	APÊNDICE D - CORTE TRANSVERSAL DE PÃES DO DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR)	75
	ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA	76

1 INTRODUÇÃO

A alimentação exerce importância primordial em todas as fases da vida. Uma alimentação adequada tem por objetivo fornecer os nutrientes necessários para a manutenção das funções vitais e garantir a energia requerida para exercer as atividades diárias, mantendo assim o equilíbrio corporal (ANGELIS; TIRAPEGUI, 2007).

Atualmente, os hábitos alimentares de grande parcela da população caracterizam-se pelo consumo exagerado de alimentos ricos em açúcares e gorduras saturadas e a prevalência do baixo consumo de alimentos ricos em fibras e gorduras insaturadas, contribuindo para o crescente número dos casos de doenças como diabetes, problema cardiovasculares, dislipidemias, câncer e doenças no intestino. Soma-se ainda fatores de risco como a inatividade física, o fumo e o estresse emocional (VIEIRA; ÁVILA, 2011; JAIME *et al.*, 2013).

Diante desse quadro, a indústria alimentícia tem buscado desenvolver produtos, com os quais seja possível adicionar ingredientes ou compostos que exerçam funções benéficas para o organismo. Mostra-se crescente o mercado de alimentos integrais, propondo-se a ofertar produtos com um maior teor de fibras (CAPRILES; ARÊAS, 2012; GOMES NATAL *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

As fibras alimentares, bem como outros nutrientes e compostos bioativos, tiveram o seu uso incentivado devido às suas propriedades chamadas funcionais, descobertas a partir de pesquisas que se intensificaram ao final do século XX. Os alimentos considerados funcionais podem ser definidos como aqueles que, ao serem consumidos na dieta, oferecem, além das funções nutricionais, efeitos metabólicos e fisiológicos ao organismo, podendo desempenhar o papel de coadjuvantes na prevenção de doenças crônicas (ILLANES; GUERRERO, 2016).

A linhaça (*Linum usitatissimum L.*) é um alimento com alto teor de ácido α -linolênico (ALA), fibras e lignanas, o que lhe confere o rótulo de alimento com alegação funcional. Além disso, é rica em proteínas, compostos fenólicos e antioxidantes. Existem duas variedades da linhaça: a marrom e a dourada, determinadas pela quantidade de pigmentos no revestimento externo da semente. Apesar de não apresentarem grandes diferenças em sua composição química, a linhaça marrom possui um maior teor de tocoferóis e atividade antioxidante, sendo produzida em maior escala no Brasil e com menor valor comercial (BARROSO *et al.*, 2014).

As propriedades funcionais da linhaça estão relacionadas à redução do colesterol total e LDL (*Low Density Lipoprotein*)-colesterol, doenças cardiovasculares, triglicerídeos, câncer do cólon, além de exercer efeitos antiinflamatórios (WESTCOTT; MUIR, 2003; COSTA; ROSA, 2010; SHIM *et al.*, 2014).

O pão é um alimento amplamente consumido pelas populações, constituindo um produto de alta aceitabilidade por suas características sensoriais, teor energético e valor aquisitivo. Desse modo, é um alimento propício para a adição de ingredientes funcionais, agregando além do valor nutricional, benefícios à saúde (BATTOCHIO *et al.*, 2006).

Entretanto, o uso de matérias-primas ricas em fibras alimentares pode afetar de modo negativo as características sensoriais de produtos como o pão, uma vez que não permitem uma estável formação da rede proteica, impedindo a adequada retenção de gases produzidos na fermentação. Como resultado, obtêm-se um produto com volume, textura, cor e maciez inferiores ao tradicional, interferindo assim na aceitação plena do produto (FIGUEIRA *et al.*, 2011).

Diante dessa questão, a indústria tem buscado componentes que possam fortalecer a rede de glúten e deixar o pão com características mais próximas do ideal. São utilizados como melhoradores de farinha os agentes antioxidantes, além de enzimas. As mais utilizadas são as α -amilases, porém o uso de hemicelulases é crescente, principalmente em pães com adição de fibra, atuando na hidrólise das ligações tipo β -1,4 de complexos hemicelulósicos. Além das hemicelulases, a transglutaminase tem sido empregada devido à capacidade de formar grandes polímeros insolúveis, permitindo ainda a inclusão de novas fontes proteicas ao produto (RIBOTTA *et al.*, 2010; ALMEIDA; CHANG, 2012).

Dessa forma, buscando-se agregar valor nutricional a pães tipo forma por meio da utilização de um alimento com propriedades funcionais, este estudo se propôs a estudar os efeitos da adição de farinha de linhaça marrom e enzimas sobre os parâmetros tecnológicos e nutricionais de pães tipo forma.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Alimentos Funcionais

Ao longo das últimas décadas, os alimentos considerados funcionais apresentaram-se como uma estratégia para a manutenção da saúde e prevenção de doenças crônicas por meio da alimentação. Tais alimentos podem conter compostos bioativos presentes naturalmente ou adicionados ao produto, com o propósito de realizar os efeitos benéficos sobre a saúde, comprovados cientificamente (FUENTES-BERRIO; ACEVEDO-CORREA; GELVEZ-ORDOÑEZ, 2015).

Os alimentos funcionais tiveram sua denominação e regulamentação descritas inicialmente no Japão, a partir da década de 1980. A designação *Foods for Specified Health Use* (FOSHU), utilizada no país, refere-se aos alimentos que contém ingredientes com alguma função sobre a manutenção e promoção da saúde ou sobre a redução do risco de doenças crônicas. A comprovação da segurança deste alimento e da sua eficácia sobre a saúde, bem como a aprovação da alegação pelo Ministério da Saúde e Bem-estar são requisitos para o seu consumo (VALENZUELA *et al.*, 2014).

Apesar da definição japonesa, as alegações referentes a tais alimentos, juntamente aos critérios para a sua aprovação variam de acordo com a legislação de cada país (STRIGHETTA *et al.*, 2007). Na Europa, a *Functional Food Science in Europe* (FUFOSE) define um alimento funcional como aquele que é capaz de alterar de forma positiva uma ou mais funções-alvo, além dos efeitos nutricionais convencionais deste alimento, sendo capaz, assim, de influenciar na saúde do indivíduo e na redução do risco de doenças (COSTA; ROSA, 2010).

No Brasil, os alimentos funcionais referem-se àqueles que apresentam alguma alegação de propriedade funcional ou de saúde. A alegação funcional diz respeito ao papel metabólico ou fisiológico que determinado nutriente ou não nutriente desempenha no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções do organismo. A alegação de saúde, por sua vez, afirma, sugere ou implica a existência de relação entre o alimento ou ingrediente com uma doença ou condição de saúde. Não é permitido, no entanto, fazer referências ao tratamento, cura ou prevenção de doenças (BRASIL, 1999).

A legislação brasileira possui uma lista com o total de dezoito alegações de propriedade funcional ou de saúde aprovadas e seus respectivos requisitos específicos para uso dos textos padronizados em rótulos de alimentos. A lista inclui: carotenoides (licopeno,

luteína e zeaxantina), polióis, probióticos, proteína de soja, ácidos graxos (ácido icosapentaenóico – EPA, ácido docosa-hexaenóico – DHA), fibras alimentares (beta glucana, dextrina resistente, frutooligossacarídeo, goma guar parcialmente hidrolisada, inulina, lactulose, polidextrose, *psillium*, quitosana e fitoesteróis) (COSTA; ROSA, 2010).

2.2 Semente de linhaça

A linhaça é uma semente proveniente do linho, planta pertencente à família *Linaceae*, com provável origem na Ásia (VEIRA *et al.*, 2012). Estima-se que o linho já era cultivado no ano 6.000 AC na Turquia Oriental, e no ano 5.000 na região da Mesopotâmia. A partir dali, seu cultivo espalhou-se para a África, Europa e posteriormente para a América do Norte (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O linho é uma herbácea com altura que varia de 40 a 80 centímetros de caule ereto, contendo folhas alongadas e estreitas. Suas flores são azuis-claros, enquanto que o seu fruto tem a forma de uma cápsula globosa com 5 compartimentos, os quais contêm duas sementes cada, totalizando 10 sementes (COSKUNER; KARABABA, 2007; LIMA, 2007) A semente tem a forma achatada e oval com borda pigmentada e dimensões que variam entre 3,0 a 4,6 mm de comprimento, 1,8 a 4,3 mm de largura e 0,5 a 1,6 mm de densidade. A semente possui textura firme, sendo mastigável e com um sabor de nozes (LIMA, 2007).

Existem duas principais variedades de linhaça, as quais se diferenciam por sua coloração: marrom e dourada, o que se deve ao teor e pigmentos presentes no revestimento interno da semente. Apesar da diferença nas cores, os dois tipos possuem teores semelhantes de macronutrientes e valor energético, conforme mostra a Tabela 1 (BARROSO *et al.*, 2014).

Tabela 1 – Composição nutricional da linhaça marrom e dourada

Fatores	Sementes de linhaça (g/100 g)	
	Marrom	Dourada
Umidade	7,06 ± 0,41	3,77 ± 0,37
Lipídios	33,7 ± 0,56	34,8 ± 0,07
Proteínas	19,1 ± 1,15	21,6 ± 0,12
Fibra	28,0 ± 4,24	22,5 ± 4,95
Carboidratos	9,22 ± 6,22	10,4 ± 4,55
Valor energético total (Kcal/100g)	417 ± 6,22	441 ± 7,25

Fonte: BARROSO *et al.*, 2014.

A variedade de maior cultivo no Brasil é a marrom, gerando um produto de menor valor comercial. Esta é utilizada principalmente como matéria-prima para indústrias,

alimentação animal e humana. Ainda assim, a linhaça dourada é mais usada para o consumo humano. Na pesquisa de Barroso *et al.* (2014), a linhaça marrom apresentou uma maior atividade antioxidante comparada à dourada e maior teor de tocoferóis (tabela 2):

Tabela 2 – Composição de ácidos graxos, tocoferóis, compostos fenólicos e atividade antioxidante total de linhaça marrom e dourada

Fatores	Sementes de linhaça	
	Marrom	Dourada
Ácido oleico (C18:1 ω 9) g/100g	20,4 \pm 0,22	23,0 \pm 0,30
Ác. linoleico (C18:2 ω 6) g/100g	13,3 \pm 0,17	13,4 \pm 0,26
Ác. linolênico (C18:2 ω 3) g/100g	58,4 \pm 0,14	58,3 \pm 0,30
Razão ω 6/ ω 3	0,23	0,23
α -tocoferol (mg/100g)	7,58 \pm 0,90	7,41 \pm 0,91
β -tocoferol (mg/100g)	13,8 \pm 0,31	15,0 \pm 1,74
γ -tocoferol (mg/100g)	38,9 \pm 0,64	25,5 \pm 4,21
Compostos fenólicos totais (mg EAG Kg)	4,3 \pm 0,06	4,1 \pm 0,05
Capacidade antioxidante total (mmol TEAC kg)		
Fração hidrofílica	3,76 \pm 0,21	3,41 \pm 0,24
Fração lipofílica	5,15 \pm 0,77	3,54 \pm 0,43
Amostra integral	6,15 \pm 0,32	4,41 \pm 0,35

Fonte: BARROSO *et al.*, 2014.

Do total de carboidratos presentes na linhaça, apenas 1 a 2% estão na forma disponível (BABU *et al.*, 2003). A semente constitui uma das principais fontes de lignanas, as quais são compostas de secoisolaricirresinol diglicosídeo (SDG), ácido glicosídico cinâmico, ácido hidroximetilglutárico (HMGA), matairesinol e pinorressinol (PRASAD, 2005). O teor de lignanas atinge o número de 21.071 μ g/100g, contra 196 μ g/100g do gérmen de trigo, por exemplo. Do total de fibras presentes, 75% são insolúveis e 25% solúveis, contendo celulose, lignina e mucilagens (MORRIS, 2007). Entre os fatores antinutricionais da linhaça estão o ácido fítico, os glicosídeos cianogênicos e a linatina (ligante da vitamina B6). Porém, autores ressaltam que as quantidades presentes não oferecem risco à saúde humana (DAUN *et al.*, 2003).

A linhaça tem sua qualidade prejudicada em ambientes com altas temperaturas e grande umidade, o que provoca a descoloração da semente e odor característico da presença de mofo. O tempo de vida em armazenamento pode variar de 9 a 12 meses, com um teor de 9 a 10% de água (COSKUNER; KARABABA, 2007).

A utilização da linhaça atravessa vários segmentos da indústria, sendo empregada na fabricação de tintas, vernizes, sabões, borrachas sintéticas, ração animal e na indústria farmacêutica (LIMA, 2007).

A semente da linhaça pode ser considerada um alimento com alegação de propriedade funcional, devido ao alto teor de ácido α -linolênico, lignanas e fibras alimentares (COSTA; ROSA, 2010). Desse modo, tem sido empregada no processamento de diferentes alimentos, incluindo o ramo da panificação, onde a incorporação da semente em pães e biscoitos tem crescido nos últimos anos (MACIEL; PONTES; RODRIGUES, 2008). Os diversos mecanismos pelos quais atuam o ácido α -linolênico, as lignanas e as fibras são responsáveis por ações fisiológicas associadas à prevenção de doenças crônicas (COSTA; ROSA, 2010).

2.3 Componentes funcionais presentes na linhaça

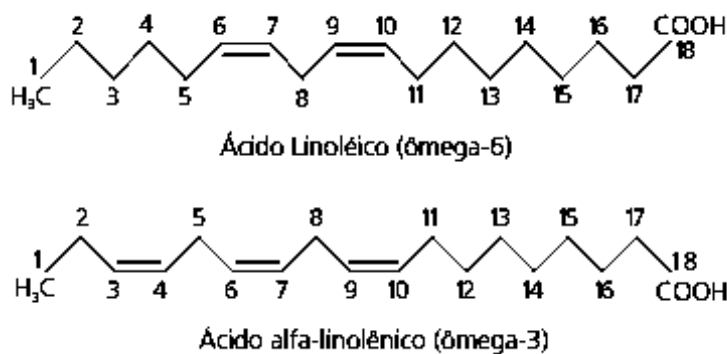
2.3.1 Ácidos Graxos

Os ácidos graxos quase sempre são encontrados na natureza ligados a outras moléculas pelo seu grupo principal de ácido carboxílico hidrofílico. Os ácidos graxos são classificados conforme o número de carbonos, número de ligações duplas e a posição das ligações na cadeia. Considera-se que os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) possuem de 4 a 6 carbonos, os de cadeia média de 8 a 14, e os de cadeia longa (AGCL) de 16 a 20 ou mais. Quanto ao número de duplas ligações, nos ácidos graxos denominados saturados todos os locais de ligação de carbono não ligados a outro carbono são ligados ao hidrogênio. Os ácidos graxos monoinsaturados são aqueles que possuem apenas uma dupla ligação e os poli-insaturados os que possuem duas ou mais duplas ligações. No que diz respeito à localização das duplas ligações, utiliza-se a letra grega ω ou n para se referir ao posicionamento da primeira ligação dupla, contando-se a partir da terminação metil (MAHAN; ESCOTT-STUMP; RAYMOND, 2013).

Os ácidos graxos poli-insaturados linoleico (ω -6) e α -linolênico (ω -3) (Figura 1) são chamados ácidos graxos essenciais pelo fato de não serem sintetizados por mamíferos, por falta de enzimas que introduzam as duplas ligações presentes nesses óleos. O organismo dos mamíferos, no entanto, consegue produzir derivados desses ácidos graxos, a partir da ação das enzimas alongasse e dessaturase. As alongases adicionam dois átomos de carbono à parte inicial da cadeia, enquanto as dessaturases agem oxidando dois carbonos, dando origem a uma dupla ligação com a configuração *cis* (MARTIN *et al.*, 2006). Desse modo, os mamíferos conseguem obter o ácido araquidônico a partir do ácido linoleico e os ácidos eicosapentanoico

(EPA) e docosahexaenóico (DHA) a partir do ácido α -linolênico. Esse processo ocorre no retículo endoplasmático, principalmente no fígado (PERINI *et al.*, 2010).

Figura 1 – Estrutura dos ácidos graxos linoleico e α -linolênico



Fonte: PERINI *et al.*, 2010.

Os ácidos graxos produzidos constituem importantes componentes das membranas celulares e precursores de eicosanoides, como as prostaglandinas (PG), tromboxanos (TXA) e leucotrienos (LT). Os eicosanoides podem atuar alterando o tamanho e a permeabilidade dos vasos sanguíneos, a atividade das plaquetas e contribuir para o processo de coagulação sanguínea. Além disso, estão envolvidas no processo de inflamação (MAHAN; ESCOTT-STUMP; RAYMOND, 2013).

Os derivados do ácido linoleico são precursores de eicosanoides pró-inflamatórios (PG E₂, TXA A₂ E LT B₄), ao passo que os derivados do ácido α -linolênico são precursores de PG E₃ e PG F₃, substâncias anti-inflamatórias. Harper *et al.* (2006) relatam que o consumo do óleo de linhaça aumenta significativamente as concentrações teciduais de EPA.

Desse modo, deve haver um equilíbrio quanto ao consumo de alimentos fontes de ω -6 e ω -3. O excesso de alimentos fontes de ω -6 provoca a saturação das enzimas que dessaturam os ácidos graxos ω -3 e ω -6, impedindo a formação de EPA e DHA (MAHAN; ESCOTT-STUMP; RAYMOND, 2013).

As principais fontes de ácido linoleico são os óleos vegetais (milho, soja e girassol). Enquanto isso, o ácido α -linolênico pode ser obtido através de peixes de água frias e profundas, como salmão, sardinha e truta, além de alguns alimentos vegetais como a linhaça e seus derivados (PINTO *et al.*, 2014).

O *Institute of Medicine* (IOM) recomenda as seguintes quantidades ao dia de ácido α -linolênico: 0,5 g para bebês de até 12 meses, 0,7 g para crianças de 1 a 3 anos, 0,9 g para crianças de 4 a 8 anos, 1,0 g para meninas de 9 a 13 anos, 1,1 g para mulheres a partir de

14 anos, 1,4 g para grávidas, 1,3 g para lactantes, 1,2 g para meninos de 9 a 13 anos e 1,6 g para homens a partir dos 14 anos (IOM, 2002/2005).

O ômega 3 vem sendo alvo de diversos estudos epidemiológicos, pois reduz os triglicerídeos séricos, melhora a função plaquetária e promove ligeira redução na Pressão Arterial (PA) em pacientes hipertensos, melhorando o seu quadro (KRIS-ETHERTON, 2001).

Estudos realizados por Anjo (2004) demonstraram baixa incidência no desenvolvimento de doenças crônicas, em indivíduos que faziam o consumo de dietas ricas nesses nutrientes. Entre eles temos os esquimós, em que foi observado um baixo índice de problemas cardíacos nesse grupo. Segundo o autor nos países orientais há uma redução no risco de desenvolvimento de doenças coronarianas, resultado do costume de consumir frutas e verduras, afirmação esta comprovada através de dados epidemiológicos.

2.3.2 Fibras Alimentares

Conforme a legislação brasileira, o termo fibra alimentar designa qualquer material comestível que não seja hidrolisado por enzimas do sistema digestivo humano (BRASIL, 2003). De acordo com a Resolução da Anvisa nº 54 (2012), um alimento é considerado fonte de fibra se conter no mínimo 3 g por 100 g ou 100 mL em pratos preparados ou no mínimo 2,5 g por porção. Para ser considerado com alto conteúdo de fibra, o alimento deverá conter no mínimo 6 g por 100g 100 g ou 100 mL em pratos preparados e no mínimo 5 g por porção. O IOM recomenda a ingestão de 38 g de fibra para indivíduos do sexo masculino em idade adulta e 25 para mulheres adultas (IOM, 2002/2005).

As fibras alimentares podem ser classificadas em solúveis ou insolúveis, dependendo do tipo presente no alimento. As fibras solúveis (pectinas, gomas, mucilagens e algumas hemiceluloses) estão presentes geralmente em polpas de frutas e legumes, sendo associadas ao retardo do esvaziamento gástrico e tempo do trânsito intestinal e controle do índice glicêmico e colesterol. As fibras insolúveis (celuloses, hemiceluloses e ligninas) são encontradas principalmente em grãos e cereais. Entre as suas ações no organismo incluem-se o aceleração do trânsito intestinal, aumento do volume fecal e prevenção ou melhora de quadros como constipação intestinal e diverticulite (SILVA; MURA, 2007).

2.4 Conceito de enzimas

As enzimas podem ser definidas como catalisadores biológicos, as quais participam de diversas reações bioquímicas. No geral, apresentam natureza proteica, tendo como principal função o controle metabólico. Dentre as vantagens de sua utilização, ressalta-se a sua alta especificidade, a atuação em condições amenas de reação (temperatura ambiente, pressão atmosférica e pH neutro, por exemplo), alta eficiência catalítica, não toxicidade, além de ser biodegradáveis (COELHO; SALGADO; RIBEIRO, 2008).

As enzimas podem ser classificadas quanto à sua nomenclatura (oxirredutases, transferases, hidrolase, liases, isomerasas e ligases), forma de uso (a enzima catalisa a principal reação, a enzima participa de reações que complementam as devidas características do produto, a enzima é o produto, sendo vendida, normalmente, combinada a outros componentes) origem (intra ou extracelulares), modo de ação (endoenzimas ou exoenzimas) e nomenclatura (CABRAL; AIRES-BARROS; GAMA, 2003; COELHO; SALGADO; RIBEIRO, 2008).

2.4.1 Xilanase

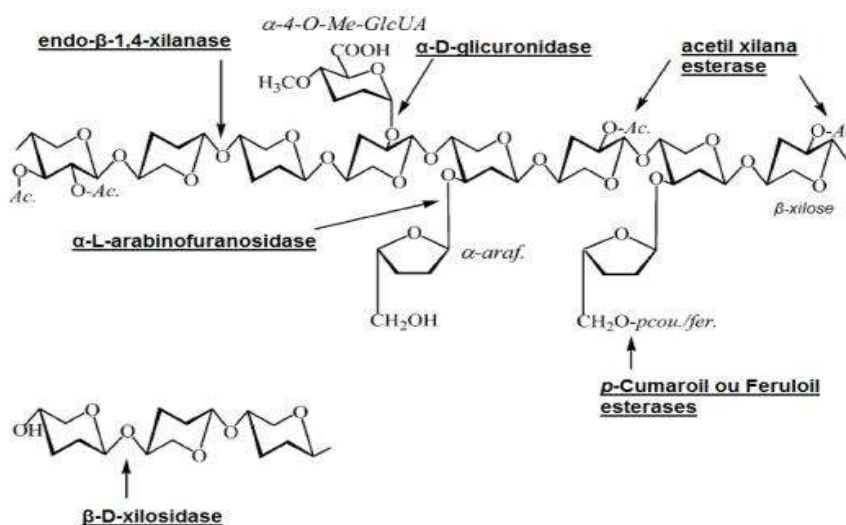
As xilanases constituem um grupo de enzimas hidrolíticas, que tem como principal função degradar o material da parede celular da célula vegetal, hidrolisando as ligações do tipo β -1,4, entre unidades de xilose. A xilanase tem ainda a capacidade de converter as pentosanas insolúveis em água em suas formas solúveis (AL-WIDYAN; KHATABESH; ABR ALVEZ, 2008; BUTT *et al.*, 2008).

A complexidade da xilana requer um complexo enzimático atuando de forma cooperativa na hidrólise do polissacarídeo. As endoxilanases atuam quebrando internamente as ligações β -1,4 da cadeia principal da xilana, o que resulta em produtos com um grau de polimerização menor, como os xilooligossacarídeos e xilobiose. Estes, por sua vez, são hidrolisados por β -xilosidades, liberando xilose a partir da extremidade não redutora. Além da atuação de endoxilanases e β -xilosidades, a completa degradação da xilana dependerá ainda da ação sinérgica entre enzimas da cadeia principal e enzimas acessórias desramificadoras (Figura 2) (OLIVEIRA, 2010).

Os arabinoxilanos (pentosanas) constituem um dos principais tipos de polissacarídeos da farinha de trigo e em outras matérias-primas vegetais, como aquelas ricas em fibras. Podem ser diferenciados em arabinoxilanos solúveis em água e arabinoxilanos

insolúveis em água. Estes últimos estão relacionados a efeitos negativos na formação e rede de glúten, provavelmente por competir pela água presente no meio. A xilanase atua atacando a cadeia principal dos arabinoxilanos, reduzindo a quantidade de arabinoxilanos insolúveis em água, diminuindo a capacidade de retenção do líquido e disponibilizando-a para outros fins, como a formação do glúten e a extensibilidade do produto (JAECKEL *et al.*, 2012).

Figura 2 - Atuação das xilanases sobre a estrutura da xilana



Fonte: COLLINS; GERDAY; FELLER, 2005.

A aplicação da xilanase em pães provoca alterações na estrutura, tais como a diminuição da firmeza, aumento do volume e alvéolos mais uniformes. A enzima tem capacidade de melhorar a elasticidade da rede de glúten, influenciando a textura e forma do produto. São indicadas para todos os tipos de pães e podem ser usadas juntamente com emulsificantes. Desde que sejam aplicadas em quantidades adequadas, influenciam positivamente no tempo de prateleira, retardando o endurecimento do pão. Outras vantagens incluem diminuição do tempo de fermentação e aumento do aroma (AL-WIDYAN; KHATABESH; ABR ALVEZ, 2008; BUTT *et al.*, 2008).

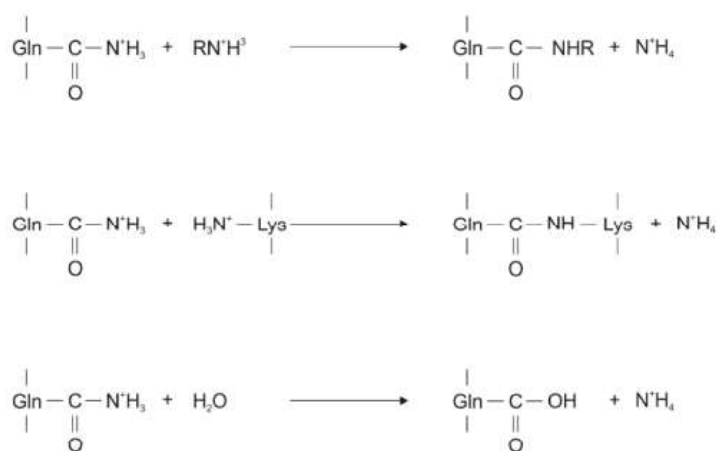
2.4.2 Transglutaminase

A transglutaminase é uma transferase que catalisa reações de acil-transferência, formando novas ligações cruzadas inter e intra-moleculares entre um grupo γ-carboxiamida de resíduos de glutamina e diversas aminas primárias. A transglutaminase pode agir das seguintes formas (Figura 3): entre resíduos de glutamina e aminas livres; entre resíduos de

glutamina e lisina e; entre resíduos de glutamina e água (BAGAGLI, 2009; CHANARAT; BENJAKUL; H-KITTIKUN, 2012).

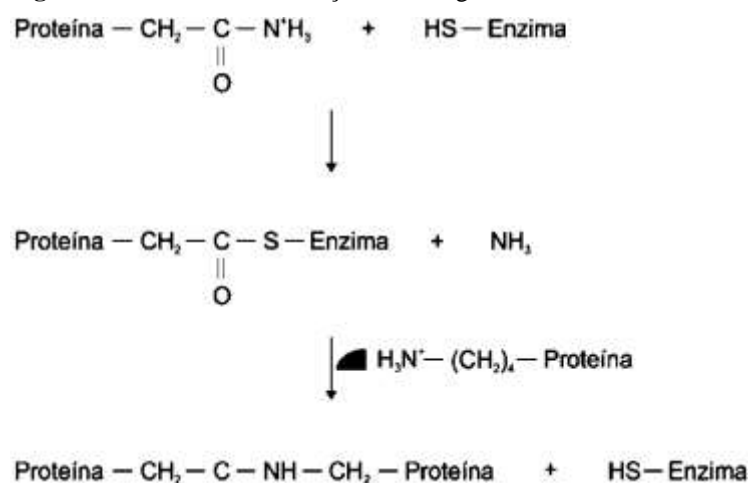
A importância dada a transglutaminase se deve à sua capacidade de reticular proteínas de diferentes alimentos. A melhora da funcionalidade da proteína da farinha de trigo, por exemplo, está associada à habilidade da enzima em formar grandes polímeros insolúveis, principalmente a partir de subunidades de glutenina de alto peso molecular. (MUJO; NG, 2003).

Figura 3 – Formas de interação da transglutaminase



Fonte: BAGAGLI, 2009

O mecanismo de reação catalisado pela transglutaminase ocorre da seguinte forma: o grupo tiol de uma cisteína ataca a cadeia lateral de um resíduo de glutamina acessível no substrato proteico, gerando um complexo acil-enzima, com liberação de amônia. Logo depois, uma amina primária ocupa o lugar da enzima formando uma glutamina carboxiamida modificada (Figura 4). Em casos de ligações que envolvam lisina, a ligação cruzada entre peptídeos, intra ou intermolecular acontece via N(γ -glutaminil) L-lisina. Tais reações com transglutaminase resultam na formação de complexos proteicos irreversíveis (MACEDO; SATO, 2005).

Figura 4 – Mecanismo de reação da transglutaminase

Fonte: BAGAGLI, 2009

A transglutaminase apresenta alto potencial catalítico, sendo capaz de promover interação entre as cadeias laterais de glutamina (C-terminal) com as cadeias laterais de lisina (N-terminal) (AHHMED *et al.*, 2009). Desse modo, nos produtos de panificação converte proteínas solúveis em polímeros insolúveis, fazendo com que a massa adquira maior elasticidade e viscosidade, melhorando a retenção de gases durante a fermentação de pães (ALTUNA; RIBOTTA; TADINI, 2016).

2.5 Conceito de pão

O pão é o produto de massa fermentada ou não, preparado com farinha de trigo ou outras farinhas que naturalmente contenham proteínas formadoras de glúten ou adicionadas da mesma e água, além de outros ingredientes que poderão ser acrescentados e que passa pelo processo de cocção em condições tecnologicamente adequadas. O produto pode ser classificado conforme os ingredientes ou processo de fabricação ou formato. Dentre os tipos de pães, têm-se o pão de forma, o qual apresenta miolo elástico e homogêneo, com poros finos e casca macia e fina (BRASIL, 2000).

Devido à grande importância dos pontos de vista econômico e nutricional, à quantidade com que são produzidas mundialmente e pela variedade e complexidade das reações ocorridas durante e após as suas preparações, o pão e os seus ingredientes são amplamente estudados. Além dos componentes essenciais das massas (farinha e água), outros ingredientes adicionais, tais como gorduras, açúcares, fermento, ovos, leite e conservantes são utilizados (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

Durante o seu processamento, os pães sofrem diversas reações: na primeira etapa ocorre o tratamento mecânico do qual resulta a homogeneização dos ingredientes, a formação de emulsões de lipídios, proteínas e água, a solubilização dos açúcares e o crescimento da massa em temperatura ambiente. A segunda etapa é caracterizada pelas reações dependentes de calor, ocorridas durante o cozimento da massa, causando a desnaturação das proteínas, a gelificação parcial ou total do amido e crescimento da massa. A terceira fase ocorre após o cozimento, em que se inicia a retrogradação do amido e redistribuição da água livre (BOBBIO; BOBBIO, 2001; CAUVAIN; YOUNG, 2009).

A farinha de trigo contém em quantidades adequadas as proteínas gliadina e glutenina, as quais formam o glúten durante o processo de mistura com a água, conferindo elasticidade e extensibilidade à massa e retendo o gás carbônico resultante da fermentação, o que causa o aumento do volume desejado (CANELLA-RAWIS, 2010).

No que se refere ao forneamento de pães, há um aumento progressivo da temperatura ao longo desse processo, em que os constituintes da massa e os microrganismos começam a ser afetados pelas condições térmicas, embora o efeito possua algumas variáveis, tais como tempo, temperatura, ingredientes da massa e estabilidade térmica dos microrganismos (MONDAL; DATTA, 2008).

A taxa de fermentação e o conseqüente incremento de gás nas células aumentam à medida que ocorre a elevação da temperatura de cozimento, até que seja atingida a temperatura de inativação do fermento, cerca de 45°C (ROSELL, 2016).

Anterior à desnaturação da levedura, o seu metabolismo é acelerado, como conseqüência do aumento da atividade amilolítica, devido à gelatinização do amido. A cada elevação de 10°C na temperatura, a ação da amilase é aproximadamente duas vezes maior (ROSELL, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa apresentou caráter experimental, com abordagem quantitativa. Foi desenvolvida nos Laboratórios de Tecnologia de Cereais e de Análise Sensorial da Universidade Federal do Ceará (UFC), no Laboratório de Bioeletroquímica da Universidade Federal do Piauí (UFPI), nos Laboratórios de Bromatologia e de Tecnologia de Alimentos da Universidade de Fortaleza (Unifor) e nos Laboratórios de Análise de Alimentos e de Fisiologia Pós-Colheita da Empresa Agroindústria Tropical.

3.1 Matérias-primas

As sementes de linhaça marrom (Nativity Produtos Naturais) e os ingredientes utilizados para a fabricação dos pães foram adquiridos em comércio local de Fortaleza-CE, com exceção da farinha de trigo tipo 1, que foi fornecida pelo Grande Moinho Cearense. As enzimas transglutaminase Glutemax TG, lote 092417 e xilanase Pentomax GF, lote J-825491116, foram cedidas pela empresa Prozyn®.

3.2 Métodos

3.2.1 *Processamento da farinha de linhaça*

As sementes de linhaça *in natura* foram trituradas em processador de alimentos, e peneiradas em um tamiz de granulometria igual a 0,84 mm. Em seguida, foram acondicionadas sob refrigeração para análises posteriores. O percentual de rendimento da farinha de linhaça foi calculado a partir da equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = (\text{Peso da semente } in\ natura - \text{Peso da farinha}) \times 100 \quad (1)$$

3.2.2 *Composição centesimal da farinha de linhaça marrom*

A composição centesimal da farinha de linhaça foi realizada no Laboratório de Cereais da UFC, no Laboratório de Bromatologia da Unifor e no Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Agroindústria Tropical.

3.2.2.1 Umidade

A umidade foi determinada através do método 925.10 da AOAC (2005), o qual consistiu na secagem da amostra em estufa de circulação forçada de ar QUIMIS a 105°C.

3.2.2.2 Cinzas

As cinzas foram obtidas de acordo com o método 923.03 (AOAC, 2005), a partir da calcinação da amostra em mufla QUMIS a 550°C por 12 horas.

3.2.2.3 Proteína

O teor de proteína foi obtido conforme o método 920.87 da AOAC (2005), o qual se baseia na determinação de nitrogênio, através da digestão de Kjeldhal, O fator para conversão de nitrogênio em proteína foi de 6,25.

3.2.2.4 Lipídios

A determinação de lipídios foi feita por sistema de extração sob alta pressão e alta temperatura em equipamento Ankom (ANKOM, 2009), conforme o método Am 5-04 da American Oil Chemist's Society (AOCS, 2005).

3.2.2.5 Carboidratos

A porcentagem de carboidratos foi calculada através da seguinte fórmula: % Carboidratos = 100% - (%proteínas + %lipídios + %cinzas) (AOAC, 2005).

3.2.2.6 Valor calórico total

O valor calórico foi determinado utilizando-se o sistema de Atwater, no qual multiplica-se os teores de carboidratos, proteínas e lipídios por 4; 4 e 9, respectivamente, somando-se os três resultados posteriormente (SANTOS, 2010).

3.2.3 Determinação de compostos fenólicos totais da farinha de linhaça

Os compostos fenólicos totais foram determinados com a utilização do reagente de Folin-Ciocalteu (MORAIS *et al.*, 2008) e leitura em espectrofotômetro UV/VIS a 700 nm. As curvas de calibração foram preparadas com ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g do produto.

3.2.4 Estudo do perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

A determinação do perfil de ácidos graxos e a estabilidade oxidativa do óleo de linhaça foram realizadas no Laboratório Bioeletroquímica da UFPI.

3.2.4.1 Extração do óleo de linhaça

A extração de lipídios foi realizada pelo método de Bligh; Dyer (1959), no qual a amostra foi higienizada e misturada ao clorofórmio e metanol (HARTMAN; LAGO, 1973), em proporção tal que um sistema monofásico fosse formado com água da amostra. Uma diluição e nova extração posteriores com volumes determinados de clorofórmio e água separou o sistema monofásico em duas camadas, formando um sistema bifásico: uma camada clorofórmica, mais pesada, contendo os lipídios, e uma camada metanólica, contendo a água e os compostos não lipídicos. A camada clorofórmica foi isolada e evaporada em banho-maria a 55 °C, com N₂. A amostra foi posteriormente armazenada sob refrigeração e protegida da luz para análise do perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas (CG-MS).

3.2.4.2 Determinação do perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça

O perfil de ácidos graxos foi determinado a partir da esterificação do extrato lipídico para obtenção de ésteres metílicos (HARTMAN; LAGO, 1973), a fim de se realizar a quantificação dos ácidos graxos em cromatógrafo a gás Trace GC Ultra – Thermo Scientific (Milão, Itália) acoplado com espectrômetro de massa modelo ISQ™ LT Single Quadrupole GC-MS System – Thermo Scientific. A separação cromatográfica foi realizada através de coluna cromatográfica capilar HP- 5MS Agilent DB-5 HT, tendo como gás de arraste o hélio, com vazão de 1 mL.min⁻¹, com a seguinte programação de temperatura para o forno:

temperatura inicial de 100 °C, seguida de elevação a 180 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, sendo mantida nessa temperatura por 1 minuto; finalizando com uma taxa de aquecimento de 4°C.min⁻¹ e elevada até 270 °C, mantendo-se nesta temperatura por 10 minutos. As temperaturas do injetor e do detector foram 270 °C e da fonte de íons, 280 °C. O tempo de análise total foi de 42,50 minutos. Os ácidos graxos foram identificados por comparação por meio de grupos de retenção e perfis de fragmentação de massa. Os resultados foram expressos em porcentagem relativa de cada ácido graxo, a partir da fração total.

3.2.4.3 Estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

A estabilidade oxidativa do óleo de linhaça foi determinada pelo Período de indução (PI), através do aparelho 873 Biodiesel Rancimat – Metrohm (Herisau, Suíça) de acordo com o método EN 14112 da European Committee for Standardization (2003). Esse método consiste em utilizar 3 gramas de amostra de óleo, os quais foram aquecidos a temperatura constante de 110 °C sob um fluxo de ar de 10 L.h⁻¹. Com o objetivo de fazer um estudo cinético também foram feitas análises da estabilidade oxidativa do óleo nas temperaturas de 80, 90, 100 e 120 °C. O tempo necessário para o aumento da condutividade da água foi calculado automaticamente por *software* do equipamento, correspondendo ao período de indução em horas.

3.2.5 Influência da adição de farinha de linhaça e enzimas sobre a qualidade de pães tipo forma

3.2.5.1 Testes preliminares para adição de farinha de linhaça à formulação de pães tipo forma

Foram realizados testes preliminares para adição de farinha de linhaça à formulação padrão de pães tipo forma. Por meio de um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), substituiu-se parcialmente a farinha de trigo da formulação padrão dos pães por diferentes porcentagens de farinha de linhaça, em níveis determinados por Schoenlechner *et al.* (2012). Geraram-se cinco formulações, conforme apresenta a Tabela 3: F1 (90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça), F2 (80% de farinha de trigo e 20% de farinha de linhaça), F3 (70% de farinha de trigo e 30% de farinha de linhaça), F4 (60% de farinha de trigo e 40% de farinha de linhaça) e F5 (50% de farinha de trigo e 50% de farinha

de linhaça), além da formulação padrão (FP), com 100% de farinha de trigo e 0% de farinha de linhaça. A formulação padrão dos pães seguiu a metodologia de El-Dash (1978).

Tabela 3 - Formulações utilizadas na elaboração de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça

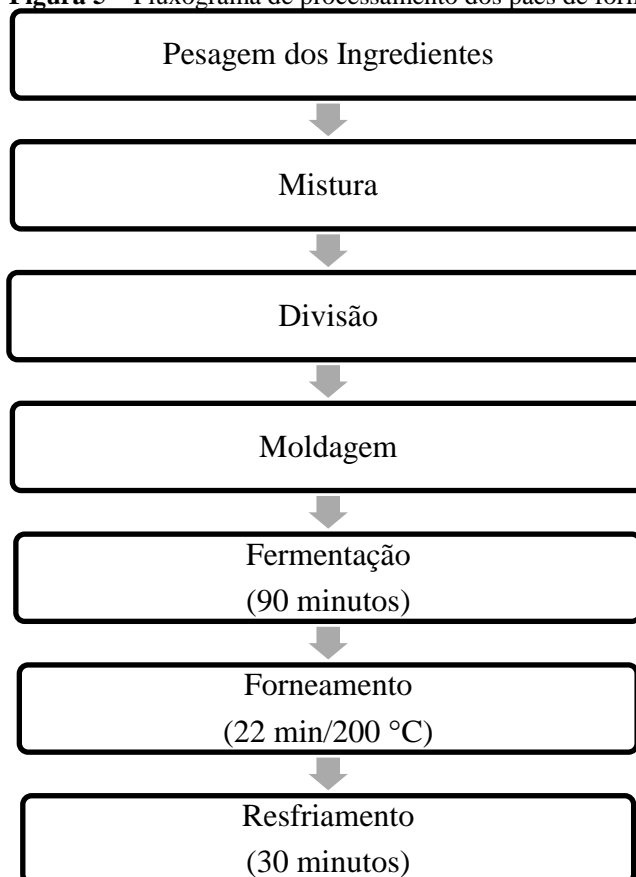
Ingredientes (%)	Formulações ¹					
	FP	F1	F2	F3	F4	F5
Farinha de trigo	100,0	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0
Farinha de linhaça	0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
Açúcar	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Gordura Vegetal Hidrogenada	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Fermento Biológico	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Sal	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75

Fonte: elaborada pelo autor.

¹ FP (formulação padrão de pão tipo forma); F1 (90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); F2 (80% de farinha de trigo e 20% de farinha de linhaça); F3 (70% de farinha de trigo e 30% de farinha de linhaça); F4 (60% de farinha de trigo e 40% de farinha de linhaça); F5 (50% de farinha de trigo e 50% de farinha de linhaça).

O processamento dos pães tipo forma está descrito no fluxograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma de processamento dos pães de forma



Fonte: elaborada pelo autor.

Os pães foram processados no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Unifor e no Laboratório de Cereais da UFC. O processamento dos pães seguiu o método convencional de massa direta. Os ingredientes foram pesados em balança semi-analítica e transferidos para uma misturadora semi-industrial. Os ingredientes, exceto a água e o sal, foram misturados por 1 minuto em velocidade baixa. Em seguida adicionou-se a água e misturou-se por 3 minutos na velocidade média e, por último, o sal, com mistura por 6 minutos em velocidade alta, para o completo desenvolvimento da massa. A massa foi moldada em porções de 200 g e em seguida, foi colocada em estufa durante 90 minutos, para que ocorresse o processo de fermentação. Os pães foram assados em forno industrial a 200 °C por 22 minutos e resfriados durante 30 minutos.

A formulação dos pães adicionados de farinha de linhaça que obteve resultados de volume específico, densidade e perfil de textura (firmeza, elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade) mais próximos à formulação padrão foi escolhida para a etapa seguinte do experimento.

3.2.5.2 Delineamento experimental para adição de enzimas à formulação de pães tipo forma adicionada de farinha de linhaça

A etapa posterior aos testes preliminares das formulações de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça consistiu na incorporação de enzimas transglutaminase e xilanase comerciais, em quantidades determinadas a partir de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Dessa forma, foi estudado o efeito combinado das duas variáveis independentes (transglutaminase e xilanase) para determinar a influência de interações da adição dessas enzimas nas formulações de pães tipo forma. O DCCR, de ordem 2^2 , e a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) foram utilizados para analisar as variáveis respostas ou dependentes: volume específico (mL/g), densidade (g/mL) e índice de expansão.

As variáveis independentes foram estabelecidas em cinco níveis codificados como -1,41, -1, 0, +1, +1,41. Os valores reais correspondentes a estes níveis encontram-se na Tabela 4. As variáveis e os níveis de variação foram estabelecidos de acordo com dados fornecidos na literatura (SCHOENLECHNER *et al.*, 2012; ALTUNA; RIBOTTA; TADINI, 2015; ALTUNA; RIBOTTA; TADINI, 2016).

Foram realizados 11 tratamentos: quatro fatoriais (combinação dos níveis -1 e $+1$), quatro axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e a outra em 0) e três centrais (as duas variáveis no nível 0). A matriz resultante do delineamento experimental é apresentada na Tabela 5.

Tabela 4 – Variáveis e níveis do experimento da adição de transglutaminase e xilanase na formulação otimizada de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça

Variáveis Independentes	Código	Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
		-1,41	-1	0	+1	+1,41
Transglutaminase	TG	3,17	4,00	6,00	8,00	8,83
Xilanase	Xil	3,96	5,00	7,50	10,00	11,04

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Matriz do delineamento composto central rotacional (DCCR) para as duas variáveis independentes transglutaminase e xilanase adicionadas à formulação otimizada de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça

Tratamento	TG (x_1)	Xil (x_2)	TG (%)	Xil (%)
1	-1	-1	4,00	5,00
2	-1	1	4,00	10,00
3	1	-1	8,00	5,00
4	1	1	8,00	10,00
5	-1,41	0	3,17	7,50
6	1,41	0	8,83	7,50
7	0	-1,41	6,00	3,96
8	0	1,41	6,00	11,04
9	0	0	6,00	7,50
10	0	0	6,00	7,50
11	0	0	6,00	7,50

Fonte: elaborada pelo autor.

As formulações dos pães do DCCR foram baseadas em El-Dash (1978), utilizando-se os mesmos ingredientes – com adição das enzimas – e etapas de processamento empregados na fabricação da formulação otimizada de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça (Figura do item 3.2.5.1).

3.2.6 Avaliação tecnológica dos tratamentos obtidos a partir do delineamento experimental

Os onze tratamentos gerados a partir do delineamento experimental foram analisados quanto aos parâmetros tecnológicos de volume específico, densidade e índice de expansão.

3.2.6.1 Volume Específico

O volume específico dos pães foi obtido através do método n°10-11 da AACC (2000). Após a pesagem das amostras em balança semi-analítica, o volume dos pães assados foi medido, em triplicata, por meio do deslocamento de sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). O método consiste no preenchimento de recipiente plástico e transparente com semente de painço. Em seguida, uma parte das sementes foi substituída pela amostra e o volume completado até a borda e nivelado com auxílio de régua plástica. As sementes remanescentes, correspondente ao volume deslocado pela amostra, foram colocadas em proveta graduada, com expressão do resultado em mL. O volume específico foi calculado através da equação 2:

$$\text{Volume específico} \left(\frac{mL}{g} \right) = \frac{\text{Volume deslocado (mL)}}{\text{Peso da amostra assada (g)}} \quad (2)$$

3.2.6.2 Densidade

A densidade foi calculada a partir da razão entre a massa (g) dos pães assados e seu respectivo volume deslocado (mL), conforme a equação 3:

$$\text{Densidade} \left(\frac{g}{mL} \right) = \frac{\text{Peso da amostra assada (g)}}{\text{Volume deslocado (mL)}} \quad (3)$$

3.2.6.3 Índice de Expansão

O Índice de Expansão (IE) foi calculado segundo a equação 4, utilizando-se porções de massas moldadas moldadas de forma cilíndrica, de 10 gramas, aproximadamente, determinando-se o seu diâmetro e altura, nos início da fermentação e após o forneamento.

$$\text{Índice de Expansão (IE)} = \frac{\frac{(D_p + H_p)}{2}}{\frac{(D_m + H_m)}{2}} \quad (4)$$

Onde:

D_p – Diâmetro do pão após o forneamento;

H_p – Altura do pão após o forneamento;

D_m – Diâmetro da massa moldada;

H_m – Altura da massa moldada;

3.2.7 Composição centesimal da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e da formulação controle

A formulação otimizada dos pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas foi analisada quanto à sua composição centesimal, de acordo com os métodos descritos nos itens 3.2.2.1 a 3.2.2.6. Realizou-se também a caracterização das formulações controles: a formulação de pão com substituição de farinha de trigo por farinha de linhaça (formulação escolhida dos testes preliminares) e a formulação padrão de pão tipo forma. Para a determinação de proteínas dos pães, considerou-se um fator de conversão de 5,70.

3.2.8 Determinação de compostos fenólicos totais da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e da formulação controle

O teor de compostos fenólicos totais da formulação otimizada de pães tipo forma com adição de farinha de linhaça e enzimas foi analisado de acordo com o método descrito no item 3.2.3. Foram determinados também os compostos fenólicos totais da formulação de pão tipo forma com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de linhaça (formulação escolhida nos testes preliminares) e da formulação controle de pão tipo forma.

3.2.9 Avaliação tecnológica da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e da formulação controle

Realizou-se análise dos parâmetros tecnológicos de textura do miolo e de cor do miolo da formulação otimizada de pães tipo forma com adição de farinha de linhaça e enzimas, da formulação de pão tipo forma com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de linhaça (formulação escolhida nos testes preliminares) e da formulação controle de pão tipo forma.

3.2.9.1 Análise de textura do miolo

A análise de textura dos pães foi realizada no Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Agroindústria Tropical. A textura instrumental do miolo das formulações de pães tipo forma foi determinada através do analisador de textura TA–XT2i (Stale Micro Systems) com probe de alumínio (P/35), pelo método de TPA (Texture Profile Analysis) aplicável para pão. Os testes foram realizados sob as seguintes condições: Velocidade do Pré-Teste: 2,0 mm/s; Velocidade do Teste: 2,0 mm/s; Velocidade do Pós-Teste: 2,0 mm/s; Distância: 10 mm; Tempo: 5 segundos; Força: 20g. Os parâmetros mecânicos analisados foram firmeza (g); coesividade, elasticidade (mm), gomosidade (g), mastigabilidade (N). A análise foi feita pela compressão do probe sobre fatias centrais dispostas horizontalmente na plataforma, em três repetições.

3.2.9.2 Análise de cor do miolo

A análise de cor do miolo foi realizada no Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical. A cor do miolo das formulações de pães tipo forma foi determinada em colorímetro Chroma Meter CR-140 – Konica Minolta, padronizado com fonte de luz D65 (luz do dia incluindo a radiação UV) pelo método nº 14-22, AACCC (2000). A área de mensuração do aparelho foi de 50 mm de diâmetro e o ângulo de medição de 0° C com especular incluída. Foi utilizado o sistema de cor CIELab onde L* (luminosidade – branco/preto), cromaticidade a* (eixo verde/vermelho) e cromaticidade b* (eixo azul/amarelo). Para a leitura da cor do miolo o pão foi cortado no sentido transversal e tomou-se o cuidado de posicionar o canhão de leitura do equipamento exatamente no centro da fatia e imediatamente após o corte. As leituras foram realizadas em triplicata.

3.2.10 Análise sensorial

O teste sensorial foi realizado no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEAL) da UFC. O protocolo foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFC, sob o parecer nº 2.481.597 (ANEXO A), atendendo as determinações da Resolução nº 466 de 12 de dezembro de 2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), que trata de pesquisas envolvendo seres humanos (BRASIL, 2012).

O teste consistiu na análise de três amostras: a formulação otimizada de pão tipo forma adicionado de farinha de linhaça e enzimas, a formulação de pão tipo forma com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de linhaça (formulação escolhida nos testes preliminares) e a formulação controle de pão tipo forma.

O teste foi aplicado a 60 provadores não treinados e escolhidos ao acaso, consumidores de pão tipo forma. Os participantes foram caracterizados quanto ao gênero e idade e após lerem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A), foram convidados a assiná-lo, consentindo a sua participação.

As amostras foram mantidas em temperatura ambiente até o momento da análise. A degustação dos pães foi realizada em cabines individuais, sob iluminação controlada (luz branca, fluorescente). Uma amostra de cada formulação foi servida de forma balanceada (MACFIE *et al.*, 1989), codificado com números aleatórios de três dígitos (WALKELING; MACFIE, 1995), acompanhada de água mineral em temperatura ambiente para limpeza do palato antes e entre a degustação.

A avaliação global e dos atributos aparência, cor, aroma, sabor e textura foi avaliada por meio de uma escala hedônica mista de 9 pontos, variando de 9 – “gostei muitíssimo” a 1 – “desgostei muitíssimo”, com ponto intermediário 5 – “nem gostei, nem desgostei”. O teste de intenção de compra foi realizado utilizando escala verbal de 5 pontos, pré-definida em “certamente não compraria” = 1 a “certamente compraria” = 5 e, no ponto intermediário “tenho dúvidas se compraria” = 3 (região de indecisão) (APÊNDICE B).

3.2.11 Análise estatística

O tratamento estatístico da pesquisa foi realizado por meio do *software* Statistica 10.0 (Statsoft). Os parâmetros volume específico, densidade e perfil de textura provenientes dos testes preliminares para adição de farinha de linhaça na formulação de pães tipo forma foram analisados quanto à média, desvio padrão e comparação de médias, por meio do teste de *Tukey*, adotando-se um nível de significância de 5% (p -valor $<0,05$).

A avaliação dos parâmetros de volume específico, densidade e índice de expansão, obtidos a partir do delineamento experimental para uso de enzimas na formulação de pães tipo forma foi realizada por meio dos coeficientes de regressão, considerando-se um nível de significância de 10% (p -valor $<0,1$), devido a grande variabilidade intrínseca aos processos que utilizam enzimas (RODRIGUES; IEMMA, 2014), análise de variância (ANOVA), superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno.

A avaliação dos efeitos das variáveis independentes nos parâmetros dos pães foi realizada seguindo-se o modelo de regressão de segunda ordem, conforme mostra a equação 4:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_2 X_2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (4)$$

Onde:

Y = Variável dependente;

β_0 = Constante do intercepto;

X_1 e X_2 = variáveis independentes;

β_1 e β_2 = Coeficientes de efeitos lineares;

β_{11} e β_{22} = Coeficientes de efeitos quadráticos;

β_{12} = Coeficiente de efeito e interação entre as variáveis.

Os modelos matemáticos, obtidos a partir da análise de regressão, foram validados utilizando-se a ANOVA. Nos modelos observou-se ainda a significância da regressão pelo teste *F* e o coeficiente de determinação (R^2). A partir da equação de regressão obtida, foram construídas as superfícies de resposta para a obtenção dos pontos ótimos do experimento. Desejou-se uma formulação com parâmetros tecnológicos próximos à de uma formulação padrão de pão tipo forma.

A análise estatística da composição centesimal, compostos fenólicos totais, perfil de textura, análise de cor e análise sensorial da formulação otimizada de pão tipo forma adicionado de farinha de linhaça e enzimas, da formulação de pão tipo forma com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de linhaça (formulação escolhida nos testes preliminares) e da formulação controle de pão tipo forma foi realizada calculando-se a média, desvio padrão e teste de *Tukey*, adotando-se um nível de significância de 5% (p -valor < 0,05).

Para efeito de análise estatística dos dados sensoriais, as categorias da escala hedônica foram associadas a valores numéricos, a saber: 9 = “gostei muitíssimo”; 8 = “gostei muito”; 7 = “gostei moderadamente”; 6 = “gostei ligeiramente”; 5 = “nem gostei, nem desgostei”; 4 = “desgostei ligeiramente”; 3 = “desgostei moderadamente”; 2 = “desgostei muito”; 1 = “desgostei muitíssimo”. Os dados de aceitação foram submetidos à cálculo de média, desvio padrão, análise de variância e teste de *Tukey*, com um nível de significância de 5% (p -valor < 0,05). Os dados de intenção de compra foram representados por meio de histogramas de frequência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento da farinha de linhaça marrom

Após a trituração das sementes de linhaça e posterior peneiração para separar as partículas da casca do restante do grão, pesou-se a farinha, obtendo-se um rendimento de 70%.

4.2 Composição centesimal da farinha de linhaça marrom

A composição centesimal da farinha da linhaça marrom apresentou um alto teor de lipídios (41,31%), enquanto que o percentual de proteína foi igual a 17,56% (Tabela 6). Mueller *et al.* (2010) obtiveram valores de cinzas e lipídios iguais a 3,5% e 45,2%, respectivamente, enquanto o teor de proteína foi de 23,4%.

Zou *et al.* (2017) ao estudarem 13 cultivares de linhaça, encontraram valores de umidade que variaram entre 5,66 e 7,55%, porcentagem de cinzas entre 2,76 e 3,63%, valores de proteína mínimo de 21,0% e máximo de 27,0% e teor de lipídios em uma faixa de 28,9 a 41,4%, sendo este último percentual bastante próximo do encontrado na atual pesquisa.

Mueller *et al.* (2010) obtiveram valores de cinzas e lipídios iguais a 3,5% e 45,2%, respectivamente, enquanto o teor de proteína foi de 23,4%.

Tabela 6 – Composição centesimal e valor energético da farinha de linhaça marrom

Análises	Resultados
Umidade (%)	4,85±0,10
Cinzas (%)	3,28±0,02
Proteína (%)	17,56±0,66
Lipídios (%)	41,31±0,56
Carboidratos (%)	33,00
Valor Energético (Kcal)	574,03

Fonte: elaborada pelo autor.

4.3 Compostos fenólicos totais da farinha de linhaça

A partir da análise de compostos fenólicos da farinha de linhaça, obteve-se um teor de 211,53±1,09. Estudo desenvolvido por Kaur; Singh; Kaur (2017) apresentou resultado inferior ao da atual pesquisa, 91,8 mg EAG/100g. Os compostos fenólicos são compostos associados a benefícios à saúde, principalmente relacionados à atividade antioxidante.

Destacam-se os ácidos fenólicos e as lignanas, os quais estão associados às propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, antitrombóticas, antialérgicas, antiaterogênicas, antioxidantes vasodilatadoras (BALASUNDRAM; SUNDRAN; SAMMAN, 2006). Os ácidos fenólicos são constituídos principalmente de ácido p-hidroxibenzóico, ácido clorogênico e ácido ferúlico, concentrados principalmente na parte não lipídica da linhaça (TAYLOR, 2011).

4.4 Estudo do perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

4.4.1 Perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça

A Tabela 7 e a Figura 6 ilustram o resultado do perfil de ácidos graxos presentes na amostra de óleo de linhaça obtido por rota metálica, resultando nos ésteres correspondentes aos ácidos graxos que compõem tal óleo.

O cromatograma da Figura 6 apresenta picos de diferentes intensidades e tempos de retenção, sendo o de maior intensidade na amostra, o éster de ácido linolênico (C18:3), seguido do oleico (C 18:1), linoleico (C 18:2) e dos saturados esteárico (C18:0) e palmítico (C16:0) com menores intensidades.

Tabela 7 – Perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça

Ácidos graxos	Percentual (%)
Ácido linolênico (C 18:3)	53,58
Ácido oleico (C 18:1)	25,98
Ácido linoleico (C 18:2)	15,54
Ácido esteárico (C18:0)	4,24
Ácido palmítico (C16:0)	0,66

Fonte: elaborada pelo autor.

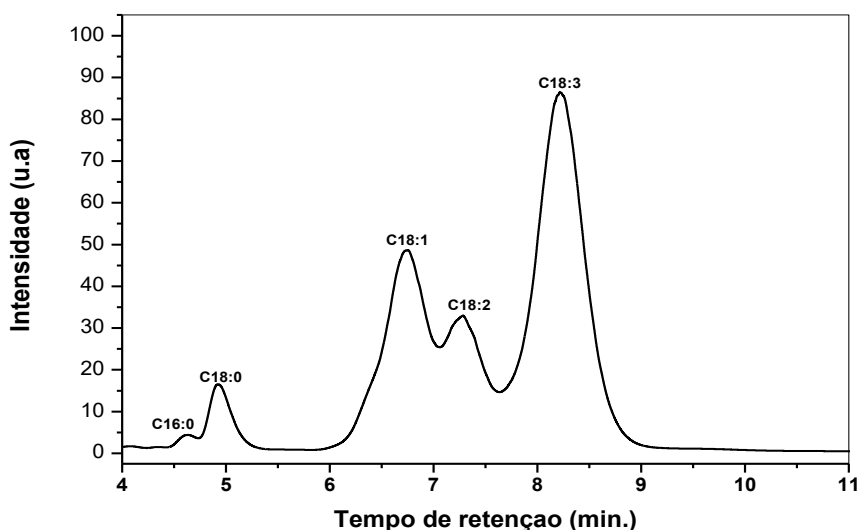
O perfil de ácidos graxos se assemelha ao encontrado por Zou *et al.* (2017), que obtiveram valores entre 45,5 e 55,8% para a série C18:3; 12,2 e 14,5% para C18:2; 17,4 e 25,3% para C18:1; 3,35 e 6,45% para C18:0; e 4,66 e 5,71% para C16:0.

Os ácidos graxos insaturados possuem diversos benefícios associados à saúde. Entre eles estão a proteção cardiovascular, associando-se a um menor risco de desenvolvimento de aterosclerose, além de estar associado à diminuição da pressão sanguínea e triglicerídeos. Contudo, é necessária a realização de mais pesquisas para se determinar um consenso em relação aos benefícios de saúde do óleo de linhaça (EDEL; ALIANI; PIERCE, 2015).

Os ácidos graxos monoinsaturados, como o ácido oleico, está associado a prevenção de doenças cardiovasculares por diminuir o LDL-colesterol e aumentar o HDL-colesterol. Esses ácidos estão presentes em maior quantidade em óleos, como de linhaça e de oliva. Os ácidos graxos saturados, principalmente o C14:0, tem maior associação com o aumento da concentração plasmática de colesterol, por uma redução de receptores LDL no fígado. Ácidos graxos saturados C18:0 (ácido esteárico, por exemplo) parecem ter efeito neutro sobre o aumento de colesterol (COSTA; ROSA, 2010; SANTOS *et al.*, 2013).

A partir das informações sobre o percentual de lipídios totais da farinha de linhaça (41,31%) e da porcentagem de ácido α -linolênico presente no óleo desta matéria-prima (53,58%), verifica-se que a farinha de linhaça (100 g) contém um total de 22,14 mL de ácido α -linolênico. Aplicando-se às recomendações do *Institute of Medicine* (IOM) para o consumo desse ácido graxo (1,6 g para homens a partir de 14 anos e 1,1 g para mulheres com idade igual ou superior a 14 anos), constata-se que a ingestão diária de 7,22 g de farinha de linhaça, para homens, e 4,96 g para mulheres pode suprir a necessidade diária de ácido α -linolênico.

Figura 6 – Picos de intensidade referentes ao perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça



Fonte: elaborada pelo autor.

4.4.2 Estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

A Tabela 8 apresenta o período de indução de óleo de linhaça, quando submetido a diferentes temperaturas. Observou-se que o período de indução diminuiu conforme o acréscimo da temperatura, o que mostra que temperaturas mais elevadas (neste caso 110 °C e

120 °C) promovem uma menor estabilidade oxidativa do óleo de linhaça. Tal fato se deve à composição deste óleo, formado principalmente por ácidos graxos insaturados, os quais têm as suas duplas ligações ou insaturações desfeitas com o aquecimento.

Tabela 8 - Período de Indução (horas) do óleo de linhaça em diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	ln(PI)	PI (horas)
80	1,324419	3,76
90	1,022451	2,78
100	0,307485	1,36
110	-0,11653	0,89
120	-0,77653	0,46

Fonte: elaborada pelo autor.

Berto *et al.* (2017) também estudaram a estabilidade oxidativa do óleo de linhaça, obtendo um PI de 2,4 horas a 110 °C e 9,7 horas 70 °C. Redondo-Cuevas *et al.* (2018) estudaram a estabilidade oxidativa de 22 diferentes gorduras e óleos e verificaram que o óleo de milho apresentou um período de indução de 0,84 horas, sendo o que que mais se assemelha ao óleo de linhaça, ao contrário do óleo de coco prensado a frio, que mostrou-se mais estável, com um período de indução de 65,01 horas. O óleo de coco, por conter grande quantidade de ácido láurico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$), um ácido graxo saturado, torna-se menos propenso à degradação oxidativa.

Os métodos de determinação acelerada apresentam resultados em menor tempo, reduzindo assim o consumo de reagentes. Como desvantagem, esses métodos tem uma validade restrita, pois o mecanismo de oxidação é modificado à medida que o óleo é submetido ao aquecimento, à luz ou contato com metais. Os testes realizados em temperatura ambiente têm resultados mais próximos da estocagem real (CINI *et al.*, 2013)

4.5 Influência da adição de farinha de linhaça e enzimas sobre a qualidade de pães tipo forma

4.5.1 Influência da adição de farinha de linhaça sobre a qualidade de pães tipo forma

Nas formulações da primeira etapa do Delineamento Experimental, que consistiu na substituição parcial de farinha de trigo por farinha de linhaça, por meio de um Delineamento Inteiramente Casualizado, foram avaliados os parâmetros de volume específico e densidade (Tabela 9). Observou-se que as formulações F1 e F3 alcançaram um volume

específico mais próximo da formulação padrão, não diferindo estatisticamente entre si. O mesmo ocorreu para os resultados de densidade, em que as formulações acima citadas apresentaram um valor igual 0,43 g/mL. A substituição de 50% apresentou volume específico inferior a 2,00 mL/g e densidade superior a 0,50 g/mL, comprometendo a características físicas do produto.

A adição de ingredientes que contenham grandes quantidades de fibras impede uma maior retenção de gás carbônico produzido pelas leveduras, por influenciar negativamente na formação da rede de glúten. A diminuição do volume específico está associada ao maior teor de fibras, especialmente insolúveis, ou ainda à diluição do glúten ou a interação entre o glúten e as fibras (BELGHITH FENDRI *et al.*, 2016).

Em estudo realizado por Wandersleben *et al.* (2018), no qual foram adicionadas farinhas ricas em fibras, incluindo a da linhaça para a fabricação de pães, observou-se uma redução no volume específico do produto.

Tabela 9 – Volume específico e densidade das formulações de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça

Formulações¹	Volume Específico (mL/g)	Densidade (g/mL)
F1	2,35 ^{ac} ±0,10	0,43 ^{cd} ±0,02
F2	2,16 ^{bc} ±0,09	0,46 ^{bc} ±0,02
F3	2,35 ^{ac} ±0,33	0,43 ^{cd} ±0,06
F4	1,91 ^{bc} ±0,02	0,52 ^{ab} ±0,01
F5	1,74 ^b ±0,11	0,58 ^a ±0,04
FP	2,79 ^a ±0,26	0,36 ^d ±0,03

Fonte: elaborada pelo autor.

Letras distintas em uma mesma coluna apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

¹F1 (90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); F2 (80% de farinha de trigo e 20% de farinha de linhaça); F3 (70% de farinha de trigo e 30% de farinha de linhaça); F4 (60% de farinha de trigo e 40% de farinha de linhaça); F5 (50% de farinha de trigo e 50% de farinha de linhaça); FP (formulação padrão de pão tipo forma).

Ao analisar o perfil de textura (Tabela 10), verificou-se que houve um aumento no parâmetro de firmeza em todas as formulações contendo farinha de linhaça, com diferenças significativas entre as formulações F2, F3 e F4 e a formulação padrão. As formulações contendo 10% e 50% de farinha de linhaça em substituição à farinha de trigo (F1 e F5, respectivamente) apresentaram valores de firmeza mais próximos à formulação padrão, não diferindo significativamente entre si.

A adição gradativa de matérias-primas ricas em fibras contribui para o aumento da firmeza em produtos de panificação. Portanto, o fato de a formulação F5 ter apresentado um valor baixo para firmeza, mesmo contendo uma maior quantidade de farinha de linhaça, pode

ser explicado devido ao fato de que uma maior quantidade de ingredientes ricos em fibras prejudica a estrutura do pão, requerendo do equipamento uma menor força para a sua ruptura. A firmeza (ou dureza) dos pães tem relação com a força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra, correlacionando-se com a mordida humana durante a ingestão do produto (ESTELLER; LANNES, 2005).

Tabela 10 – Perfil de textura das formulações de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça

Formulações	Firmeza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade
F1	1660,70 ^{ab} ±264,20	0,54 ^{ab} ±0,03	0,59 ^b ±0,06	938,24 ^{abc} ±78,74	508,09 ^{abc} ±70,31
F2	1944,75 ^b ±337,09	0,72 ^b ±0,03	0,44 ^{cd} ±0,02	861,78 ^{abc} ±167,89	623,53 ^{ac} ±150,55
F3	2049,13 ^b ±686,81	0,72 ^b ±0,13	0,51 ^{bcd} ±0,08	1014,48 ^{ab} ±280,39	718,56 ^c ±174,20
F4	2135,11 ^b ±350,37	0,57 ^{ab} ±0,02	0,55 ^{bc} ±0,03	1175,18 ^a ±125,46	668,47 ^c ±97,26
F5	1594,32 ^{ab} ±308,69	0,49 ^a ±0,02	0,39 ^d ±0,02	621,10 ^{bc} ±96,57	300,84 ^b ±50,76
FP	661,65 ^a ±178,09	0,64 ^{ab} ±0,06	0,78 ^a ±0,03	513,87 ^c ±124,51	328,61 ^{ab} ±72,74

Fonte: elaborada pelo autor.

Letras distintas em uma mesma coluna apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

¹F1 (90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); F2 (80% de farinha de trigo e 20% de farinha de linhaça); F3 (70% de farinha de trigo e 30% de farinha de linhaça); F4 (60% de farinha de trigo e 40% de farinha de linhaça); F5 (50% de farinha de trigo e 50% de farinha de linhaça); FP (formulação padrão de pão tipo forma).

A elasticidade do produto é definida como o valor de recuperação do alimento deformado após a remoção da força deformadora (FABER; JAISHANKAR; MCKINLEY, 2017). A formulação padrão não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparada às demais formulações. Dentre as formulações contendo farinha de linhaça, a F2 (20% de farinha de linhaça) e F3 (30% de farinha de linhaça) apresentaram maior elasticidade, sem diferença significativa entre elas. A elasticidade em pães é resultado principalmente da proteína gliadina, responsável juntamente com a glutenina pela formação do glúten (CAUVAIN; YOUNG, 2009).

Em relação à coesividade, a formulação padrão diferiu significativamente das demais formulações. Dentre as formulações contendo farinha de linhaça, as formulações com 10%, 30% e 40% de linhaça apresentaram maior valor para o parâmetro, ficando mais próximo do padrão. A manutenção da coesividade em pães e derivados de trigo está relacionada com interações moleculares das pontes de hidrogênio, pontes dissulfeto, além de ligações cruzadas onde participam íons metálicos e a mobilidade de água na massa (ESTELLER; LANNES, 2005).

A gomosidade, definida como o aumento da energia requerida para desintegrar um alimento sólido em semi-sólido, a ponto de torna-lo apto para a deglutição (SILVA *et al.*,

2013), foi aumentada conforme o incremento. Dessa forma, a formulação com 10% de farinha de linhaça apresentou um menor valor de gomosidade em relação à formulação com 40%. Entretanto, a formulação com 50% de farinha de linhaça mostrou um baixo valor para o parâmetro estudado, o que não era esperado. Tal fato pode estar relacionado à maior quantidade de gomas e outras fibras, além dos lipídios da linhaça, contribuindo para um produto menos sólido, não requerendo grande energia para a sua desintegração.

A mastigabilidade pode ser definida como a energia requerida para mastigar um alimento sólido até o ponto de conseguir ser deglutido (CARR *et al.*, 2006). As formulações contendo 10%, 20% e 50% de farinha de linhaça não diferiram significativamente da formulação padrão. O fato de a F5 apresentar baixa mastigabilidade (300,84) pode ser atribuído à composição desta formulação (maior teor de farinha de linhaça), contribuindo para um pão mais sensível à deformação, assim como visto em parâmetros anteriores.

O perfil de textura mostrou que a firmeza das formulações contendo 10% e 50% de farinha de linhaça não apresentou diferença estatística em comparação à formulação padrão, caracterizando um produto com esse aspecto mais próximo à formulação tradicional. No entanto, a formulação com 50% de farinha de linhaça comportou-se com maior sensibilidade à deformação do produto, o que poderia comprometer a qualidade do produto desejado. Desse modo, optou-se pela formulação com 10% de farinha de linhaça para a aplicação de enzimas por meio do delineamento experimental.

4.5.2 Influência da adição de enzimas sobre a qualidade de pães tipo forma

As variáveis respostas do DCCR apresentaram os seguintes valores (Tabela 11).

Tabela 11 – Matriz do delineamento composto central rotacional e suas variáveis independentes e respostas

Tratamento	TG ¹ (x ₁)	Xil ² (x ₂)	TG (x ₁)	Xil (x ₂)	VE ³ (mL/g)	Densidade (g/mL)	Índice de Expansão
1	-1	-1	4,00	5,00	2,21	0,45	1,05
2	-1	1	4,00	10,00	2,11	0,47	1,06
3	1	-1	8,00	5,00	2,12	0,47	1,02
4	1	1	8,00	10,00	2,04	0,49	1,05
5	-141	0	3,17	7,50	2,01	0,50	1,05
6	1,41	0	8,83	7,50	1,97	0,51	1,06
7	0	-1,41	6,00	3,96	2,24	0,45	1,05
8	0	1,41	6,00	11,04	2,28	0,44	1,01
9	0	0	6,00	7,50	2,45	0,41	1,08
10	0	0	6,00	7,50	2,71	0,37	1,07
11	0	0	6,00	7,50	2,28	0,44	1,08

Fonte: elaborada pelo autor.

¹ TG = transglutaminase; ² Xil = xilanase; ³ VE = volume específico.

4.5.2.1 Influência da adição de enzimas sobre o volume específico de pães tipo forma

A Tabela 12 mostra os coeficientes de regressão e seus respectivos p -valores para o parâmetro volume específico. Conforme os resultados, apenas a transglutaminase, nos fatores linear e quadrático, teve influência sobre o volume específico dos pães (p -valor $< 0,1$). Porém, apenas o fator linear dessa variável independente influenciou de maneira positiva no parâmetro. Os demais fatores foram incorporados aos resíduos para cálculo da ANOVA.

Tabela 12 – Coeficientes de regressão para a variável resposta Volume específico, de acordo com o delineamento experimental

	Coeficientes de regressão	Erro puro	t (5)	p – valor
Média	-0,594733	1,044227	-0,56954	0,593620
TG(L)¹	0,741420	0,210252	3,52634	0,016805
TG(Q)¹	-0,063906	0,014955	-4,27316	0,007915
Xil(L)	0,247328	0,168201	1,47043	0,201404
Xil(Q)	-0,017300	0,009571	-1,80747	0,130496
TG x Xil	0,001000	0,014216	0,07035	0,946646

Fonte: elaborada pelo autor.

TG = transglutaminase; Xil = xilanase; L = fator linear; Q = fator quadrático.

¹ Fatores significativos.

A Tabela 13 mostra que o modelo apresentou um R^2 igual 0,7953, indicando que o modelo explica 79,53% dos dados, ajustando-se razoavelmente aos dados experimentais. A ANOVA mostrou ainda um $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$, não se rejeitando, portanto, a hipótese de adequabilidade dos coeficientes ao nível de 90% de confiança.

Tabela 13 – Análise de Variância (ANOVA) para a variável resposta Volume específico, de acordo com o delineamento experimental

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F calculado
Regressão	0,3793	2	0,1896	8,98
Resíduos	0,1691	8	0,0211	
Total	0,5484	10	-	-

Fonte: elaborada pelo autor.

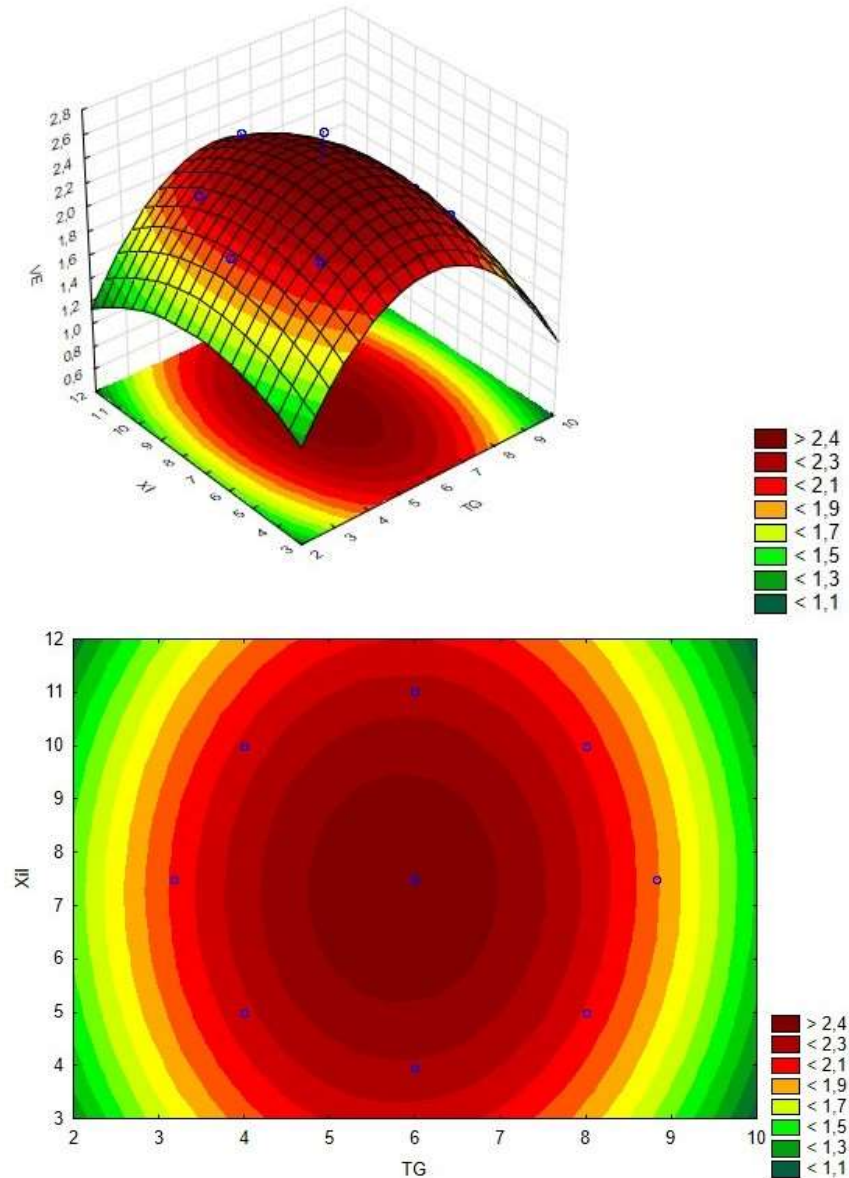
% variável explicada (R^2) = 0,7953

$F_{\text{tab}}(2; 8; 0,10) = 3,11$.

Tais resultados validam o modelo matemático gerado para a variável volume específico, o qual pode ser utilizado para descrever o modelo, conforme a equação 5. Assim, foi possível a construção da superfície de resposta e curvas de contorno para o modelo proposto (Figura 7).

$$\text{Vol. Esp.} = -0,59 + 0,74T(L) - 0,06 T(Q) + 0,24X(L) - 0,01X(Q) + 0,001TX \quad (5)$$

Figura 7 – Superfície de Resposta e Curvas de Contorno para a variável resposta Volume específico, em diferentes concentrações transglutaminase e xilanase



Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se na Figura 7 que apenas 1 tratamento encontra-se na região ótima da superfície (cor mais avermelhada), correspondendo à média dos pontos centrais (9, 10 e 11; TG: 7,5% e Xil: 6,0%). Ressalta-se ainda que esta região ótima abrange quantidades de transglutaminase entre 5% e 7%, aproximadamente e entre 5,5 e 9,5% para xilanase.

4.5.2.2 Influência da adição de enzimas sobre a densidade de pães tipo forma

A Tabela 14 apresenta os coeficientes de regressão, erro puro, valor de t e p-valores para o parâmetro densidade. Assim como ocorreu para o volume específico, somente a transglutaminase, nos fatores linear e quadrático, apresentou influência significativa sobre a densidade (p-valor <0,1). Porém, apenas o fator quadrático mostrou influência positiva sobre a densidade. Os demais fatores foram incorporados aos resíduos para cálculo da ANOVA.

Tabela 14 – Coeficientes de regressão para a variável resposta densidade de acordo com o delineamento experimental

	Coeficientes de regressão	Erro puro	t (5)	p – valor
Média	0,969167	0,178928	5,41651	0,002903
TG(L)¹	-0,140366	0,036027	-3,89618	0,011453
TG(Q)¹	0,011979	0,002563	4,67464	0,005460
Xil(L)	-0,041707	0,028821	-1,44709	0,207519
Xil(Q)	0,002867	0,001640	1,74791	0,140901
TG x Xil	-0,000000	0,002436	-0,00000	1,000000

Fonte: elaborada pelo autor.

TG = transglutaminase; Xil = xilanase; L = fator linear; Q = fator quadrático.

¹ Fatores significativos.

A Tabela 15 apresenta os valores da ANOVA. O R² indicou que o modelo explica 81,99% dos dados. O F_{calc} mostrou-se maior que o F_{tab}, o que significa que hipótese de adequabilidade dos coeficientes ao nível de 90% de confiança não foi descartada.

Tabela 15 – Análise de Variância (ANOVA) para a variável resposta Densidade, de acordo com o delineamento experimental

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F calculado
Regressão	0,0133	2	0,0066	11,00
Resíduos	0,0049	8	0,0006	
Total	0,0182	10		

Fonte: elaborada pelo autor;

% variável explicada (R²) = 0,8199;

F_{tab} (2; 8; 0,10) = 3,11.

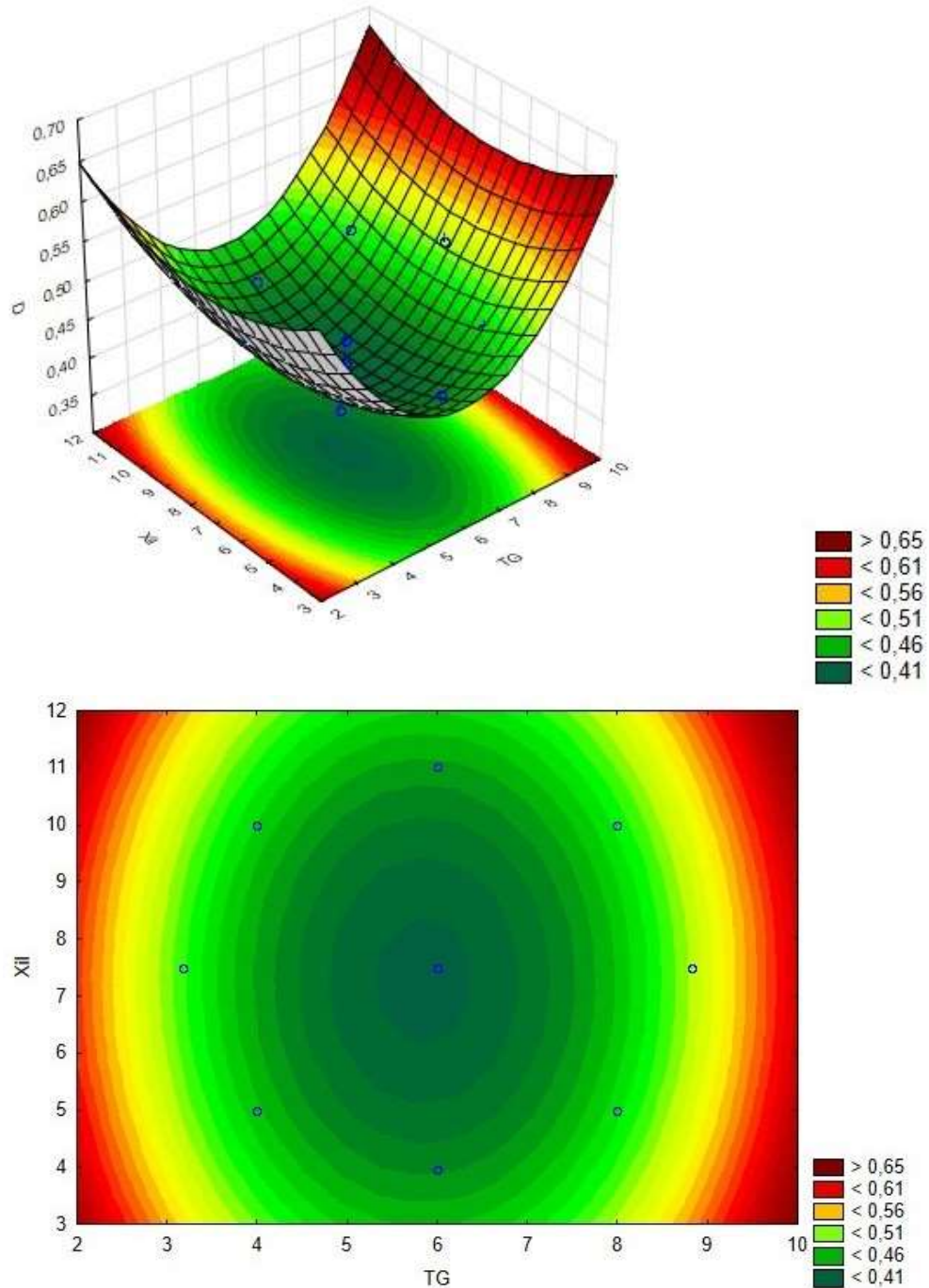
Os valores de R² e F_{cal} foram satisfatórios, validando o modelo matemático gerado para a variável resposta densidade, conforme mostrado na equação 6. Foi possível também construir a superfície de resposta e curvas de contorno para o modelo proposto (Figura 8).

$$\text{Densidade} = 0,97 - 0,14T(L) - 0,01 T(Q) - 0,04X(L) + 0,002X(Q) \quad (6)$$

A superfície de resposta (Figura 8) para a variável densidade mostrou que apenas 1 tratamento encontra-se na região ótima, que para esta caso é representada pela cor verde

escuro, o que corresponde à menor densidade, como é desejável para pães. Este ponto correspondendo à média dos pontos centrais (9, 10 e 11; TG: 7,5% e Xil: 6,0%). A região ótima correspondeu a porcentagens entre 5,5% e 6,5%, aproximadamente, de transglutaminase; e 6,5% e 8,5% de xilanase.

Figura 8 – Superfície de Resposta e Curvas de Contorno para a variável resposta Densidade, em diferentes concentrações transglutaminase e xilanase



Fonte: elaborada pelo autor.

4.5.2.3 Influência da adição de enzimas sobre o índice de expansão de pães tipo forma

A Tabela 16 dispõe dos coeficientes de regressão, erro puro, valor de t e p -valores para o parâmetro índice de expansão. Os p -valores sublinhados correspondem aos coeficientes que exerceram influência significativa. As duas variáveis independentes, em seus fatores linear e quadrático, mostraram ter influência significativa sobre a variável resposta (p -valor $< 0,1$), apesar de somente o fator linear para ambas ter tido correlação positiva. A interação entre TG e Xil, por não exibir significância, foi incorporada aos resíduos para cálculo da ANOVA.

A Tabela 17 mostra os valores de ANOVA. O modelo apresentou um R^2 igual 0,9591, indicando que o modelo explica 95,91% dos dados, ajustando-se bem aos dados experimentais. A ANOVA mostrou ainda que o $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$. Assim, não foi rejeitada a hipótese de adequabilidade dos coeficientes ao nível de 90% de confiança.

Tabela 16 – Coeficientes de regressão para a variável resposta Índice de expansão, de acordo com o delineamento experimental

	Coeficientes de regressão	Erro puro	t (5)	p – valor
Média	0,841327	0,046115	18,24405	0,000009
TG(L)¹	0,026509	0,009285	2,85498	0,035615
TG(Q)¹	-0,002552	0,000660	-3,86413	0,011830
Xil(L)¹	0,043672	0,007428	5,87923	0,002022
Xil(Q)¹	-0,003633	0,000423	-8,59572	0,000351
TG x Xil	0,001000	0,000628	1,59289	0,172064

Fonte: elaborada pelo autor;

TG = transglutaminase; Xil = xilanase; L = fator linear; Q = fator quadrático.

¹ Fatores significativos.

Tabela 17 – Análise de Variância (ANOVA) para a variável resposta Índice de expansão, de acordo com o delineamento experimental

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F calculado
Regressão	0,0050	4	0,0012	24,00
Resíduos	0,0003	6	0,00005	
Total	0,0053	10		

Fonte: elaborada pelo autor;

% variável explicada (R^2) = 0,9591;

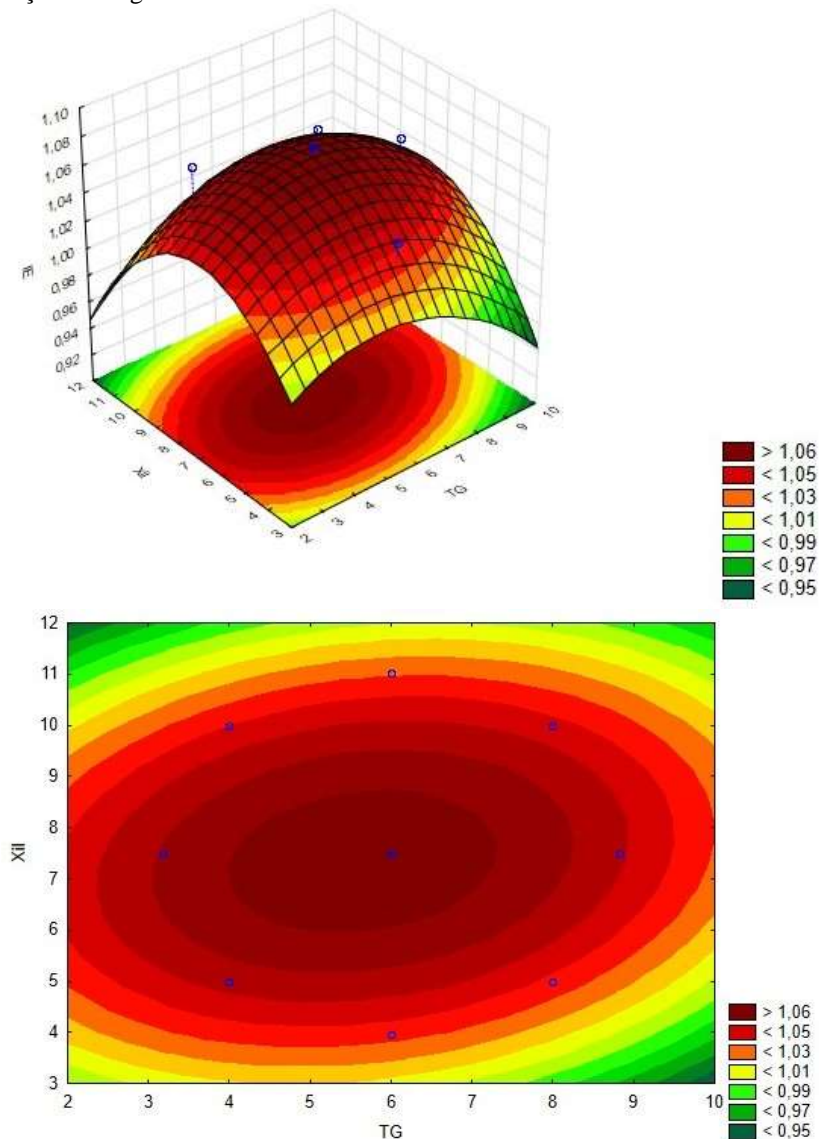
$F_{\text{tab}}(2; 8; 0,10) = 3,18$.

Com valores de R^2 e F_{calc} de satisfatórios, o modelo matemático gerado para a variável resposta densidade foi validado, apresentando-se na equação 7. Foi possível também construir a superfície de resposta e curvas de contorno para o modelo proposto (Figura 9).

$$\text{Índ. de Exp.} = 0,84 + 0,03T(L) - 0,002 T(Q) + 0,04X(L) + 0,004X(Q) - 0,001TX \quad (7)$$

A superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno para a variável resposta índice de expansão (Figura 9) apresentou apenas 1 tratamento na região ótima. Este tratamento corresponde à média dos três tratamentos do ponto central (9, 10 e 11; TG: 7,5% e Xil: 6,0%). Tais valores de enzimas alcançaram um índice de expansão acima de 1,06 (representado pela cor avermelhada mais escura). Um índice de expansão maior é o desejável para pães, inclusive quando se trata de pães integrais ou adicionados de fibras. A região ótima compreendeu porcentagens de transglutaminase com intervalo entre 5,5% e 8,0%; e de xilanase entre 5,5% e 8,5%, aproximadamente. A superfície indica que a transglutaminase pode ser utilizada na sua quantidade máxima para este estudo (8,0%), sem, contudo, comprometer o índice de expansão do produto.

Figura 9 – Superfície de Resposta e Curvas de Contorno para a variável resposta Índice de expansão, em diferentes concentrações transglutaminase e xilanase



Fonte: elaborada pelo autor.

4.6 Escolha da formulação otimizada a partir de formulação de pães tipo forma adicionados de enzimas

A partir da análise de regressão, análise de variância e superfícies de respostas para os parâmetros volume específico, densidade e índice de expansão, escolheu-se a formulação do DCCR que mais influenciou de maneira positiva tais parâmetros, ou seja, que provocou maior aumento no volume específico e índice de expansão e menor densidade. A formulação escolhida foi aquela que corresponde aos pontos centrais (tratamentos 9, 10 e 11), a qual utilizou 6,0% de transglutaminase e 7,5% de xilanase. Esta formulação otimizada (FO) foi submetida à análise de composição centesimal, perfil de textura, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante e análise sensorial, juntamente com pão controle com 10% de farinha de linhaça (FCL; sem enzimas) e o pão controle (FC; sem linhaça e sem enzimas). O apêndice D mostra fotos comparativas entre fatias centrais dos pães do DCCR, incluindo a otimizada e os controles.

4.7 Composição centesimal da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e das formulações controles

A Tabela 18 apresenta os valores de composição centesimal para as formulações: otimizada, controle e controle sem enzimas. A Formulação Otimizada (FO) apresentou maiores porcentagens de umidade, proteína, lipídios e cinzas. Os valores calóricos não diferiram estatisticamente, apesar de as formulações com linhaça apresentarem maior teor lipídico. Isto se deve ao fato de que o carboidrato é calculado por subtração dos outros constituintes da composição centesimal. Esta formulação apresentou um aumento de 74,17% para lipídios e 39,02% para proteína da formulação padrão, mostrando efeitos positivos a partir da adição de linhaça.

Tabela 18 – Composição centesimal de pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle

Formulações ¹	Umidade (%)	Proteína (%)	Gordura (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)
FO	38,86 ^a ±11,18	7,73 ^a ±0,16	5,03 ^a ±0,02	1,46 ^b ±0,06	46,92 ^a ±10,81
FCL	35,15 ^a ±0,18	6,72 ^b ±0,19	5,31 ^b ±0,18	1,64 ^b ±0,96	51,18 ^a ±0,47
FP	35,91 ^a ±0,15	6,26 ^b ±0,20	2,21 ^b ±0,38	0,94 ^a ±0,26	54,68 ^a ±0,43

Fonte: elaborada pelo autor.

¹ FO (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça e enzimas otimizada: 90% de farinha de trigo, 10% de farinha de linhaça, 7,5% de transglutaminase e 6,0% de xilanase); FCL (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça: 90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); FP (formulação padrão de pão tipo forma).

Borges *et al.* (2011), ao substituírem 10% de farinha de trigo por farinha de linhaça na fabricação de pães de sal, encontraram percentuais de umidade e cinzas semelhantes ao da atual pesquisa: 32,32% e 2,22%, respectivamente. Enquanto isso, o teor de lipídios e proteína, mostraram-se superiores, 5,66% e 13,73%, respectivamente.

O pão adicionado de enzimas e farinha de linhaça e o pão adicionado apenas de farinha de linhaça não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% para os parâmetros umidade, cinzas e carboidratos. A proteína e os lipídios diferiram significativamente entre as duas formulações.

O aumento da umidade na formulação otimizada pode estar associado à ação da xilanase, que ao hidrolisar os arabinoxilanos insolúveis em água, permitem que esta fique a água retida por esses complexos fique livre no meio (SILVA; ALMEIDA; CHANG, 2016).

4.8 Determinação de compostos fenólicos totais da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e das formulações controles

A Tabela 19 apresenta os valores de compostos fenólicos da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e das formulações controles. Verificou-se que as formulações contendo linhaça apresentaram um aumento significativo em relação à formulação padrão. Pourabedin; Arabai; Rahbaran (2017) ao utilizarem 10% de farinha de linhaça em pães, obtiveram um teor de fenólicos igual a 107,45 mg EAG/100g, enquanto a formulação padrão mostrou um teor menor, 56,92 mg EAG/100g.

Tabela 19 - Compostos fenólicos totais dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle

Formulações¹	Compostos Fenólicos Totais
FO	121,79 ^c ±0,85
FCL	105,53 ^b ±0,72
FP	59,44 ^a ±0,63

Fonte: elaborada pelo autor.

¹ FO (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça e enzimas otimizada: 90% de farinha de trigo, 10% de farinha de linhaça, 7,5% de transglutaminase e 6,0% de xilanase); FCL (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça: 90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); FP (formulação padrão de pão tipo forma).

4.9 Avaliação tecnológica da formulação otimizada de pães adicionados de farinha de linhaça e enzimas e das formulações controles

4.9.1 Análise de textura do miolo

A Tabela 20 apresenta os valores do perfil de textura da formulação otimizada (contendo as enzimas e farinha de linhaça) e das formulações controle FCL (contendo farinha de linhaça) e FP (formulação padrão de pão tipo forma). A formulação contendo enzimas e linhaça apresentou um valor significativamente menor em relação à formulação contendo apenas linhaça. Em estudo com a adição de goma guar e transglutaminase em pães, não foi observada alteração significativa sobre a firmeza do miolo (MOHAMMADI *et al.*, 2015), apresentando ainda diminuição no volume específico.

Tabela 20 – Análise de textura do miolo dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle

	Firmeza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade
FO	1115,17 ^b ±47,91	0,76 ^a ±0,07	0,42 ^b ±0,01	470,33 ^b ±27,34	359,30 ^c ±54,06
FCL	3753,39 ^a ±37,73	0,85 ^a ±0,06	0,42 ^b ±0,02	1520,28 ^a ±67,58	1344,85 ^a ±70,91
FP	869,59 ^c ±56,71	0,88 ^a ±0,02	0,62 ^a ±0,02	557,52 ^b ±15,83	429,16 ^b ±7,33

Fonte: elaborada pelo autor.

¹ FO (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça e enzimas otimizada: 90% de farinha de trigo, 10% de farinha de linhaça, 7,5% de transglutaminase e 6,0% de xilanase); FCL (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça: 90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); FP (formulação padrão de pão tipo forma).

Ao analisar o parâmetro elasticidade, observou-se que as três formulações não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% para este parâmetro. Quanto à coesividade, a formulação otimizada e a formulação contendo apenas farinha de linhaça mostraram resultados iguais, diferindo de forma significativa da formulação padrão.

Os valores de gomosidade da formulação otimizada foi inferior às demais formulações, diferindo de forma significativa da formulação contendo apenas farinha de linhaça (FCL). Este resultado indica uma menor energia para desintegrar o alimento sólido em semi-sólido.

A mastigabilidade dos pães foi melhorada pela adição de enzimas, com valor significativamente menor quando comparado à formulação contendo apenas farinha de linhaça e à formulação padrão.

Liu *et al.* (2017) observaram em seu estudo que a dição de xilanase em pães em sinergia com a alfa-amilase, promoveu uma maior absorção de água, melhorando a estabilidade e extensibilidade do produto. Este fato deve-se à transferência de moléculas de

água das arabinosilanas hidrolisadas para a rede de glúten (GHOSHAL; SHIVARE; BANERJEE, 2016).

Schoenlechner *et al.* (2012), ao estudarem os efeitos da aplicação de enzimas transglutaminase e xilanase em pães com farinha de painço observaram que a adição de xilanase contribuiu para a diminuição da firmeza do miolo, enquanto que a transglutaminase causou um efeito reverso. A sinergia entre as enzimas também provocou um aumento na firmeza do produto. Os autores associam tal efeito negativo da transglutaminase ao excesso de ligações proteicas formadas pela enzima.

Caballero; Gomez; Rosell (2007) observaram que a adição de xilanase e transglutaminase em pães promoveu um efeito positivo sobre o miolo, causando a diminuição da firmeza, gomosidade e mastigabilidade, assim como ocorreu na presente pesquisa.

4.9.2 Análise de cor do miolo

A Tabela 21 apresenta os parâmetros cromatográficos do miolo dos pães da formulação otimizada FO (contendo as enzimas e farinha de linhaça) e das formulações controle FCL (contendo farinha de linhaça) e FP (formulação padrão de pão tipo forma). A análise do parâmetro L*, que indica a luminosidade da amostra mostrou que as formulações contendo linhaça apresentaram um menor valor, o que representa um produto de cor mais escura em relação ao padrão. A formulação contendo enzimas e farinha de linhaça diferiu significativamente da formulação contendo somente farinha de linhaça, apresentando um pão com maior luminosidade.

Tabela 21 – Parâmetros de cor (L*, a*, b*) do miolo dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle

Formulações ¹	L*	a*	b*
FO	64,69 ^c ±0,47	1,62 ^a ±0,06	17,14 ^b ±0,19
FCL	67,50 ^b ±0,80	1,44 ^b ±0,04	17,45 ^b ±0,11
FP	77,59 ^a ±1,29	1,29 ^a ±0,07	2210 ^a ±0,22

Fonte: elaborada pelo autor.

¹ FO (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça e enzimas otimizada: 90% de farinha de trigo, 10% de farinha de linhaça, 7,5% de transglutaminase e 6,0% de xilanase); FCL (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça: 90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); FP (formulação padrão de pão tipo forma).

Quanto ao parâmetro de cor a*, que indica uma faixa de vermelho a verde, verificou-se que os pães contendo farinha de linhaça apresentaram coloração mais avermelhada, provenientes da semente. O parâmetro b* (faixa de amarelo ao azul) mostrou

que as formulações contendo linhaça (FO e FCL) apresentaram maiores valores, remetendo a uma coloração mais amarelada do que a padrão.

Estudo com adição de 10% de farinha de linhaça em pães também mostrou um aumento no valor de b^* no pão adicionado deste ingrediente: 26,83, em comparação a 38,40 da formulação controle. Este estudo obteve valores negativos para o parâmetro a^* (-2,37 para a formulação com linhaça e -2,11 para a formulação controle), remetendo à coloração esverdeada. A exemplo da atual pesquisa, a luminosidade (L^*) mostrou-se maior no pão controle (91,60), em comparação aquele com linhaça (80,25) (POURABEDIN; AARABI; RAHBARAN, 2017).

Em estudo realizado por Ghoshal; Shivare; Banerjee (2016), verificou-se que a adição de xilanase em pães integrais provocou aumento nas tonalidades vermelho e amarelo do produto.

Além da presença da linhaça marrom, compostos como açúcares redutores, proteínas e carotenoides podem influenciar no escurecimento do miolo (ESTELLER; LIMA; LANNES, 2006).

4.10 Análise Sensorial

Os resultados da análise sensorial mostraram que a formulação de pão tipo forma otimizada (adicionada de farinha de linhaça e enzimas) alcançaram médias superiores a 7 para os atributos cor, aroma, sabor, textura e avaliação global, sugerindo uma aceitação de moderada a alta por parte dos provadores (Tabela 22).

Tabela 22 – Análise Sensorial dos pães tipo forma adicionados de enzimas e formulações controle formulações controle

Formulações ¹	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Avaliação Global	Atitude de Compra
FO	7,76 ^a ±1,66	7,27 ^a ±1,67	7,23 ^a ±1,56	7,48 ^a ±1,63	7,43 ^a ±1,42	4,02 ^a ±1,02
FCL	7,60 ^a ±1,60	6,90 ^a ±1,65	7,47 ^a ±1,46	7,30 ^a ±1,86	7,40 ^a ±1,50	4,00 ^a ±0,90
FP	7,75 ^a ±1,39	7,22 ^a ±1,49	7,48 ^a ±1,46	7,60 ^a ±1,33	7,58 ^a ±1,37	4,22 ^a ±0,87

Fonte: elaborada pelo autor.

¹ FO (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça e enzimas otimizada: 90% de farinha de trigo, 10% de farinha de linhaça, 7,5% de transglutaminase e 6,0% de xilanase); FCL (formulação de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça: 90% de farinha de trigo e 10% de farinha de linhaça); FP (formulação padrão de pão tipo forma).

Quanto à aceitação global, verificou-se uma média próxima 4, remetendo à opção provavelmente compraria. Os resultados dos parâmetros dessa formulação não diferiram

significativamente das obtidas pelas formulações controles (formulação com adição de farinha de linhaça e formulação padrão de pão tipo forma). Contudo, indica-se uma aceitabilidade positiva do produto pelos provadores.

Em estudo desenvolvido com pão integral adicionado de xilanase e transglutaminase, a formulação contendo enzimas apresentaram médias de 7,83; 7,06 e 6,96 para os parâmetros aroma, sabor e cor, respectivamente. Enquanto isso, a formulação controle apresentou valor inferior para o aroma (6,73) e cor (6,14) e média igual para o quesito sabor. Moura; Canniati-Brazaca; Silva (2015), ao estudarem a adição de 5% de farinha de linhaça em pães observaram médias de 8,2 para cor, 7,5 para aroma, 6,8 para textura, 6,0 para sabor e 7,1 para avaliação global. Em comparação, a formulação controle mostrou médias superiores para a maioria dos parâmetros: 8,2 (cor), 8,4 (aroma), 7,5 (textura), 7,4 (sabor) e 8,0 (avaliação global).

5 CONCLUSÃO

A farinha de linhaça apresentou um alto teor de lipídios em sua composição. Ao extrair o óleo da matéria-prima, verificou-se que este era composto principalmente de ácidos graxos insaturados, em especial de ácido α -linolênico. Isso explica a sua baixa estabilidade oxidativa em relação a outros óleos, o que pode demandar cuidados quanto à conservação da farinha de linhaça e dos produtos que a contenham em sua composição. Além disso, faz-se necessário avaliar o teor de α -linolênico dos produtos adicionados de farinha de linhaça, especialmente aqueles submetidos a temperaturas acima de 120 °C, como é o caso de produtos da panificação.

A substituição de 10% de farinha de trigo por farinha de linhaça na formulação padrão de pães tipo forma contribuiu para o aumento de proteína, lipídios e cinzas do produto, além do teor de compostos fenólicos totais. O uso de transglutaminase e xilanase em quantidades iguais a 7,5% e 6,0%, respectivamente, provocou melhorias na qualidade de pães tipo forma adicionado de farinha de linhaça, no que se refere aos seus parâmetros tecnológicos de textura do miolo. A formulação obteve ainda uma aceitação sensorial favorável, com médias acima de 7, para os atributos de cor, aroma, sabor, textura e avaliação global.

Desse modo, incentiva-se o incremento de farinha de linhaça marrom na formulação de pães tipo forma, como forma de melhorar sua qualidade nutricional. Em associação, as enzimas transglutaminase e xilanase, aplicadas em quantidades viáveis, podem atuar como coadjuvantes na panificação, elevando a qualidade tecnológica do produto.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

- AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the AACC**. 10 ed. St. Paul, 2000.
- AHHMED, A. M. *et al.* Dependence of microbial transglutaminase on meat type in myofibrillar proteins cross-linking. **Food Chemistry**, v. 112, p. 354-361, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881460800633X>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- 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. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812001909>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- ALTUNA, L.; RIBOTTA, P. D.; TADINI, C. Effect of a combination of enzymes on a dough rheology and physical and sensory properties of bread enriched with resistant starch. **LWT – Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 867-873, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381500451X>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- ALTUNA, L.; RIBOTTA, P. D.; TADINI, C. Effect of a combination of enzymes on the fundamental rheological behavior of bread enriched with resistant starch. **LWT – Food Science and Technology**, v. 73, p. 267-273, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643816303425>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- ANGELIS, R. C; TIRAPEGUI, J. **Fisiologia da nutrição humana: aspectos básicos, aplicados e funcionais**. 2 ed. São Paulo: Atheneu, 2007.
- ANJO, D. F. C. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 3, n. 2, p. 145 – 154, 2004. Disponível em: https://www.academia.edu/4249437/Alimentos_funcionais_em_angiologia_e_cirurgia_vascular_Functional_foods_in_angiology_and_vascular_surgery. Acesso em 3 nov. 2016.
- ANKOM. **Technology method 2: rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction**. Macedon, 2009. p.2.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.
- BABU, U. S. *et al.* Impact of high flaxseed diet on mitogen-induced proliferation, IL-2 production, cell subsets and fatty acid composition of spleen cells from pregnant and F1 generation Sprague-Dawley rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, n. 6, p. 905-915, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691503000437>. Acesso em: 16 nov. 2016.
- BAGAGLI, M. P. **Produção de transglutaminase de *Streptomyces sp.* P20, caracterização**

e aplicação da enzima bruta. 2009. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/254327>. Acesso em: 18 nov. 2016.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plant and agri-industrial byproducts: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, n. 1, p. 191-203, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814605006242>. Acesso em: 3 nov. 2017.

BARROSO, A. K. M. *et al.* Linhaça marron e dourada: propriedades químicas e funcionais das sementes e dos óleos prensados a frio. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 181-187, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014000100029. Acesso em: 20 out. 2016.

BATTOCHIO, J. R. *et al.* Perfil sensorial de pão de forma integral. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 428-432, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612006000200028&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 dez. 2016.

BELGHITH FENDRI, L. *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. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643816304029>. Acesso em: 14 nov. 2017.

BERTO, B. R.; *et al.* Estudo da estabilidade oxidativa do óleo de linhaça. In: V Congresso de Ciência e Tecnologia do IFSP Itapetininga, 5., 2017, Itapetininga. **Anais eletrônicos [...]**. Itapetininga: IFSP, 2017. p. 1. Disponível em: https://congresso.itp.ifsp.edu.br/index.php/V_IC/V_IC/paper/viewFile/793/346. Acesso em: 2 out. 2017.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. Arapid method of total lipid extracion and purification. **The Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 27, n. 8, p. 911-917, 1959. Disponível em: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/o59-099>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001. 143 p.

BORGES, J. T.S.; *et al.* Caracterização físico-química e sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaça. **Boletim do CEPPA** v. 29, n. 1, p. 83-96, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/22758/16540>. Acesso em: 20 nov. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n. 19, de 30 de outubro de 1999. Aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem. **Diário Oficial da União**. Brasília, 1999. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RESOLUCAO_16_1999.pdf/66b77435-cde3-43ce-839f-f468f480e5e5. Acesso em: 9 dez. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n. 90, de 18 de outubro de 2000. Aprova o Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2000. Disponível em:

http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_90_2000_COMP.pdf/32c39bc4-04a1-4de8-967c-183a4acda7d5. Acesso em: 9 dez. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n. 359, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2003. Disponível em:

http://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0359_23_12_2003.html. Acesso em: 9 dez. 2016.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução n. 466, de 12 de dezembro de 2012.

Aprova normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília: **Diário Oficial da União**, n.12, p. 59. 2012. Disponível em:

<http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

BUTT, M. S. *et al.* Xylanases and their applications in baking industry. **Food Technology and Biotechnology**, v. 46, n. 1, p. 22-31, 2008. Disponível em:

https://www.academia.edu/7487352/Xylanases_and_Their_Applications_in_Baking_Industry. Acesso em: 8 dez. 2016.

CABALLERO, P. A.; GÓMEZ, M.; ROSELL, C. M. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 1, p. 42-53, 2007. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877406006376>. Acesso em: 10 nov. 2017.

CABRAL, J. M. S.; AIRES-BARROS, M. R.; GAMA, M. **Engenharia enzimática**. Lisboa: Lidel, 2003. 250 p.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão: arte e ciência**. 4 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2010.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Avaliação da qualidade tecnológica de *snacks* obtidos por extrusão de grão integral de amaranto ou de farinha de amaranto desengordurada e suas misturas com fubá de milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 21-29, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjft/v15n1/03.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017

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, n. 5, p. 540-547, 2006.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643805000678>. Acesso em: 18 nov. 2017.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da panificação**. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2009.

CHANARAT, S; BENJAKUL, S.; H-KITTIKUN, A. *et al.* Comparative study on protein crosslinking and gel enhancing effect of microbial transglutaminase on surimi from different

fish. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 4, p. 844-852, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.4656>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CINI, J. R. M. *et al.* Comparação dos métodos de determinação da estabilidade oxidativa de biodiesel B100, em mistura com antioxidantes sintéticos: aplicação do delineamento simplex-centroide com variável de processo. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 79-84, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000100015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 10 nov. 2017.

COELHO, M. A. Z.; SALGADO, A. M.; RIBEIRO, B. D. **Tecnologia enzimática**. Rio de Jan.: FAPERJ; Petrópolis: EPUB, 2008. 288 p.

COLLINS, T.; GERDAY, C.; FELLER, G. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 29, p. 3–23, 2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15652973>. Acesso em: 24 nov. 2016.

COSKUNER, Y.; KARABABA, E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L). **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 1067-1073, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877406000136>. Acesso em: 4 nov. 2016.

COSTA, N. M. B.; ROSA, C. O. B. **Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. Rio de Janeiro: Rubio, 2010.

DAUN, J. K. *et al.* Structure, composition, and variety development of flaxseed. In: THOMPSON, L. U.; CUNNANE, S. C. **Flaxseed in human nutrition**. 2. ed. Urbana: AOAC, 2003.

EDEL, A.; ALIANI, M.; PIERCE, G.N. Stability of bioactives in flaxseed and flaxseed-fortified foods. **Food Research International**, v. 77, p. 140-155, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996915301253>. Acesso em: 24 nov. 2017.

EL-DASH, A.A. Standardized mixing and fermentation procedure for experiemntal baking test. **Cereal Chemistry**, v. 44, n. 4, p. 436-446, 1978. Disponível em: <https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1978/Documents/CC1978a49.html>. Acesso em: 12 jul. 2017.

EM 14112 Fat and oil derivates – Fatty acid methyl esters (FAME) – Determination of oxidation satbility (Accelerated oxidation test). **European Committee for Standardization (CEN)**. Berlim, 2003.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 802-806, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612005000400028&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 nov. 2017.

ESTELLER, M. S.; LIMA, A. C. O.; LANNES, S. C. S. Color measurement in hamburger

buns with fat and sugar replacers. **LWT – Food Science and Technology**, v.39, p. 184-187, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643805000058>. Acesso em: 17 nov. 2017.

FABER, T. J.; JAISHANKAR, A.; MCKINLEY, G. H. Describing the firmness, springiness and rubberiness of food gels using fractional calculus. Part I: Theoretical framework. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 311-324, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16302491>. Acesso em: 14 jan. 2018.

FIGUEIRA, F. S. *et al.* Pão sem glúten enriquecido com a microalga *Spirulina plantensis*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 4, p. 308-316, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1981-67232011000400008&lng=es&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 25 nov. 2016.

FUENTES-BERRIO, L.; ACEVEDO-CORREA, D.; GELVEZ-ORDONEZ, V. M. Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. **Revista del Decanato de Agronomía**, v. 13, n. 2, p. 140-149, 2015. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612015000200016&script=sci_abstract&tlng=es. Acesso em: 10 dez. 2016.

GOMES NATAL, D. I. *et al.* Physical and sensorial properties of potato breads fortified with whole soybean flour. **Revista Chilena de Nutrición**, v. 40, n. 1, p. 62-70, 2013. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182013000100010. Acesso em: 12 dez. 2016.

GHOSHAL, G.; SHIVARE, U. S.; BANERJEE, U. C. Thermo-mechanical and micro-structural properties of xylanase containing whole wheat bread. **Food Science and Human Wellness**, v. 5, n. 4, p. 219-229, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221345301630132X>. Acesso em: 22 jan. 2018.

HARPER, C. R. *et al.* Flaxseed oil increases the plasma concentrations of cardioprotective (n-3) fatty acids humans. **Journal of Nutrition**, v. 136, n. 1, p. 83-87, 2006. Disponível em: <https://academic.oup.com/jn/article/136/1/83/4664176>. Acesso em: 12 dez. 2016.

HARTMAN L.; LAGO R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl ester from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, p. 475-476, 1973.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed./1 ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 14 nov. 2016.

ILLANES, A.; GUERRERO, C. Chapter 2 – Functional Foods and Feeds: probiotics, prebiotics and synbiotics. **Lactose – Derived Prebiotics**, p. 35-86, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305081762_Functional_Foods_and_Feeds. Acesso em: 30 nov. 2016.

IOM. Institute of Medicine. **Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber,**

Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. The National Academy Press. 2002/2005. Disponível em: <https://www.nap.edu/catalog/10490/dietary-reference-intakes-for-energy-carbohydrate-fiber-fat-fatty-acids-cholesterol-protein-and-amino-acids>. Acesso em: 11 dez. 2016.

JAIME, P. C. *et al.* Prevalência e distribuição sociodemográfica de marcadores de alimentação saudável, Pesquisa Nacional de Saúde, Brasil 2013. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 2, p. 267-276, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2237-96222015000200267&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 dez. 2016.

KAUR, M.; SINGH, V.; KAUR, R. Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 9, p. 14-20, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212619816300316>. Acesso em: 23 out. 2017.

KRIS-ETHERTON, P. *et al.* AHA: Scientific Statement: Summary of the scientific conference on dietary fatty acids and cardiovascular health. Conference summary from the nutrition committee of The American Heart Association. American Heart Association. **Circulation**, v. 103, n. 7, p. 1034-1039, 2001. Disponível em: <https://academic.oup.com/jn/article/131/4/1322/4687025>. Acesso em: 15 dez. 2016.

LIMA, C. C. **Aplicação das farinhas de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no processamento de pães com propriedades funcionais.** 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/17267>. Acesso em: 16 jan. 2017.

LIU, W. *et al.* Effect of cellulase, xylanase and α -amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran. **Food Chemistry**, v. 234, p. 93-102, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617307331>. Acesso em: 22 jan. 2018.

MACEDO, J. A.; SATO, H. H. Propriedades e aplicações da transglutaminase microbiana em alimentos. **Alimentos e nutrição**, v. 16, p. 413-419, 2005. Disponível em: http://journaldatabase.info/articles/propriedades_aplicacoes.html. Acesso em: 15 jan. 2017.

MACFIE, H. J. *et al.* Projeto para equilibrar o efeito da ordem de apresentação e de primeira ordem efeitos carry-over em testes de salão. **Revista de Estudos Sensoriais**, v. 4, n. 2, p. 129-148, 1989.

MACIEL, L. M. B.; PONTES, D. F. RODRIGUES, M. C. P. Efeito da adição de farinha de linhaça no processamento de biscoito tipo *cracker*. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 385-392, 2008. Disponível em: <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewArticle/646>. Acesso em: 9 dez. 2016.

MAHAN, L. K.; RAYMOND, J. L. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia.** 14. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MARTIN, C. A. *et al.* Ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 6, p. 761-770, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-52732006000600011. Acesso em: 16 dez. 2016.

MOHAMMADI, M. *et al.* Development of gluten-free bread using guar gum and transglutaminase. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 21, p. 1398-1402, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X14003116>. Acesso em: 15 jan.2018.

MONDAL, A.; DATTA, A. K. Bread baking – a review. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n.4, p. 465-476, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407005869>. Acesso em: 27 fev. 2017.

MORAIS, S. A. L. *et al.* Análise de compostos bioativos, grupos ácidos e da atividade antioxidante do café arábica (*Coffea arábica*) do cerrado e de seus grãos defeituosos (PVA) submetidos a diferentes torras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 28, suppl, p. 198-207, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612008000500031&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 3 fev. 2017.

MORRIS, D. H. **Linaza** – uma recopilación sobre sus efectos em la salud y nutrición. 4. ed. Winnipeg: Consejo Canadiense de la Linazza, 2007.

MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação da disponibilidade de ferro de feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) em comparação com carne bovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 270-276, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612006000200007. Acesso em: 4 out. 2017.

MUELLER, K. *et al.* Functional properties and chemical composition of fractionated brown and yellow linseed meal (*Linum usitatissimum L.*). **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 453-460, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877410000440>. Acesso em: 13 out. 2017.

OLIVEIRA, D. A. S. B. *et al.* Avaliação da qualidade pão com adição de farinha e purê de banana verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 699-707, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452015000300699&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 14 dez. 2016.

OLIVEIRA, D. S. **Aplicação de xilanase e/ou ciclodextrina glicosiltransferase (CGtase) na produção de pães**. 2010. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/100892>. Acesso em: 17 jan. 2017.

OLIVEIRA, M. R. *et al.* Fertirrigação da cultura de linhaça. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 22-32, 2012. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/33780>. Acesso em: 4 dez. 2016.

PERINI, J. A. L. *et al.* Ácidos graxos poli-insaturados n-3 e n-6: metabolismo em mamíferos e resposta imune. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 6, p. 1075-1086, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-52732010000600013. Acesso em: 5 dez. 2016.

PINTO, M. F. *et al.* Fontes de óleo na dieta e sua influência no desempenho e na imunidade de frangos de corte. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 409-414, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-736X2014000500004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 jan. 2018.

POURABEDIN, M., AARABI, A.; RAHBARAN, S. Effect of flaxseed flour on rheological properties, staling and total phenol of Iranian toast. **Journal of Cereal Science**, v. 76, p. 173-178, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521016303939>. Acesso em: 18 dez. 2017.

PRASAD, K. Hypocholesterolemic and antiatherosclerotic effect of flax lignan complex isolated from flaxseed. **Atherosclerosis**, v. 179, n. 2, p. 269-275, 2005. Disponível em: [https://www.atherosclerosis-journal.com/article/S0021-9150\(04\)00620-3/pdf](https://www.atherosclerosis-journal.com/article/S0021-9150(04)00620-3/pdf). Acesso em: 9 dez. 2016.

REDONDO-CUEVAS, L. *et al.* Revealing the relationship between vegetable oil composition and oxidative stability: A multifactorial approach. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 66, p. 221-229, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157517303058>. Acesso em: 2 out. 2017.

RIBOTTA, P. D. *et al.* Optimization of additive combination for improved soy-wheat bread quality. **Food Bioprocessamento Technology**, v. 3, n. 3, p. 395-405, 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/5152630/Optimization_of_Additive_Combination_for_Improved_Soy_Wheat_Bread_Quality. Acesso em: 1 dez. 2016.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento estatístico & otimização de processos**. 3. ed. Campinas: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e amor, 2014.

ROSELL, C. M. Bread: chemistry of baking. **Encyclopedia of Food and Health**, p. 484-489, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012384947200088X>. Acesso em: 27 fev. 2017.

SANTOS, F. L. *et al.* Efeito da adição de farinha de linhaça à dieta sobre a concentração de colesterol e ácidos graxos em camarões. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 3, p. 909-917, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352013000300041&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 out. 2017.

SANTOS, R. C. O valor energético dos alimentos: exemplo de uma determinação experimental, usando calorimetria de combustão. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 220-224,

2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000100038. Acesso em: 15 jan. 2017.

SCHOENLECHNER, R. *et al.* Optimisation of bread quality produced from wheat and proso millet (*Panicum miliaceum* L.) by adding emulsifiers, transglutaminase and xylanase. **LWT – Food Science and Technology**, v. 51, n.1, p. 1-6, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812004446>. Acesso em: 14 jan. 2017.

SHIM, Y. Y. *et al.* Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 38, p. 5-20, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224414000697>. Acesso em: 10 dez. 2016.

SILVA, A. C. *et al.* Influência do tipo de leite nos parâmetros de textura e estabilidade de sorvete. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 393, p. 26-35, 2013. Disponível em: <https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/33>. Acesso em: 12 dez. 2017.

SILVA, C. B.; ALMEIDA, E. L.; CHANG, Y. K. Interaction between xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid on the technological quality of whole wheat bread. **Ciencia Rural**, v. 46, n. 12, p. 2249-2256, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782016001202249. Acesso em: 29 nov. 2016.

SILVA, S. M. C.; MURA, J. D. P. **Tratado de alimentação, nutrição & dietoterapia**. São Paulo: Roca, 2007.

STRIGHETTA, P. C. *et al.* Políticas de saúde e alegações de propriedades funcionais e de saúde para alimentos no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, n. 2, p. 181-194, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-93322007000200004&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 29 nov. 2016.

TAYLOR, D. C. *et al.* Metabolic engineering of higher plants to produce bio-industrial oils. In: MOO-YOUNG, M. (ed.). **Comprehensive Biotechnology**, 2. ed. Elsevier: 2011, v. 4, p. 67-85.

VALENZUELA, B. A. *et al.* Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación?. **Revista Chilena de Nutrición**, v. 41, n. 2, p. 198-204, 2014. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182014000200011. Acesso em: 30 nov. 2016.

VIEIRA, L. P.; ÁVILA, A. L. E. Doenças Cardiovasculares. In; TADDEI, J. A. *et al.* **Nutrição em Saúde Pública**. Rio de Janeiro: Rubio, 2011. cap 21, p.326-336.

WALKELING, I. N.; MACFIE, J. H. Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of k samples from t may be tested. **Food Quality and Preference**, v. 6, n. 4, p. 299-308, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0950329395000321>. Acesso em: 10 ago. 2017.

WANDERSLEBEN, T. *et al.* Enhancement of functional and nutritional properties of bread using a mix of natural ingredients from novel varieties of flaxseed and lupine. **LWT – Food Science and Technology**, v.91, p. 41-54, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818300392>. Acesso em: 14 nov. 2017.

WESTCOTT, N. D.; MUIR, A. D. Flaxseed lignan in disease prevention and health promotion. **Phytochemistry Reviews**, v. 2, p. 401-417, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227094608_Flax_seed_lignan_in_disease_prevention_and_health_promotion. Acesso em: 4 dez. 2016.

ZOU; X-G. *et al.* Comparisons of proximate compositions, fatty acids and micronutrientes between fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 62, p. 168-176, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157517301394>. Acesso em: 23 out. 2017.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado por CRISTIANO SILVA DA COSTA a participar da pesquisa intitulada “**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FARINHA DE LINHAÇA (*Linum usitatissimum* L.) E ENZIMAS SOBRE OS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E NUTRICIONAIS DE PÃES TIPO FORMA**”. Você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

A pesquisa consiste na análise sensorial de amostras de pães tipo forma adicionados de farinha de linhaça e enzimas, com o intuito de saber a opinião do consumidor a respeito do produto. O teste, com duração de, aproximadamente, 15 (quinze) minutos, consistirá de 6 (seis) perguntas sobre o consumo e preferência de pães e linhaça e 3 (três) questões sobre as características das amostras. A ingestão máxima será de 30 (trinta) g de pão proveniente de cada amostra. É importante fazer ingestão de água mineral antes e entre a degustação das amostras. Caso possua **DOENÇA CELÍACA, INTOLERÂNCIA AO GLÚTEN ou algum outro problema relacionado à ingestão de um ou mais ingredientes** presentes na formulação do produto (trigo, linhaça, gordura vegetal, açúcar cristal, fermento biológico, sal refinado, enzima transglutaminase e enzima xilanase), você **NÃO** poderá participar desta pesquisa, sob o risco de desenvolver sintomas indesejáveis. Nesse caso você deverá informar ao pesquisador da impossibilidade em continuar no recrutamento deste teste. Ainda que não possua ou desconheça alguma dessas condições e venha a desenvolver alguma reação danosa, você será prontamente atendido pelo Serviço de Atendimento Móvel de Urgência, que possui base permanente no *Campus* da instituição ou será acompanhado pelo pesquisador ao posto de saúde Francisco Pereira de Almeida, situado na Rua Paraguai, s/n - Bela Vista, fone: (85) 3433.2890 ou a qualquer hospital de seu interesse. A sua participação poderá contribuir para uma possível inserção do produto no mercado.

Seus dados pessoais serão resguardados e serão utilizados somente para esta pesquisa, não sendo divulgados para fins comerciais. Você não receberá nenhum pagamento e não terá nenhum custo por sua participação na pesquisa. Você poderá recusar a continuar participando da pesquisa, como também poderá retirar o seu consentimento a qualquer momento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo. As informações conseguidas através da sua participação não permitirão a sua identificação, exceto aos responsáveis pela pesquisa, e a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.

Endereço do responsável pela pesquisa:

Nome: Cristiano Silva da Costa
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
Endereço: Av. Mister Hull, 2977, Bloco 857 (Campus do Pici)
Telefone para contato: (88) 99709-1208

ATENÇÃO: Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

O abaixo assinado _____, ___anos,
 RG: _____, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Fortaleza, ____/____/____

Nome do participante da pesquisa	____/____/____ Data	Assinatura
----------------------------------	------------------------	------------

Nome do pesquisador	____/____/____ Data	Assinatura
---------------------	------------------------	------------

Nome do profissional que aplicou o TCLE	____/____/____ Data	Assinatura
--	------------------------	------------

APÊNDICE B – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL**Análise sensorial de pão tipo forma com adição de farinha de linhaça**

Nome: _____ Data: ___/___/_____

Faixa etária: () 18 – 25 () 26 – 35 () 36 – 45 () 46 – 50 () > 50

Escolaridade: _____

Com que frequência você consome pão de forma:

- () Diariamente () 3 a 4 vezes/semana () Semanalmente () Quinzenalmente
() Frequência inferior a quinze dias

Com que frequência você consome pão de forma tipo integral:

- () Diariamente () 3 a 4 vezes/semana () Semanalmente () Quinzenalmente
() Frequência inferior a quinze dias

Com que frequência você consome produtos alimentícios adicionados de farinha de linhaça em sua composição:

- () Diariamente () 3 a 4 vezes/semana () Semanalmente () Quinzenalmente
() Frequência inferior a quinze dias

O quanto você gosta de pão de forma:

- () Gosto muitíssimo () Gosto muito () Gosto moderadamente () Gosto ligeiramente

O quanto você gosta de pão de forma tipo integral:

- () Gosto muitíssimo () Gosto muito () Gosto moderadamente () Gosto ligeiramente

O quanto você gosta de pão de produtos alimentícios adicionados de farinha de linhaça em sua composição:

- () Gosto muitíssimo () Gosto muito () Gosto moderadamente () Gosto ligeiramente

Teste Sensorial

Você está recebendo três amostras codificadas de pão tipo forma. Prove as amostras da esquerda para a direita e avalie, segundo a escala abaixo, o quanto gostou ou desgostou de cada amostra individualmente:

Escala:

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Nem gostei, nem desgostei
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Amostra	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Avaliação global

Avalie cada amostra, utilizando a escala abaixo, quanto a sua atitude de compra:

Escala:

5. Certamente compraria
4. Provavelmente compraria
3. Tenho dúvidas se compraria
2. Provavelmente não compraria
1. Certamente não compraria

Amostra	Intenção de compra

Assinale as amostras codificadas da esquerda para a direita e coloque-as em ordem crescente de sua preferência.

- preferida

+ preferida

Comentários (opcional):

**APÊNDICE C - CORTE TRANSVERSAL DE PÃES DO DELINEAMENTO
INTEIRAMENTE CASUALIZADO (DIC)**



F1



F2



F3



F4

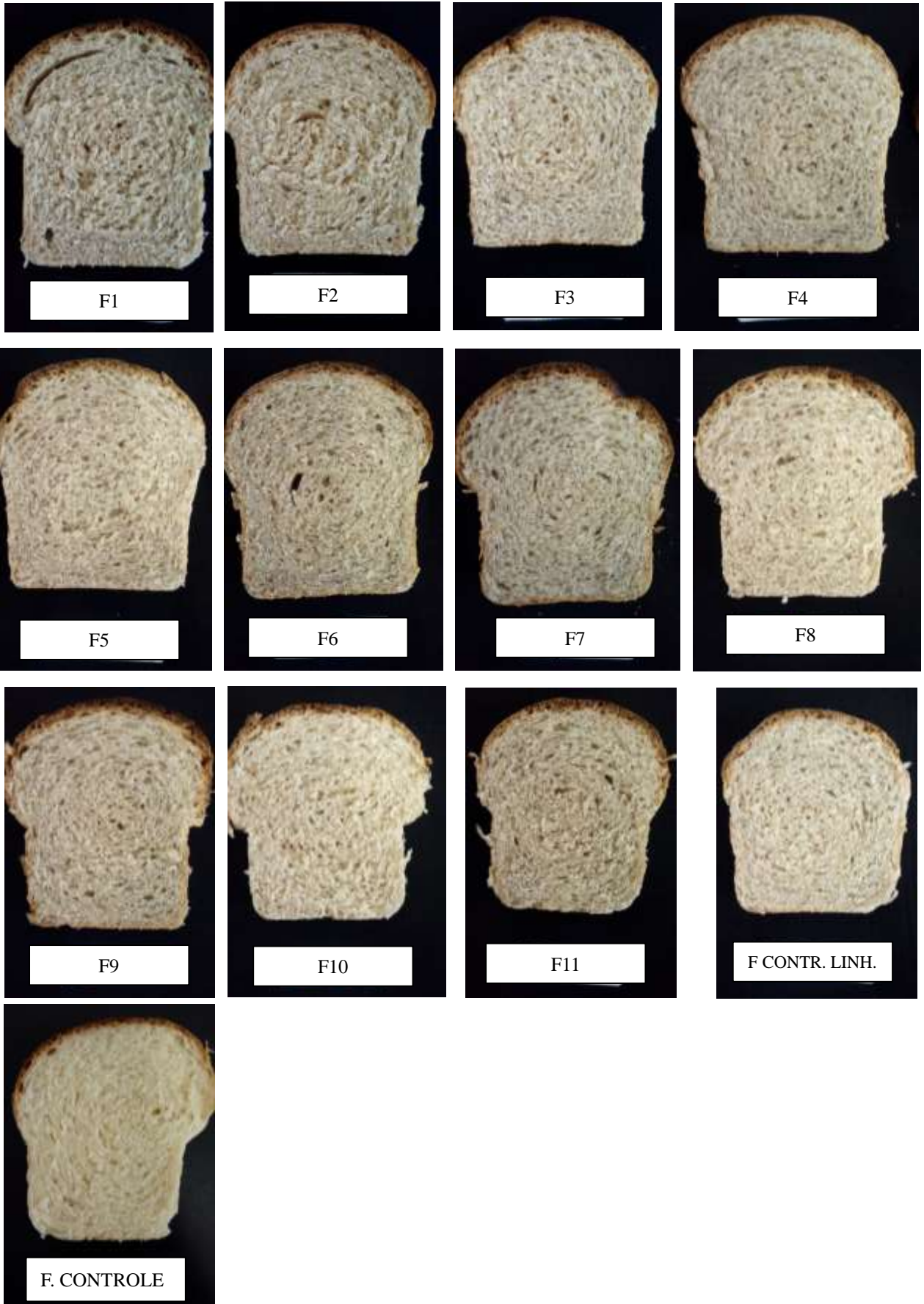


F5



F. CONTROLE

**APÊNDICE D - CORTE TRANSVERSAL DE PÃES DO DELINEAMENTO
COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR)**



ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UFC - UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ /



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeitos da aplicação de farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e enzimas sobre os parâmetros tecnológicos e nutricionais de pães tipo forma.

Pesquisador: Cristiano Silva da Costa

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 81193317.7.0000.5054

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.481.597

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto de dissertação do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos que pretende avaliar de que forma a adição de linhaça e enzimas transglutaminase e xilanase influenciam os parâmetros tecnológicos e nutricionais de pães tipo forma.

Objetivo da Pesquisa:

Geral: Estudar da aplicação de farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e enzimas xilanase e transglutaminase sobre os parâmetros tecnológicos e nutricionais de pães tipo forma.

Específicos:

1. Caracterizar a farinha de linhaça quanto à sua composição centesimal;
2. Analisar a composição centesimal dos pães, bem como o teor de minerais, compostos fenólicos e atividade antioxidante total;
3. Determinar o perfil de ácidos graxos nos pães, a fim de verificar a influência da hidrólise da linhaça sobre as quantidades desses nutrientes;
4. Determinar a bioacessibilidade dos minerais, compostos fenólicos e atividade antioxidante dos pães;
5. Analisar a influência da adição das enzimas transglutaminase e xilanase sobre os parâmetros como textura, volume, cor e análise do miolo dos pães.

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Tedfilo

CEP: 60.430-275

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comape@ufc.br

UFC - UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ /



Continuação do Parecer: 2.481.597

6. Aplicar testes sensoriais às formulações escolhidas.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Os participantes poderão desenvolver algum sintoma indesejável após a reação do produto, caso desconheça ter algum problema relacionado à ingestão de um ou mais ingredientes presentes na formulação do produto, no TCLE o pesquisador deixa claro os critérios para exclusão de pacientes intolerantes aos constituintes do produto, bem como o atendimento.

Benefícios: Espera-se desenvolver um produto de panificação para o mercado.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Em relação a pesquisa em seres humanos será realizada uma Análise Sensorial (cerca de 60 participantes), a priori serão escolhidas duas formulações de pães tipo forma com adição de linhaça e enzimas, além da formulação padrão (sem linhaça e enzimas). As amostras serão mantidas em temperatura ambiente até o momento da análise. Será aplicado um delineamento construído por blocos completos balanceados (BCB) e as amostras serão identificadas com códigos três dígitos aleatórios.

O teste será aplicado a provadores não-treinados e escolhidos ao acaso, consumidores de pão de forma. Não poderão participar da análise os portadores de intolerância ao glúten. Os participantes, após lerem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, serão convidados a assiná-lo, consentindo a sua participação no teste.

Todos os provadores avaliarão as três amostras de pão tipo forma, as quais serão servidas de forma monádica, em temperatura ambiente, com quantidades de aproximadamente 30 g, em guardanapos descartáveis, acompanhadas de água mineral em temperatura ambiente para limpeza do palato antes e entre a degustação de cada uma.

Os participantes responderão questões relacionadas à frequência e preferência de consumo de pão de forma e de produtos com farinha de linhaça. As amostras serão avaliadas quanto à aparência, aroma, cor, sabor, textura e avaliação global através escala hedônica estruturada de nove pontos (1 = desgostei muitíssimo; 9 = gostei muitíssimo), quanto à intenção de compra através de uma escala de 5 pontos (1 = certamente não compraria; 5 = certamente compraria) e quanto à amostra mais preferida, menos preferida e intermediária. Os provadores poderão opinar sobre cada amostra em espaço reservado para este fim.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentados de forma adequada: Ofício de encaminhamento, Folha de rosto, cronograma,

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

UF: CE

Município: FORTALEZA

CEP: 60.430-275

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comepe@ufc.br

Continuação do Parecer: 2.481.597

orçamento, Currículo do pesquisador, Anuência do local da pesquisa, declaração de concordância dos pesquisadores e TCLE.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1040011.pdf	15/12/2017 12:10:00		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Cristiano_Plataforma.pdf	13/12/2017 11:26:44	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Outros	Autorizacao_Laboratorio.pdf	28/11/2017 16:26:20	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Autorizacao_Institucional.pdf	28/11/2017 16:25:21	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Outros	Termo_de_Compromisso.pdf	24/11/2017 12:24:08	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Outros	Solicitacao_de_Apreciacao.pdf	24/11/2017 12:23:03	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao_Pesquisadores.pdf	24/11/2017 12:21:49	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	24/11/2017 12:18:32	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Cronograma	Cronograma.pdf	24/11/2017 12:17:57	Cristiano Silva da Costa	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	24/11/2017 12:17:43	Cristiano Silva da Costa	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	23/11/2017 23:25:22	Cristiano Silva da Costa	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

UF: CE

Município: FORTALEZA

CEP: 60.430-275

Telefone: (85)3366-8344

E-mail: comepo@ufc.br

UFC - UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ /



Continuação do Parecer: 2.481.597

FORTALEZA, 01 de Fevereiro de 2018

Assinado por:
FERNANDO ANTONIO FROTA BEZERRA
(Coordenador)

Endereço: Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

Bairro: Rodolfo Teófilo

CEP: 60.430-275

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85)3368-8344

E-mail: comepe@ufc.br