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

Desenvolvimento de massas congeladas de pães tipo forma contendo ingredientes funcionais

Rafael Audino Zambelli

Engenheiro de Alimentos

FORTALEZA - CEARÁ
2014

Rafael Audino Zambelli

Desenvolvimento de massas congeladas de pães tipo forma contendo ingredientes funcionais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Profª. Drª. Dorasílvia Ferreira Pontes.

Co-Orientador: Prof. Dr. Pablo Daniel Ribotta.

FORTALEZA - CEARÁ
2014

Rafael Audino Zambelli

Desenvolvimento de massas congeladas de pães tipo forma contendo ingredientes funcionais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará como resquisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em: ____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

_____

Profª. Drª. Dorasílvia Ferreira Pontes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará - UFC

_____

Profª. Drª. Socorro Vanesca Frota Gaban
Universidade Federal do Ceará – UFC

_____

Profª Drª. Suzana Cláudia Silveira Martins
Universidade Federal do Ceará – UFC

*E respondeu **Jesus**: "Está escrito: nem só de **pão** viverá o **homem**, mas de toda a palavra que sai da boca de **Deus!"***
(Mateus 4:4)

Aos meus pais, ***Vilivaldo*** *e* ***Adelaide*** *e ao meu irmão* ***Daniel****, por todos os ensinamentos e compreensão,* ***dedico este trabalho****!*

AGRADECIMENTOS

À Deus, o Rei dos reis, Senhor dos senhores, toda honra e toda a glória, agradeço por me proporcionar saúde, inteligência, força e a felicidade de sempre em desenvolver este projeto.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Departamento de Tecnologia de Alimentos e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, onde fiz muitos amigos e passei grande parte dos sete últimos anos que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido durante a realização do mestrado.

À orientadora Profª Dorasílvia Ferreira Pontes, da Universidade Federal do Ceará, pela amizade desde a graduação, orientação, dedicação, encorajamento, valiosa experiência e pela liberdade no desenvolvimento de inúmeros projetos dentro de uma ampla linha de pesquisa.

Ao co-orientador Prof. Pablo Daniel Ribotta, da Universidad Nacional de Córdoba, por confiar na proposta do projeto e ter credibilidade em meu trabalho, bem como por todo apoio e orientação.

Ao Prof. José Cals Gaspar Júnior, por sempre me encorajar a realizar uma pós-graduação. Aos professores Marcos Rodrigues Amorim Afonso, Maria do Carmo Passos Rodrigues, Socorro Vanesca Frota Gaban, Suzana Cláudia Silveira Martins, Lucicléia Barros Torres de Vasconcelos e Elisabeth Mary Cunha da Silva, da Universidade Federal do Ceará, por toda a colaboração indispensável para a realização e conclusão deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos, em especial ao José Pereira, Paulo Mendes e Luis Gonzaga, por todo apoio e amizade. Aos técnicos do Laboratório de Cereais Rejane, Augusto e Valderina pela amizade, dedicação e atenção. Às técnicas Neuma Pinheiro, Rosy e Vandira, por suas imensas contribuições para a realização e conclusão deste projeto. À Daiana Pimentel e Rayllacier Ferreira da Moinho Dias Branco S.A, pelo auxílio nas análises de textura.

Aos amigos da graduação Pedro Melo, Dandara Brasil, Grace Kelly, Evellheyn Rebouças, Glauber Moreira, Carlos Barreto e Diego Amaya (Universidad Francisco de Paula Santander) por toda dedicação, paciência e apoio durante a realização deste e de outros trabalhos. Aos amigos do mestrado, em especial ao Edilberto Cordeiro e Luan Ícaro por toda a amizade e apoio co
amiga Déborah Praciano, por toda a ajuda na finalização desta dissertação.

À todos os 725 provadores sensoriais que dedicaram uma parte de seu tempo para contribuírem para a realização deste trabalho. À todos que motivaram e cooperaram de forma direta ou indireta para a execução e finalização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver formulações de pães tipo forma processados com os ingredientes funcionais: polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó e estudar o processo de obtenção através da tecnologia de massas congeladas, avaliando o efeito da estocagem congelada por 60 dias nos parâmetros de qualidade dos pães. Aplicou-se três Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para o desenvolvimento das formulações. Foram utilizadas três combinações de ingredientes: polidextrose e tomate em pó; polidextrose e brócolis em pó; polidextrose e açaí em pó, sendo essas variáveis independentes, incorporadas em níveis de 0-20%, baseado no peso total da farinha de trigo. O DCCR incluiu onze ensaios: quatro pontos fatoriais, quatro axiais e três repetições no ponto central. Os resultados do DCCR foram analisados através da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), tendo como variáveis resposta o fator de expansão máximo das massas, volume específico, densidade e índice de expansão dos pães. Dois ensaios, de cada combinação de ingredientes, que obtiveram os melhores resultados com relação a estes parâmetros foram escolhidos para o estudo de sua obtenção pela tecnologia de massas congeladas. Os efeitos do período de estocagem congelada (0, 15, 30, 45 e 60 dias) foram avaliados através dos valores médios dos dados das características de qualidade dos pães, onde foram avaliados o fator de expansão e volume produzido das massas, bem como o volume específico, densidade, índice de expansão, pH, acidez, colorimetria, estrutura do miolo, análise de perfil de textura (TPA) e análise sensorial. Para a avaliação estatística foi aplicada a análise de variância, teste de Tukey e análise de regressão. Os resultados mostraram que a incorporação dos ingredientes funcionais, em quantidades superiores a 10%, modificaram os parâmetros de fator de expansão máximo, volume específico, densidade e índice de expansão dos pães, resultando em pães de qualidade inferior. O estudo da obtenção por massas congeladas foi realizado com sete formulações (padrão, sem a adição de ingredientes funcionais, T1 e T2, com 5% e 10% de polidextrose e tomate em pó, respectivamente, B1 e B2, com 5% e 10% de polidextrose e brócolis em pó e A1 e A2, contendo 5% e 10% de polidextrose e açaí em pó. O tempo de estocagem congelada promoveu a redução das células viáveis de levedura, esta redução foi menor nos pães com ingredientes funcionais, que preservaram maior número de células após 60 dias de estocagem congelada, quando comparados à formulação padrão. A estocagem congelada reduziu o fator de expansão e volume produzido das massas, assim como o volume específico e índice de expansão dos pães e aumentou a densidade. Houve aumento da luminosidade dos pães com ingredientes funcionais e redução da cromaticidade, o que pode ser relacionado com a degradação de pigmentos. O teor de umidade total das massas apresentou redução significativa ($p \leq 0,05$), bem como o número de alvéolos e a sua circularidade. Houve aumento da área e perimetro. Para os parâmetros de textura, houve elevação da dureza, gomosidade, mastigabilidade e coesividade, o que influenciou o decréscimo dos atributos sensoriais em função do tempo de estocagem. Concluiu-se que o tempo de estocagem congelada até 60 dias diminui as características de qualidade dos pães, entretanto, este efeito foi menor nos pães incorporados com os ingredientes funcionais, devido à maior preservação das células viáveis de levedura, apresentando qualidade superior aos pães processados sem a adição dos ingredientes funcionais.

Palavras-chave: Análise sensorial; Delineamento Composto Central Rotacional; Fermentação; Massa congelada; Pães com alegação funcional.

ABSTRACT

The aim of this study was to develop formulations of breads type processed form with functional ingredients polydextrose, tomatoes, broccoli and acai powder and study its getting through the frozen mass technology, evaluating the effect of frozen storage for 60 days in quality parameters breads. It was applied three a central composite design (CCRD) for the development of formulations. Three combinations of ingredients were used: polydextrose and broccoli powder, tomato powder and polydextrose polydextrose and acai powder, and these independent variables incorporated at levels of 0-20 % (flour basis). The CCRD included eleven trials : four factorial points , four axial and three replicates at the center point. The results of the CCRD were analyzed by Response Surface Methodology (RSM), with the response variable the factor of maximum expansion of the masses, specific volume, density and rate of expansion of the loaves. Two trials of each combination of ingredients , which achieved the best results with respect to these parameters were chosen for the study of obtaining the frozen dough technology. The effect of frozen storage period (0, 15, 30, 45 and 60 days) was evaluated through the average data values of the quality characteristics of bread, which we assessed the factor of expansion and production volume of the masses as well as the specific volume, density, expansion ratio, pH, acidity, colorimetry, crumb structure, texture profile analysis (TPA) and sensory analysis. For statistical analysis we used variance analysis, Tukey test and regression analysis was applied. The results showed that the incorporation of the functional parameters altered ingredients maximum expansion factor , specific volume, density, and expansion ratio of the loaves, damaging them in quantities up to 30 g. The study of obtaining frozen dough was held for seven formulations (standard, without adding functional ingredients , T1 and T2, with 5 to 10% polydextrose and tomato powder, respectively, B1 and B2, 5 to 10%, polydextrose and broccoli powder and A1 and A2, containing 5% to 10% polydextrose and acai powder. Generally, the time for frozen storage promoted the reduction of viable yeast cells, this reduction was less with the bread functional ingredients that have preserved greater number of cells after 60 days of frozen storage as compared to standard formulation. frozen storage expansion factor reduced the production volume and the mass and the specific volume expansion ratio and breads and enhanced density. was increased brightness of the loaves with functional ingredients and reduced chromaticity. Total moisture content of the mass showed a significant reduction ($p \leq 0.05$), and the number of alveoli and its circularity. Was increased the area and perimeter. For texture parameters, there was an increase in hardness, gumminess, chewiness and cohesiveness, which influenced the decrease of sensory attributes as a function of storage time. was concluded that the time of frozen storage was damaging the quality of breads however, this harmful effect was smaller breads incorporated with functional ingredients, due to greater preservation of viable yeast cells.

Keywords: Central Composite Rotational Design; Fermentation; Functional food; Frozen dough; Sensory Analisys.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processamento dos pães tipo forma 42
Figura 2 - Parâmetros de elipse truncada 42
Figura 3 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e tomate em pó sobre o volume específico 48
Figura 4 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do tomate em pó sobre a densidade 50
Figura 5 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do tomate em pó no índice de expansão 52
Figura 6 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do tomate em pó sobre o fator de expansão máximo (VEF) das massas 54
Figura 7 - Fluxograma do processamento dos pães tipo forma 58
Figura 8 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre o volume específico 62
Figura 9 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre a densidade 64
Figura 10 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre o índice de expansão 67
Figura 11 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre o fator de expansão máximo das massas 68
Figura 12 - Fluxograma do processamento dos pães tipo forma 73
Figura 13 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre o volume específico 77
Figura 14 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre a densidade 80
Figura 15 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre o índice de expansão 81
Figura 16 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre o fator de expansão máximo (VEF) das massas 83
Figura 17 - Fluxograma de produção de massas cruas congeladas 89
Figura 18 - Localização dos termopares nas massas para a obtenção das curvas de temperatura 89
Figura 19 - Curva de congelamento da massa padrão 97
Figura 20 - Curvas de congelamento de massas Tomate 1 (azul) e 2 (vermelho) 98
Figura 21 - Curvas de congelamento de massas Brócolis (vermelho) 1 e 2 (azul) 100
Figura 22 - Curvas de congelamento de massas Açaí 1 (vermelho) e 2 (azul) 101
Figura 23 - Células viáveis de levedura ao longo do tempo de armazenamento de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias 102
Figura 24 - Volume produzido (ΔV) durante a fermentação de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias 108
Figura 25 - Abertura da porosidade da massa representando a ruptura da rede de glúten 111
Figura 26 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação de massas Padrão 112
Figura 27 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Tomate 1 113
Figura 28 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Tomate 2 114
Figura 29 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Brócolis 1 115
Figura 30 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Brócolis 2 116
Figura 31 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Açaí 1 117
Figura 32 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Açaí 2 118
Figura 33 - Volume específico dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento não-congelado e congelado das massas por até 60 dias 121
Figura 34 - Densidade dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento não-congelado e congelado das massas por até 60 dias 124

Figura 35 - Índice de expansão (IE) dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento não-congelado e congelado das massas por até 60 dias 125
Figura 36 - pH dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento congelado das massas 127
Figura 37 – Acidez total (%) dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento congelado das massas 129
Figura 38 - Imagem digital limiarizada (900x900 mm) de amostras do miolo de pão tipo forma A2 após 60 dias de armazenamento congelado das massas 143
Figura 39 - Imagens digitalizadas (900x900 mm) e limiarizadas dos pães padrão provenientes de massas não-congeladas (a) e congelada por 60 dias (b) 144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulação padrão para a produção de pães tipo forma 40
Tabela 2 - Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2^2 40
Tabela 3 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais 41
Tabela 4 - Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma 45
Tabela 5 - Coeficientes de regressão para a resposta volume específico 47
Tabela 6 - ANOVA para a resposta volume específico 47
Tabela 7 - Coeficientes de regressão para a resposta densidade 49
Tabela 8 - ANOVA para a resposta densidade 49
Tabela 9 - Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE). 51
Tabela 10 - ANOVA para a resposta índice de expansão (IE) 51
Tabela 11 - Coeficientes de regressão para a resposta fator de expansão máximo (VEF) 53
Tabela 12 - ANOVA para a resposta fator de expansão máximo (VEF) 53
Tabela 13 - Formulação padrão para a produção de pães tipo forma 57
Tabela 14 - Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2^2 57
Tabela 15 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais 57
Tabela 16 - Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma 60
Tabela 17 - Coeficientes de regressão para a resposta volume específico 61
Tabela 18 - ANOVA para a resposta volume específico 61
Tabela 19 - Coeficientes de regressão para a resposta densidade 63
Tabela 20 - ANOVA para a resposta densidade 63
Tabela 21 - Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE) 65
Tabela 22 - ANOVA para a resposta índice de expansão (IE) 66
Tabela 23 - Coeficientes de regressão para a resposta fator de expansão máximo (VEF) 67
Tabela 24 - ANOVA para a resposta fator de expansão máximo (VEF) 68
Tabela 25 - Formulação padrão para a produção de pães tipo forma 72
Tabela 26 - Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2^2 72
Tabela 27 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais 73
Tabela 28 - Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma 75
Tabela 29 - Coeficientes de regressão para a resposta volume específico 76
Tabela 30 - ANOVA para a resposta volume específico 77
Tabela 31 - Coeficientes de regressão para a resposta densidade 79
Tabela 32 - ANOVA para a resposta densidade 79
Tabela 33 - Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE) 80
Tabela 34 - ANOVA para a resposta índice de expansão (IE) 82
Tabela 35 - Coeficientes de regressão para a resposta fator de expansão máximo (VEF) 82
Tabela 36 - ANOVA para a resposta fator de expansão máximo (VEF) 83
Tabela 37 - Formulações de pães tipo forma utilizadas no estudo da obtenção através de massas congeladas 94
Tabela 38 - Composição centesimal dos ingredientes funcionais, da farinha de trigo e das farinhas mistas 94
Tabela 39 - Composição centesimal dos pães tipo forma 96
Tabela 40 - Número remanescente de células viáveis de levedura nas massas 103
Tabela 41 - Percentual de células viáveis de levedura nas massas 104
Tabela 42 - Volume produzido (ΔV) durante a fermentação das massas 109
Tabela 43 - Valores do fator de expansão máximo das massas e resultados do teste de Tukey – Quadro Resumo 119
Tabela 44 - Volume específico dos pães tipo forma 122
Tabela 45 - Densidade dos pães tipo forma
Tabela 46 - Índice de expansão (IE) dos pães tipo forma 126
Tabela 47 - pH dos pães tipo forma 128

Tabela 48 - Acidez total (%) dos pães tipo forma 130
Tabela 49 - Análise colorimétrica dos miolos dos pães padrão 131
Tabela 50 - Análise colorimétrica dos miolos dos pães Tomate 1 132
Tabela 51 - Análise colorimétrica dos miolos dos pães Tomate 2 133
Tabela 52 - Análise colorimétrica dos miolos dos pães Brócolis 1 134
Tabela 53 - Análise colorimétrica dos miolos dos pães Brócolis 2 135
Tabela 54 - Análise colorimétrica dos miolos dos pães Açaí 1 136
Tabela 55 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães Açaí 2 137
Tabela 56 - Teores de umidade total (%UT) das massas em função do tempo de armazenamento congelado 138
Tabela 57 - Parâmetros estruturais do miolo de pães tipo forma 141
Tabela 58 - Dureza, elasticidade e gomosidade dos miolos de pães tipo forma 146
Tabela 59 - Mastigabilidade, coesividade do miolo de pães tipo forma 150
Tabela 60 - Valores médios dos atributos sensoriais dos pães tipo forma 153
Tabela 61 - Valores médios da impressão global e atitude de compra dos pães tipo forma 157
Tabela 62 - Resultados do teste de ordenação-preferência das amostras de pães tipo forma forma 160

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 17
CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA 20
1.1 Pão tipo forma 20
1.2 Composição da massa de pão 20
1.2.1 Farinha de Trigo 20
1.2.2 Água 21
1.2.3 Gordura 22
1.2.4 Fermento Biológico 23
1.2.5 Sal 24
1.2.6 Açúcar 24
1.3 Alimento com alegação de propriedade funcional 25
1.3.1 Polidextrose 25
1.3.2 Licopeno 26
1.3.3 Brócolis e Sulforafano 28
1.3.4 Açaí e polifenóis 30
1.4 Processamento de pães através da tecnologia de massas congeladas 31
1.4.1 Mistura 31
1.4.2 Divisão e moldagem 32
1.4.3 Embalagem 32
1.4.4 Congelamento 33
1.4.5 Armazenamento em temperaturas de congelamento 34
1.4.6 Descongelamento 34
1.4.7 Fermentação 35
1.4.8 Forneamento 36
1.4.9 Resfriamento 36
CAPÍTULO II – DESENVOLVIMENTO DE PÃES TIPO FORMA ADICIONADOS DE POLIDEXTROSE E TOMATE EM PÓ 38
1.0 INTRODUÇÃO 38
2.0 MATERIAL E MÉTODOS 39
2.1 Ingredientes 39
2.2 Equipamentos e utensílios 39
2.3 Métodos 39
2.3.1 Delineamento Experimental 40
2.4 Processo de obtenção dos pães tipo forma com polidextrose e tomate em pó 41
2.5 Avaliação Física das massas e dos pães tipo forma 42
2.5.1 Avaliação do processo de fermentação 42
2.5.2 Volume Específico 43
2.5.3 Densidade 43
2.5.4 Índice de Expansão (IE) 44
2.6 Análise estatística do delineamento composto central rotacional (DCCR) 44
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO 45
3.1 Avaliação Física dos pães tipo forma adicionados de Polidextrose e Tomate em pó 45
3.1.1 Efeito da polidextrose e tomate em pó no volume específico 47
3.1.2 Efeito da polidextrose e tomate em pó na densidade 49
3.1.3 Efeito da polidextrose e tomate em pó no Índice de Expansão (IE) 51
3.1.4 Efeito da polidextrose e tomate em pó no fator de expansão máximo (VEF) das massas 53
4.0 CONCLUSÃO 54
CAPÍTULO III – DESENVOLVIMENTO DE PÃES TIPO FORMA ADICIONADOS DE POLIDEXTROSE E BRÓCOLIS EM PÓ 55
1.0 INTRODUÇÃO 55

2.0 MATERIAL E MÉTODOS 55
2.1 Ingredientes 56
2.2 Equipamentos e utensílios 57
2.3 Métodos 56
2.3.1 Delineamento Experimental 57
2.4 Processo de obtenção dos pães tipo forma com polidextrose e brócolis em pó 58
2.5 Avaliação Física das massas e dos pães tipo forma 58
2.5.1 Avaliação do processo de fermentação 58
2.5.2 Volume Específico 58
2.5.3 Densidade 59
2.5.4 Índice de Expansão (IE) 59
2.6 Análise estatística do delineamento composto central rotacional (DCCR) 59
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO 59
3.1 Avaliação Física dos pães tipo forma adicionados de Polidextrose e Brócolis em pó 59
3.1.1 Efeito da polidextrose e brócolis em pó no volume específico 61
3.1.2 Efeito da polidextrose e brócolis em pó na densidade 63
3.1.3 Efeito da polidextrose e brócolis em pó no Índice de Expansão (IE) 65
3.1.4 Efeito da polidextrose e brócolis em pó no fator de expansão máximo (VEF) das massas 67
4.0 CONCLUSÃO 69
CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO DE PÃES TIPO FORMA ADICIONADOS DE POLIDEXTROSE E AÇAÍ EM PÓ 70
1.0 INTRODUÇÃO 70
2.0 MATERIAL E MÉTODOS 71
2.1 Ingredientes 71
2.2 Equipamentos e utensílios 71
2.3 Métodos 72
2.3.1 Delineamento Experimental 72
2.4 Processo de obtenção dos pães tipo forma com polidextrose e açaí em pó 73
2.5 Avaliação Física das massas e dos pães tipo forma 74
2.5.1 Avaliação do processo de fermentação 74
2.5.2 Volume Específico 74
2.5.3 Densidade 74
2.5.4 Índice de Expansão (IE) 74
2.6 Análise estatística do delineamento composto central rotacional (DCCR) 74
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO 75
3.1 Avaliação Física dos pães tipo forma adicionados de Polidextrose e Açaí em pó 75
3.1.1 Efeito da polidextrose e açaí em pó no volume específico 76
3.1.2 Efeito da polidextrose e açaí em pó na densidade 79
3.1.3 Efeito da polidextrose e açaí em pó no Índice de Expansão (IE) 81
3.1.4 Efeito da polidextrose e açaí em pó no fator de expansão máximo (VEF) das massas 83
4.0 CONCLUSÃO 84
CAPÍTULO V – OBTENÇÃO DE PÃES TIPO FORMA COM INGREDIENTES FUNCIONAIS POR MASSAS CONGELADAS 86
1.0 INTRODUÇÃO 86
2.0 MATERIAIS E MÉTODOS 87
2.1 Ingredientes 87
2.2 Equipamentos e utensílios 87
2.3 Métodos 88
2.3.1 Caracterização das matérias-primas e dos pães tipo forma 88
2.3.1.1 Umidade 88
2.3.1.2 Cinzas 88
2.3.1.3 Proteínas 88

2.3.1.4 Lipíidos totais 89
2.3.1.5 Carboidratos totais 89
2.4 Procedimento para a elaboração das massas cruas congeladas 89
2.5 Avaliação das características de qualidade das massas 90
2.5.1 Determinação das curvas de congelamento 90
2.5.2 Determinação de células viáveis de levedura 90
2.5.3 Conteúdo de água inicial das massas 91
2.5.4 Avaliação do processo de fermentação 91
2.5.5 Volume das massas produzidos durante a fermentação 91
2.5.6 Volume Específico 91
2.5.7 Densidade 91
2.5.8 Índice de Expansão 92
2.5.9 pH 92
2.5.10 Acidez total (%) 92
2.5.11 Análise de cor instrumental do miolo 92
2.5.12 Análise de imagem da estrutura do miolo 93
2.5.13 Análise de perfil de textura (TPA) 93
2.5.14 Análise sensorial 93
2.6 Análise estatística 94
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO 94
3.1 Obtenção dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais através de massas congeladas 94
3.1.1 Composição centesimal dos ingredientes funcionais, das farinhas de trigo e mistas 95
3.1.2 Composição Centesimal dos pães tipo forma proccessados com ingredientes funcionais 97
3.1.3 Determinação das curvas de congelamento das massas 98
3.1.4 Efeito do armazenamento congelado sobre a viabilidade das células de levedura 102
3.1.5 Efeito do armazenamento congelado das massas no volume produzido durante o processo de fermentação 107
3.1.6 Fator de expansão das massas não-congelada e congelada por até 60 dias 111
3.1.7 Efeito do armazenamento congelado de massas no volume específico 121
3.1.8 Efeito do armazenamento congelado de massas na densidade 124
3.1.9 Efeito do armazenamento congelado de massas no índice de expansão (IE) 126
3.1.10 Efeito do armazenamento congelado de massas no pH dos pães tipo forma 128
3.1.11 Acidez total (%) dos pães tipo forma obtidos a partir de massas não-congeladas e congeladas 130
3.1.12 Efeito do armazenamento congelado de massas nos parâmetros colorimétricos de pães tipo forma 131
3.1.13 Efeito do congelamento e armazenamento congelado por até 60 dias no teor de umidade total das massas 139
3.1.14 Efeito do congelamento e armazenamento congelado na estrutura do miolo 141
3.1.15 Efeito do congelamento e armazenamento congelado nos parâmetros de textura 146
3.1.16 Efeito do tempo de armazenamento congelado nos atributos sensoriais 153
4.0 CONCLUSÃO 162
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 165
ANEXOS
ANEXO A: Fator de expansão das massas para a produção de pães tipo forma processados com ingredientes funcionais (polidextrose e tomate em pó 185
ANEXO B: Fator de expansão das massas para a produção de pães tipo forma processados com ingredientes funcionais (polidextrose e brócolis em pó 189
ANEXO C: Fator de expansão das massas para a produção de pães tipo forma processados com ingredientes funcionais (polidextrose e açaí em pó 193
ANEXO D: Imagens digitais e limiarizadas do miolo dos pães tipo forma obtidos pela

tecnologia de massas congeladas 197
ANEXO E: Ficha da análise sensorial dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais 204
ANEXO F: Termo de livre consentimento e esclarecido 205

INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo os pães foram aperfeiçoados, ganhou novas formas, formulações e processos, adaptando-se às culturas e necessidades do mercado alimentício. Os avanços tecnológicos permitiram a substituição ou a agregação de ingredientes como, agentes oxidantes, emulsionantes, espessantes, dentre outros, em busca de uma melhor qualidade dos produtos (CANELLA-RAWLS, 2012).

Segundo Dewettinck *et al*. (2008), ocorreu uma mudança na percepção dos consumidores, que procuram produtos elaborados com grãos integrais, com ingredientes funcionais, com menor adição de gordura, açúcar e sal. Para Ritthiruangdej *et al*. (2011), o estilo de vida atual, que contribui para o aumento da obesidade, demanda por novos produtos alimentares com efeitos benéficos à saúde vem acompanhado pelo aumento da preocupação com a saúde pela população. De acordo com Mandala *et al*. (2009), a demanda por produtos que combinem alto valor nutricional e boa vida útil é cada vez maior.

Na busca de hábitos alimentares mais saudáveis, os consumidores preferem pães com menos calorias, ricos em fibras, com pouco sal, sem o uso de aditivos e que tragam benefícios a saúde, principalmente, como redução do risco de doenças degenerativas (SILVA, 2009), dentre estes, estão presentes os alimentos funcionais.

Os alimentos funcionais estão entre os grandes avanços conseguidos pelo homem no intuito de promover e proporcionar saúde e qualidade de vida. Estes alimentos, que trazem naturalmente benefícios à saúde foram desenvolvidos ultimamente aproveitando-se do conhecimento recentemente adquirido por engenheiros, tecnólogos de alimentos, químicos, nutricionistas e profissionais da área da saúde (CRAVEIRO e CRAVEIRO, 2003). Os benefícios para a saúde dos alimentos funcionais são frequentementes associados com os seus componentes bioativos, os quais se credita proporcionar benefício, além da nutrição básica (LIU *et al*., 2010).

Podem ser citados como alimentos funcionais, aqueles que possuem componentes bioativos em sua composição, dentre eles, os carotenóides. São compostos com ampla distribuição na natureza, estruturas químicas diversas e funções variadas, estão entre os constituintes alimentícios mais importantes, são pigmentos naturais responsáveis pelas cores de amarelo a laranja ou vermelho de muitas frutas e verduras. O licopeno é o pigmento que fornece ao tomate a coloração vermelha, vários estudos correlacionam esta substância com a redução dos índices de vários tipos de câncer, principalmente de próstata e pâncreas (RODRIGUES-AMAYA, 2008).

O uso do tomate em pó possui muitas vantagens, o que inclui a facilidade de embalagem, transporte, propriedades de mistura, além de possuir elevado teor de licopeno, devido à retirada da água do produto natural (GIOVANELLI et al., 2003). A sua aplicação em produtos de

panificação tem sido pouco estudada, podendo vir a ser uma excelente fonte de licopeno biodisponível para o organismo.

Outro vegetal que tem conquistado maior espaço no mercado de alimentos processados é o brócolis, que é uma hortaliça pertencente à família das crucíferas e ao gênero *Brassica* (IZCO, 2004). Devido a sua composição química é considerado um vegetal de alto valor nutritivo. O crescente aumento no consumo de brócolis é devido aos efeitos benéficos para a saúde, como a redução do risco de ocorrência de gastrite e câncer (MORENO *et al*., 2006). Por estas razões, busca-se incorporar este vegetal nos mais diversos produtos alimentícios.

Outro fruto de grande interesse é o Açaí. O Brasil se posiciona como o maior produtor, consumidor e exportador (MENEZES, 2005). A polpa de açaí tem sido objeto de estudos em função de seu valor nutritivo e sensorial (MENEZES, 2005 SOUTO, 2001;), sendo inclusive considerada como um alimento nutracêutico devido ao seu rico conteúdo de antocianinas, pigmentos hidrossolúveis responsáveis pela cor avermelhada do fruto, bem como apresentando elevado conteúdo mineral (MENEZES, 2005;IADEROZA *et al*., 1992). Devido a estes fatores, o açaí torna-se um produto em potencial para elevar o valor nutricional de produtos de panificação.

A polidextrose é um polímero de glicose, com baixo poder calorífero (1 kcal/g) e demonstra efeito fisiológico semelhantes à fibra dietética, aumentando o volume fecal, produzindo ácidos graxos de cadeia curta no cólon, reduzindo o tempo de trânsito, o que promove a redução da quantidade de substâncias cancerígenas em putrefação no cólon, além de induzir efeitos pré-bióticos (RANINEN *et al*., 2011), por se tratar de um nutriente na forma de pó, os produtos de panificação podem ser potenciais veículos para a sua incorporação.

O mercado de massas congeladas para a produção de pães tem crescido constantemente, devido à demanda por produtos assados de conveniência e de alta qualidade (BHATTACHARYA, LANGSTAFF e BERZONSKY, 2003). Essa tecnologia permite maior praticidade para padarias e supermercados através da padronização do produto, redução de custos, espaço e equipamentos, proporciona maior variedade de produtos em períodos maiores, não exige mão de obra especializada, garante a flexibilidade e agilidade na produção no ponto de venda (CAUVAIN, 2009). Havendo uma crescente demanda por esta tecnologia ao longo das duas últimas décadas, massas congeladas podem ser fabricadas em uma fábrica centralizada e distribuída para lojas de varejo, isto faz com que pães frescos sejam disponíveis ao longo do dia (YI, KEER e JOHNSON, 2009).

Devido à problemática quanto ao uso das massas congeladas, como a redução das características de qualidade dos produtos, a melhoria dos produtos obtidos pela tecnologia de massas congeladas com o uso melhoradores químicos vem sendo estudada (PUNTURUG e NETIWARANON, 2013). O uso de ingredientes funcionais na tentativa atenuar a redução da

qualidade dos produtos de panificação provenientes de massas congeladas, pode vir a ser substituto de aditivos químicos, diminuindo o valor comercial e agregando valor nutricional aos produtos de panificação.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver formulações de pães tipo forma processados com os ingredientes funcionais polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó através do uso do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) e estudar a sua obtenção através da tecnologia de massas congeladas, avaliando o efeito do armazenamento congelado por até 60 dias nos parâmetros de qualidade dos pães tipo forma.

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Pão tipo forma

O pão é composto basicamente por farinha de trigo, água, levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) e sal (cloreto de sódio). No entanto outros componentes são adicionados em pequena quantidade para melhorar as características da massa, durante o processamento e do produto final. Estes componentes são emulsionantes, enzimas, agentes oxidantes, reguladores de acidez, entre outros (SOUSA, 2012).

É uma espuma instável, elástica e sólida, que contém uma fase contínua composta, parte por uma rede de proteínas formadoras do glúten interligadas e parte por moléculas poliméricas do amido lixiviadas, principalmente amilose, ambos não complexados e complexados com moléculas de lipídeos polares e uma fase descontínua de grãos de amido confinados, gelatinizados, retorcidos e deformados (GRAY e BEMILLER, 2003).

As características do pão e de outros produtos fermentados dependem muito da formação de uma rede de glúten, não apenas para reter o gás da fermentação, mas também para contribuir diretamente com a formação de uma estrutura celular do miolo que após o cozimento, conferem textura e qualidades sensoriais, que são diferentes em comparação a outros produtos forneados (CAUVAIN, 2009). A qualidade de um produto de panificação pode ser definida pela perda de peso após o forneamento, volume, crosta crocante e estabilidade da cor.

1.2 Composição da Massa de Pão

1.2.1 Farinha de Trigo

A farinha de trigo é o principal ingrediente da massa do pão. Os diferentes tipos são utilizados de acordo com as características desejadas de uma massa (LAAKSONEN, 2001). A composição das farinhas é variável de acordo com a variedade do trigo e o seu grau de extracção (PENFIELD e CAMPBELL, 1990).

O principal hidrato de carbono presente na farinha de trigo é o amido, responsável por aproximadamente 65% da sua composição. O amido apresenta-se na forma de grânulos sendo o seu tamanho e formato característico da origem botânica. As proteínas correspondem aproximadamente a 12% de sua composição, dividindo-se em proteínas solúveis, as albuminas e globulinas, responsáveis por um sexto do total e o restante referente às proteínas insolúveis que são as gliadinas e gluteninas. Estas últimas conferem propriedades de panificação à farinha, as gliadinas são

proteínas de cadeia simples, extremamente pegajosas, com ligações dissulfeto intramoleculares, responsáveis pela extensibilidade da massa. As gluteninas, por sua vez, apresentam cadeias ramificadas, com ligações dissulfeto intramoleculares e intermoleculares, sendo responsáveis pela elasticidade da massa (STAUFFER, 1998).

As gliadinas e as gluteninas são as proteínas mais importantes do ponto de vista tecnológico, pois compõem o glúten, que tem a capacidade de produzir uma massa viscoelástica que retém o dióxido de carbono (CO2) produzido durante a fermentação nas primeiras etapas de cozimento do pão, dando origem a um produto leve (TEDRUS *et al*., 2001).

De acordo com Nunes (2006) o glúten é formado quando a farinha de trigo, misturada com a água e os demais ingredientes, sofre a ação de trabalho mecânico. À medida que a água começa a interagir com as proteínas insolúveis da farinha de trigo a rede de glúten começa a formar-se.

1.2.2 Água

A água tem importância primordial na formação da massa. Tem por função hidratar a massa, permite a formação do glúten e a gelatinização do amido, determina a consistência da massa, controla a temperatura da massa, dissolve os ingredientes sólidos, distribuindo-os de forma uniforme em toda a massa e torna possível a atividade enzimática e ação de leveduras (CAUVAIN, 2009).

É essencial para a ação da levedura e é responsável pela consistência da massa. Assim, a água cria o ambiente úmido apropriado para o desenvolvimento da intensa atividade enzimática e inicia o processo de fermentação (CANELLA-RAWIS, 2012). Tem a função de favorecer a mistura dos ingredientes e permite ainda a formação da rede de glúten, controlando e distribuindo a temperatura da massa que aquece devido a fatores como temperatura ambiente e trabalho mecânico (DOS SANTOS, 2006).

Deve seguir os requisitos de potabilidade e de constituição física e química da legislação vigente, ser isenta de microrganismos patogênicos e os provenientes de resíduos fecais. A dosagem de água nas formulações deve variar de 55 a 65% em média, dependendo do grau de absorção de água da farinha de trigo. A adição em excesso pode fornecer massa mole e pegajosa, resultando em pães de qualidade inferior. O gasto energético também poderá ser maior na etapa de cozimento, pois a quantidade de água a ser evaporada da massa é maior. Por outro lado, a escassez de água fornece massas mal desenvolvidas, de difícil fermentação e os pães envelhecem mais rápido e terão menor volume (MORETTO e FETT, 1999).

A quantidade de água absorvida depende da qualidade da farinha de trigo. Uma farinha de boa qualidade garante boa absorção de água e retenção de umidade durante o processamento da massa. Os melhores resultados de volume de pães ocorrem quando o nível de água absorvido é o maior possível antes da massa torna-se pegajosa, porém, o volume não depende somente da absorção da água, mas também do tempo de mistura (LAAKSONEN, 2001).

A água que não é absorvida pelos componentes da farinha permanece como água livre e nas massas congeladas deve ser reduzida a fim de minimizar a formação de cristais de gelo obtendo melhor resultado no produto final (MATUDA, 2004). Ela cria o ambiente úmido apropriado para o desenvolvimento da intensa atividade enzimática e inicia o processo de fermentação. Pode ser usada em concentrações que variam de 50 a 60% numa formulação para pão (CAUVAIN, 2009).

1.2.3 Gordura

As gorduras exercem grande influência nos processos de panificação, principalmente no volume do pão e na manutenção da qualidade após o cozimento. A dispersão das partículas de gordura na massa permite que o pão fique macio e palatável por um período de tempo prolongado, além de contribuir para a liberação de um perfil aromático característico (STAUFFER, 2007).

A nível tecnológico as gorduras diminuem as cadeias do glúten, o lubrificando para que fiquem menos coesos e sem espaços para expansão, o que fornece maciez e umidade à massa, além de prolongar a vida útil do pão (CAUVAIN, 2009). Também contribuem nas características sensoriais dos produtos como no sabor, cor, textura e auxilia como aerador, permitindo a incorporação de ar nas massas. Auxilia no manuseio, deixando-as menos pegajosas, o que facilita a utilização de equipamentos, como por exemplo, as misturadoras. Possibilita melhor retenção do gás carbônico produzido durante a fermentação devido à lubrificação da cadeia de glúten. Durante o cozimento forma uma película protetora da umidade, sendo o único ingrediente que, ao final do processo de produção, está presente integralmente (GUERREIRO, 2006).

As gorduras ideais em panificação são as saturadas com comprimento de cadeia variando entre 16 e 18, com ponto de fusão entre 55ºC-60ºC. As gorduras que possuem 100% de saturação devem estar bem dispersas na massa (MORETTO e FETT, 1999).

CARR e TADINI (2003) avaliaram o efeito da adição de gordura vegetal hidrogenada (2%) em pão francês pré-assado onde a gordura influenciou na textura dos pães apresentando menores valores de firmeza quando comparados às formulações tradicionais. De acordo com Cauvain (2009), a quantidade de gordura adicionada deve ser controlada, pois, em excesso, dificulta a ação do fermento.

1.2.4 Fermento Biológico

O fermento constitui um dos principais ingredientes no processo de panificação além da farinha de trigo. A levedura utilizada em processos de panificação é a *Saccharomyces cerevisiae*. A ação da levedura ocorre metabolizando açúcares (glicose, sacarose, maltose e frutose), em condições de anaerobiose com a produção de gás carbônico (CO_2), colaborando para o aumento do volume das massas e consequentemente do produto final. A quantidade necessária a ser adicionada à formulação dependerá do tempo de armazenamento e do tempo de fermentação após o descongelamento da massa. A tolerância da levedura ao congelamento apresenta variação entre as linhagens, tipo de produto e temperatura utilizada. A quantidade real de gás produzida é decorrente da quantidade de levedura, da temperatura inicial da massa, da temperatura de congelamento e da capacidade da massa em reter o gás. Estudos mostram que as leveduras submetidas a temperaturas de refrigeração antes de serem congeladas mantém a viabilidade e melhora a tolerância aos ciclos de congelamento e descongelamento. Com relação ao tipo, tanto a levedura prensada como a seca tem bom funcionamento em massas congeladas. A perda da atividade de gaseificação nas massas congeladas é bem documentada, isso é decorrente da perda de atividade de células viáveis de levedura, o que gera produtos com menor volume específico. Períodos de armazenamento de massas congeladas superior a 30 dias, a quantidade de fermento adicionada deve ser de 100% a mais do que para a formulação não-congelada (CAUVAIN, 2009).

Brasil *et al*. (2013) compararam o uso de massas pré-fermentadas congeladas e massas fermentadas congeladas para a produção de pães e concluíram que a aplicação da pré-fermentação e posterior congelamento das massas reduziu a capacidade de expansão das massas. A maior atividade da levedura em massas pré-fermentadas pôde torná-las mais susceptível à danos pelo congelamento, inviabilizando maior quantidade de células de levedura, prejudicando o poder de gaseificação da massa e consequentemente os parâmetros físicos de volume específico, densidade e fator de expansão.

Meziani *et al*. (2012a) desenvolveram um estudo que teve o objetivo de relacionar o efeito do teor de levedura e do armazenamento congelado por 9 semanas a - 40 ºC sobre os parâmetros estruturais, reológicos e da atividade fermentativa de massa doce congelada. Foram desenvolvidos dois tipos de massa, um denominado “massa levedura simples” e outro “massa levedura dupla”. Também foi avaliada a atividade fermentativa (viabilidade celular, poder de gaseamento e volume da massa). Os resultados mostraram que quanto maior o tempo de armazenamento congelado maior é a perda de qualidade da massa congelada. Os atributos reológicos como dureza e elasticidade e a atividade da levedura diminuíram significativamente

durante o armazenamento congelado. Esta modificação levou uma diminuição do volume específico da massa. Este efeito do armazenamento foi concentrado nos primeiros 27 dias de armazenamento.

Carr e Tadini (2003) avaliaram a influência da quantidade de levedura sobre parâmetros físicos de pães tipo francês pré-assado e congelado e concluíram que quanto maior a quantidade de fermento empregada na formulação maior foi o volume específico dos pães devido a maior atividade fermentativa gerando maior quantidade de gás carbônico. No entanto, a maior quantidade de fermento não alterou significativamente a coesividade dos pães, que apresentou discreto aumento.

1.2.5 Sal

É o ingrediente mais barato e deve ser usado em pequenas quantidades (1,8%~2,2%) em relação à farinha de trigo (EL-DASH, 1982).

O sal atua nos organismos e influencia os microrganismos modificando os gradientes de concentração nos meios intra e extracelular, por isso ele é importante no controle da fermentação, permitindo assim um melhor desenvolvimento da massa durante este processo e a produção de ácidos e outros componentes que serão responsáveis pelo sabor e aroma do pão (ALMEIDA, 2012).

Há diversos métodos de panificação, como o da adição retardada de sal, que permite a fermentação máxima antes da adição do sal, para verificar a taxa de fermentação. O sal também é necessário para dar sabor ao pão, sem ele, o pão fica insípido. A taxa normal de adição de sal é em torno de 2% do peso da farinha de trigo, mas, se há a presença de açúcar, em especial em altos níveis, o nível de sal pode ser reduzido para 1%. Tanto o sal (cloreto de sódio) como o açúcar influenciam na atividade do fermento. Além disso, as quantidades de sal e açúcar são ajustadas na panificação por motivos de sabor, textura e período de comercialização do produto, e assim, a formulação dos produtos fermentados pode ter uma influência significativa na atividade do fermento (CAUVAIN, 2009).

1.2.6 Açúcar

Em alguns países, pouco ou nenhum açúcar é utilizado nos pães básicos, embora pães especiais e outros produtos fermentados, como cereais matinais possam ter até 15% de açúcar nas formulações. O açúcar é utilizado como substrato para o processo de fermentação e para reações com os aminoácidos para que ocorram reações de Maillard e caramelização, que vão conferir coloração característica aos produtos (CAUVAIN, 2009).

É responsável pelo aumento da velocidade das fermentações, aumento da maciez, proporciona coloração agradável da crosta, retenção de umidade no miolo e sabor. Quando utilizado

em excesso, o resultado é um pão esfarelado. Pode ser utilizado em concentrações que variem de 2% a 10% (CANELLA-RAWS, 2012).

1.3 Alimento com alegação de propriedade funcional

De acordo com a legislação brasileira, os alimentos funcionais podem ter dois tipos de alegações: Alegação de propriedade funcional e alegação de propriedade de saúde. A primeira é aquela relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano. A última é aquela que afirma, sugere ou implica a existência da relação entre o alimento ou ingrediente com doença ou condição relacionada à saúde (BRASIL, 1999c)

No Brasil, o Ministério da Saúde, através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), regulamentou os Alimentos Funcionais através das seguintes resoluções: ANVISA/MS 16/99; ANVISA/MS 17/99; ANVISA/MS 18/99; ANVISA/MS 19/99.

O registro de um alimento funcional só pode ser realizado depois de comprovada a alegação de propriedades funcionais ou de saúde com base no consumo previsto ou recomendado pelo fabricante, na finalidade, condições de uso e valor nutricional, quando for o caso ou na evidência(s) científica(s): composição química ou caracterização molecular, quando for o caso, e ou formulação do produto; ensaios bioquímicos; ensaios nutricionais e ou fisiológicos e ou toxicológicos em animais de experimentação; estudos epidemiológicos; ensaios clínicos; evidências abrangentes da literatura científica, organismos internacionais de saúde e legislação internacionalmente reconhecidas sob propriedades e características do produto e comprovação de uso tradicional, observado na população, sem associação de danos à saúde (BRASIL, 1999c; BRASIL 1999d).

1.3.1 Polidextrose

A polidextrose é um polímero de glicose desenvolvido em 1960, foi polimerizado aleatoriamente com cadeias ramificadas e possui vários tipos de ligações glicosídicas que não são digeridas por enzimas digestivas humanas (RANINEN *et al*., 2011). Possui poder calorífero baixo, com 1 kcal a cada grama de polidextrose, tendo demonstrado efeito fisiológico semelhante ao das fibras dietéticas (HENGST *et al*., 2008), sendo parcialmente fermentado pela microbiota do intestino.

Sendo assim, promove o aumento do volume fecal e da produção de ácidos graxos de cadeia curta no cólon, reduz o tempo de trânsito das fezes, o que pode reduzir as concentrações de substâncias cancerígenas em putefração no cólon, reduz o pH fecal induzindo efeitos prébióticos e

reduz os triglicerídeos séricos. É amplamente utilizada na indústria alimentícia como redutor de calorias, espessante, estabilizante, como substituto de açúcar e umectante (JIE *et al*., 2000; RANINEN *et al*., 2011).

Seu limiar laxante foi determinado por diversos órgãos regulatórios dos Estados Unidos e da Europa e concluíram que o limiar laxante da polidextrose é de 90 g/dia ou 50 g na forma de uma única dose (FLOOD *et al*., 2004).

A polidextrose possui excelente capacidade de retenção de água, mas não forma soluções viscosas (JIE *et al*., 2000). Shimomura *et al*., (2005) observaram redução na glicemia pós-prandial e níveis séricos de triglicerídeos quando chocolate continha polidextrose ao invés de sacarose. Já Vasankari *et al*., (2005) relatam redução de 25% nos níveis de triglicerídeos pós-prandiais após consumo de hambúrguer suplementado com 12,5 g de polidextrose.

Também apresenta efeitos benéficos sobre a função intestinal, estudos demonstram que o aumento da massa fecal e a frequência torna mais fácil a evacuação e reduz os problemas de constipação. Devido a sua estrutura de cadeia ramificada, a polidextrose é degradada somente de forma parcial no intestino, portanto, o aumento das fezes é devido a sua indigestibilidade (HENGST *et al*., 2008; BEYER-SEHLMEYER *et al*., 2003; JIE *et al.*, 2000; WANG *et al*., 1993).

Ranawana *et al*. (2013) estudaram a relação do consumo de polidextrose com a saciedade em humanos e concluíram que a adição de 3% em bebida tem o potencial para reduzir a ingestão de alimentos em adultos saudáveis do sexo masculino à curto prazo, podendo ser potencialmente utilizada como controle de apetite.

1.3.2 Tomate e Licopeno

O pigmento vermelho licopeno ($C_{40}H_{56}$) é um carotenóide que se acumula em frutos, flores e raízes de algumas espécies vegetais, incluindo, hortaliças e fruteiras. A principal fonte de licopeno na dieta humana é o fruto do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e seus derivados. A estrutura química singular do licopeno confere marcante ação antioxidante, contribuindo na prevenção de doenças degenerativas, cardiovasculares e de certos tipos de câncer. Além do fator nutricional, a concentração do licopeno no tomate está relacionada com uma melhor percepção visual dos produtos, existindo, portanto, uma forte demanda para aumentar os teores deste pigmento em frutos das cultivares tanto para consumo *in natura* quanto para processamento industrial (CARVALHO, *et al*., 2005).

Os carotenóides são pigmentos naturais, com coloração variando do amarelo ao vermelho, que têm sido largamente utilizados como corantes em alimentos, bebidas, cosméticos e rações animais. Além disso, estes pigmentos possuem comprovada atividade de vitamina A e

existem evidências de outras propriedades biológicas, terapêuticas e preventivas de vários tipos de distúrbios e enfermidades em humanos (MERCADANTE e NUNES, 2004).

O pigmento licopeno é pertencente ao subgrupo dos carotenoides não-oxigenados, tendo como característica uma estrutura acíclica e simétrica contendo 11 duplas ligações conjugadas. Devido a esta estrutura química, o licopeno tem a característica de ser um dos principais supressores biológicos de radicais livres, portanto, com ação antioxidante. Estudos clínicos e epidemiológicos têm confirmado que dietas ricas em licopeno estão associadas com a redução do risco de desenvolvimento de câncer de próstata e ovário bem como a uma menor incidência de doenças degenerativas crônicas e cardiovasculares (CARVALHO *et al.*, 2005).

As atividades biológicas dos carotenoides têm sido relacionadas às suas propriedades antioxidantes, isto é, a sua capacidade de sequestrar o oxigênio singleto e interagir com radicais livres. O licopeno mostrou ser mais eficiente no sequestro deste oxigênio que o β-caroteno. (KOBORI, *et al*., 2010), possivelmente devido à presença das duas ligações duplas não conjugadas, o que lhe oferece maior reatividade (SHAMI e MOREIRA, 2004).

O tomate e seus produtos derivados são a principal fonte de licopeno e estudos têm demonstrado que o aumento do consumo destes pode diminuir o risco da ocorrência de doenças cardiovasculares e alguns tipos de cânceres, como o de próstata, pulmão e de sistema digestivo (OSTERLIE e LERFALL, 2005).

Estudos recentes sugerem que o licopeno tem papel preventivo no estresse oxidativo das células e foi classificado como sendo o carotenóide com maior potencial antioxidante entre os seguintes: licopeno > α-tocoferol > α-caroteno > β-cryptoxantina > zeaxantina = β-caroteno > luteína (HEBER e LU, 2002).

O tratamento térmico e a homogeneização mecânica do tomate aumentam a absorção do licopeno nos tecidos corporais. Porém, o tratamento térmico, pode diminuir alguns componentes benéficos, como os flavonóides, vitamina C e vitamina E. Essa melhoria da biodisponibilidade pode ocorrer devido à presença de lipídeos na dieta, à isomeração induzida pelo calor formando mais cis-isômeros e à presença de outros carotenóides, como o β-caroteno (WILLCOX *et al*., 2003).

A composição e estrutura do tomate pode dificultar a liberação do licopeno a partir da matriz, podendo reduzir a biodisponibilidade do licopeno associado à quantidade de tomate (ALSHATWI *et al*., 2010). E esses autores verificaram que o tomate em pó tem maior efeito protetor ao estresse oxidativo celular do que o produto *in natura*.

Devido ao seu elevado poder antioxidante, o tomate em pó tem sido amplamente utilizado em muitos estudos e preparações alimentícias (TUZCU *et al*., 2012). Estes autores provaram que a suplementação com tomate em pó impediu o crescimento e a incidência de câncer

colorretal em ratos wistar, desempenhando um papel importante contra o estresse oxidativo, podendo ser um potencial candidato na prevenção deste tipo de tumor em seres humanos.

Eylier e Oztan (2011) estudaram o uso do tomate em pó como aditivo em salsichas em detrimento do uso do nitrito e nitrato, os autores concluíram que o uso de 2% a 4% de tomate em pó proporcionou efeito antioxidante e a coloração dos produtos, trazendo benefícios à saúde pela inclusão do licopeno e redução do uso de nitritos e nitratos.

1.3.3 Brócolis e sulforafano

Os glucosinolatos são substâncias derivadas de plantas que possuem enxofre e tioglucose, são produzidos em altas concentrações em vegetais da família Brássica, que são comumente consumidos na dieta humana, seja como legumes ou condimentos, como repolho, couve-flor, brócolis, mostarda e rabanete. Atualmente existem mais de 120 espécies de glucosinonatos identificados, sendo o sulforafano, presente principalmente no brócolis, um dos mais estudados (GHAWI *et al.*, 2012).

Nos últimos anos, o consumo de brócolis tem aumentado devido aos seus efeitos benéficos para a saúde, como por exemplo, a redução do risco de alguns tipos de câncer. Sulforafano é um composto com propriedades antioxidantes e é capaz de estimular enzimas desintoxicantes presentes no organismo, sendo assim um potente agente preventivo contra o câncer. Fitoquímico pertencente a família dos isotiocianatos, contém enxofre e tem provado ser uma fonte poderosa contra os processos de mutagênese, carcinogênese e outras formas reativas de oxigênio (CAMPAS-BAYPOLI, 2012). Liu *et al*. (2009) também destacam que o sulforafano, é um produto da hidrólise do glucorafano do brócolis e pode melhorar a desintoxicação de substâncias com potencial carcinogênico.

Além disso, Fahey *et al*. (2003) relataram que o brócolis é uma das fontes mais ricas na promoção da saúde através de glucosinolatos, antioxidantes e nutrientes essenciais como fonte de fibra diética total (3,0 g/100 g), cálcio (48 mg/100 g), magnésio (25 mg/100 g), selênio (3,0 µg/100 g), zinco (0,4 mg/100 g), ácido ascórbico (93,2 mg/100 g), ácido fólico (71 µg/100 g) e β-caroteno (779 µg/100g).

Conaway *et al*. (2000) relataram que a biodisponibilidade de isotiocianatos presentes no brócolis cru foi três vezes maior do que em brócolis refogado, os autores atribuem ao fato de ter ocorrido a lixiviação das substâncias no processo de cozimento.

Porém, os glucosinolatos por si só são biologicamente inativos, o seu consumo ou processamento permite a sua ativação, através de uma enzima endógena presente no brócolis (HENNIG *et al*., 2012).

O brócolis contém a enzima mirosinase, que em presença de água converte o glucosinolato no composto bioativo sulforafano, sendo uma substância com potencial anti-carcinogênico, conforme explicam Jeffery e Araya (2009).

Os glucosinolatos co-existem com a enzima mirosinase, estando presentes em estruturas celulares diferentes, existindo uma separação física entre as células intactas, quando ocorre o rompimento celular e consequente liberação de água. A mirosinase hidrolisa as ligações dos glucosinolatos e produz uma série de produtos de degradação, alguns destes produtos são de caráter antinutricional para herbívoros, entretanto, há fortes indícios de que eles são as principais fontes de atividade anti-carcinogênica em seres humanos para plantas desta família, sendo também responsáveis pelos sabor e aroma característicos (GHAWI *et al.*, 2012; KISSEN *et al*., 2009; FAHEY *et al*., 2001; FENWICK *et al*., 1983).

Oelermans *et al*. (2006) investigaram termicamente a quebra dos glucosinolatos em repolho vermelho, onde a degradação enzimática e lixivação foram eliminadas do estudo, ocorrendo a degradação em temperaturas de 110 °C.

A atividade da mirosinase foi encontrada em diferentes teores de atividade de água em brócolis em pó, a degradação inicia-se a 30° C, para teores de umidade superiores a 62% (CASTELO-BRANCO, 2010), valor superior ao teor de umidade inicial de massas para a produção de pão.

A utilização do brócolis em pó em formulações de pães pode ser benéfica do ponto de vista em que a ação da enzima mirosinase pode ocorrer durante o processo de mistura, onde há o rompimento celular e durante o tempo de fermentação das massas, garantindo maior biodisponibilidade dos produtos com atividade anti-carcinogênica, sendo inativadas durante o forneamento, onde a atividade antioxidante pode ser maximizada, além de desenvolver um novo produto não-existente no mercado.

A obtenção de pães contendo brócolis em pó pela tecnologia de massas congeladas também não apresenta problemas com relação ao conteúdo enzimático e a possível atividade antioxidante do produto, uma vez que estudos (RUNGAPAMESTRY *et al*., 2008), mostram que a atividade da mirosinase é estável sob armazenamento congelado a – 20 °C durante pelo menos 90 dias.

1.3.4 Açaí e polifenóis

O açaí *(Euterpe olearacea Mart*.) é uma palmeira nativa da região amazônica da América do Sul, que surgiu recentemente como uma fonte promissora de componentes antioxidantes e elevado conteúdo mineral (HOGAN *et al*., 2010). Estudo recente mostrou que o

extrato de açaí possui atividade perceptível sobre superóxidos e esta atividade é a maior já relatada por qualquer outro alimento (SCHAUSS *et al*., 2006).

É uma fruta relatada como rica em antocianinas com forte atividade anti-proliferativa de diversas células de câncer (HOSSEINIAN *et al*., 2007).

Recentes estudos dão ênfase para as propriedades antioxidantes do fruto de açaí com possibilidades dele compor o grupo dos alimentos funcionais. Em trabalho desenvolvido por Spada *et al*. (2008), foi demonstrado que as frutas, mesmo a polpa congelada, são ricas em carotenoides, acido ascórbico e compostos fenólicos, o que lhes confere importante atividade antioxidante (BERNAUD e FUNCHAL, 2011).

A polpa do açaí possui vários antioxidantes, mas as antocianinas, proantocianidina e outros flavonóides são os fitoquímicos predominantes. Além desses pigmentos, açaí também possui em sua composição compostos fenólicos, dentre outros, que também são componentes antioxidantes (SANTOS *et al*., 2008).

As antocianinas, presentes no fruto, tornaram-se conhecidas por suas diversas propriedades farmacológicas e propriedades medicinais, incluindo anticarcinogênica, anti-inflamatória e antimicrobiana, prevenindo a oxidação de proteínas de baixa densidade (LDL), enfermidades cardiovasculares e doenças neurológicas (KUSKOSKI *et al*., 2002).

Menezes e Torres (2008) estudaram o valor nutricional de polpa de açaí liofilizada, onde observaram que o produto é fonte de mais de 20 minerais, sendo o cálcio e o potássio mais abundantes, com 900mg e 330mg em 100g de polpa, respectivamente.

HYOGAN *et al*. (2010) avaliaram as propriedades antiproliferativas e antioxidantes das antocianinas presentes no extrato de açaí e concluíram que possui forte atividade antioxidante e proliferativa contra as células de glioma C-6.

Tonon *et al*. (2009) estudaram a obtenção de açaí em pó e verificaram que houve retenção dos componentes antioxidantes e eleavadas quantidades de polifenóis, o que justifica, juntamente com o seu elevado teor mineral, a sua utilização em formulações de pães tipo forma.

Rocha et al. (2007) verificaram efeito vasodilatador do extrato de açaí em leito vascular de ratos. Diante disso, a incorporação de açaí em pó em formulações de pães tipo forma agregar valor nutricional e facilitar a transferência de componentes bioativos presente no açaí para este tipo de produto.

1.4 Processamento do pão a partir de massas congeladas

O pão desenvolvido a partir de massas congeladas tem sido aprimorado em função dos avanços tecnológicos e das formulações empregadas, no entanto, o processamento destes produtos

apresenta alguns problemas como o baixo volume, longos tempos de fermentação, textura e características sensoriais não padronizadas (MATUDA, 2004).

A atual produção de massas congeladas é realizada por meio de processos mecanizados, permitindo a obtenção de produtos padronizados e redução dos custos de produção, que são elevados, quando comparados a produção de pães convencional, devido à necessidade da manutenção da cadeia de frio ao longo de toda a vida útil do produto (CAUVAIN, 2009).

No processo convencional, a massa de pão pode ser obtida por diferentes métodos: o método direto, no qual os ingredientes são misturados em uma única etapa e a ordem de incorporação de cada ingrediente depende do equipamento e do produto. O segundo método consiste na esponja, no qual a mistura dos ingredientes se dá em duas etapas, na primeira é feita uma mistura do fermento, certa quantidade de farinha e água, após o descanso por determinado tempo, o restante dos ingredientes é incorporado a esta mistura (GIANNOU *et al*., 2003).

O processamento de pães a partir de massas congeladas pode ser feito tanto pelo método direto, como pelo indireto, sendo similar ao convencional até a etapa de congelamento.

1.4.1 Mistura

Durante a mistura a formação do glúten acontece em diferentes fases. Inicialmente, as moléculas de proteína são hidratadas e as suas fibrilas aderem umas às outras formando uma rede desorganizada de fios espessos. A ação mecânica torna os fios mais finos e orienta-os na direcção em que são submetidos à força, permitindo a interacção entre eles. Por fim, surge o pico de consistência, no qual as fibrilas da proteína têm o seu diâmetro reduzido e interagem mais bidimensionalmente do que em um único eixo. Nesta etapa, a massa pode ser alongada em forma de filme contínuo (SOUSA, 2012).

A capacidade da massa ser alongada numa película fina é um importante parâmetro no processo, pois indica o batimento ótimo, conhecido como ponto de véu. Se a mistura continuar após o pico de resistência, a massa torna-se mole, menos resistente à acção mecânica e perde a aptidão de reter CO_2 durante a fermentação. Uma boa massa é definida pela sua capacidade em reter o CO_2 e pela sua propriedade viscoelástica. Assim o volume da massa pode expandir adequadamente durante a fermentação (STAUFFER, 1998).

A temperatura da massa neste processo deve ser inferior ao método convencional de modo que permita a diminuição do metabolismo das leveduras, o que reduz a quantidade de gás carbônico produzido antes do processo de congelamento. Recomenda-se que a temperatura da massa na mistura esteja abaixo de 32 ºC, sendo necessária a utilização de água gelada, uma vez que esta etapa promove o aquecimento da massa devido ao esforço físico a que ela é submetida. A redução da temperatura pelo uso da água gelada permite que as células de levedura entrem em

“estado de dormência”, o que a torna mais resistente ao processo de congelamento (CAUVAIN, 2009).

A massa para congelamento apresenta maior rigidez, devido à redução da quantidade de água adicionada e da temperatura menor ao final do processo de mistura. (SALLAS-MELADO, 2003).

Melhores massas são obtidas pelo método direto com adição de sal no final da mistura, mantendo-se a temperatura em torno de 17-18°C durante o processo de amassamento até o completo desenvolvimento da massa (JACKEL, 1991).

O tempo de mistura, durante a homogeneização, exerce efeito sobre a massa, sendo que seu aumento provoca elevação na temperatura da massa e afeta a rede de glúten. Temperaturas mais baixas formam massa mais dura e bastão mais curto e o tempo de mistura comprime a rede de glúten (ROUILLÉ, LE BAIL e COURCOUX, 2000).

1.4.2 Divisão e moldagem

Para gerar o formato e o tamanho do produto, deve-se primeiro dividir a massa originada da misturadora em porções individuais e depois moldá-las para formar a base do produto final que se deseja obter. A massa é em geral dividida, sendo cortada em porções de um determinado tamanho. Entretanto, durante esta etapa pode ocorrer alguns danos à massa. A compressão da massa durante a divisão reduzirá o efeito de irregularidade de peso devido à variações nos volumes de gás na massa. Logo, para massas congeladas é ideal que estas etapas ocorram no menor tempo possível para não haver processo fermentativo. Depois da divisão, cada peça de massa é trabalhada de alguma maneira antes da primeira fermentação, a ação de boleamento ou pré-moldagem fornecerá à massa esforços e tensões que irão causar danos à estrutura da massa e proporcionar problemas estruturais. Na moldagem da massa para pão de forma, em peça única, o objetivo é obter uma peça de massa cilíndrica, com extremidades em forma de quadrado, e com comprimento e diâmetro iguais aos da superfície inferior da forma para assar (CAUVAIN, 2009).

Após a mistura, a massa é dividida em pedaços com peso definido e moldada para se obter o formato desejado. A divisão e a formação modificam a estrutura dos alvéolos de CO_2 e contribuem para o bom desenvolvimento da rede de glúten (GIANNOU *et al*., 2003).

1.4.3 Embalagem

As embalagens têm como função primária proteger o alimento contra agentes deteriorantes externos. Os materiais para a produção de embalagens são diversos, mas para serem adequadas para a produção de massas congeladas devem possuir algumas características: barreira ao oxigênio, possuir resistência física e mecânica e evitar perda de umidade durante o armazenamento

sob condições de congelamento. Deve fornecer uma barreira efectiva e funcional contra a contaminação, perda ou ganho de humidade pelo produto e apresentar resistência ao impacto e compressão. Os materiais geralmente utilizados para produtos congelados são plásticos (filmes, membranas, etc.) e alumínio (GIANNOU *et al*., 2003).

1.4.4 Congelamento

O congelamento é uma operação unitária na qual a temperatura de um determinado alimento é reduzida abaixo do seu ponto de ínicio de congelamento e uma proporção da água presente no produto sofre mudança de seu estado físico, ocorrendo formação de cristais de gelo. Tem por função reduzir as velocidades das reações químicas, enzimáticas e microbiológicas que ocasionam deteriorações nos produtos ao longo do período de armazenamento. Durante o processo de congelamento o calor é transferido para a superfície do alimento e removido por meio do ar frio (FELLOWS, 2006).

Os produtos congelados rapidamente possuem uma qualidade superior a aqueles que são congelados de modo mais lento, a principal diferença entre eles é o tamanho e forma dos cristais de gelo formados. Quando o produto é congelado lentamente ocorre a formação de grandes cristais de gelo e de formato pontiagudo, o que ocasiona danos no tecido celular, prejudicando a textura do produto. O congelamento rápido promove a formação de pequenos cristais de gelo e com bordas arredondadas, ocasionando pequenos danos celulares (PARDI *et al*., 1995).

De acordo com Cauvain (2009), os danos ficam mais evidentes no descongelamento, onde os produtos que sofreram congelamento lento tendem a perder uma quantidade excessiva de fluídos através de gotejamento, resultando em decréscimo da qualidade. O congelamento de massas cruas sem fermentação ou pães pré-assados visa atingir uma temperatura de –18 °C no interior do produto.

A curva característica do congelamento de pão francês segue a teoria da transferência de calor em corpos cilíndricos, que demonstra que a velocidade da frente de congelamento é menor na superfície e tende a zero no centro (HAVET *et al*., 2000). No caso de geometrias cilíndricas, a resistência térmica aumenta enquanto as camadas de gelo são formadas; o volume a ser congelado é cada vez menor, conforme a frente de congelamento aumenta quando se afasta da superfície (LE BAIL *et al*., 2000). No congelamento de pães, não há a formação de camadas de gelo, ou seja, o diâmetro do produto mantém-se constante.

O tempo necessário para o congelamento está relacionado com a temperatura desejada no centro do produto, ou seja, com o tipo e condição do material e com as condições do meio no qual está inserido. A temperatura de congelação usualmente empregada está entre -30 e -40 ºC, e a

temperatura do centro geométrico do pão a ser atingida está entre os -6 e -20 ºC (BÁRCENAS e ROSELL, 2006).

1.4.5 Armazenamento em temperaturas de congelamento

A relação entre tempo de armazenamento sob condições de congelamento e a perda da qualidade do produto final é diretamente proporcional. O decréscimo da qualidade depende de fatores como o tamanho da peça de massa, quantidade de fermento empregada nas formulações e a temperatura. O volume dos produtos é uma das características físicas mais afetadas, longos períodos de armazenamento fornecem produtos com baixo volume específico, devido à perda da capacidade de extensão da massa e o aumento do tempo de fermentação. O congelamento de massas alimentícias a -20 ºC é ideal, pois está abaixo da temperatura de transição vítrea do produto, entretanto, para que evite à desidratação a massa deverá ser acondicionada em embalagens que evitem a migração da umidade da massa para o ambiente (CAUVAIN, 2009).

Sharadanant e Khan (2003) verificaram que a utilização de gomas melhorou a qualidade das massas através da ligação com a água, o que provocou uma redução sua cristalização.

Com relação ao fermento, grandes quantidades de células irão ser inativadas no congelamento inicial e outras durante o período de armazenamento congelado. Estudos demonstram que em poucos dias praticamente não há a existência de células viáveis na massa, sendo assim, ela terá sua capacidade de expansão reduzida nos primeiros estágios do forneamento, pois não haverá CO_2 além do que já foi produzido durante a fermentação antes do produto ser congelado. A atividade enzimática na massa também está ativa durante o armazenamento, dependendo da temperatura empregada. A enzima a ser observada é a alfa-amilase, a qual decompõe o amido danificado, levando a formação de dextrinas e carboidratos solúveis, estes por sua vez, podem sofrer caramelização durante o forneamento, fornecendo ao produto coloração mais escura. A ação enzimática de proteases podem ocasionar o enfraquecimento da estrutura da massa, o que pode levar à perda da retenção de gás. Certamente essas atividades enzimáticas trarão prejuízos à qualidade do produto final, por isso, as temperaturas de armazenamento congelado devem ser mantidas as mais baixas possíveis (CAUVAIN, 2009).

1.4.6 Descongelamento

Na tecnologia de produção de pães congelados, além da estocagem congelada, o descongelamento e o processo fermentativo, caso haja necessidade, é feito no estabelecimento de venda. A massa tem como características ser fraca condutora de calor, por este motivo, os comportamento de mudança de temperatura que ocorre durante o descongelamento é semelhante ao

congelamento. Esta etapa é necessária para que haja a reidratação do fermento e do glúten, melhorando o desempenho da massa nas etapas posteriores do processamento. É necessário que as condições de tempo e temperatura sejam definidas de modo a evitar a condensação de água na superfície da massa e garantir temperatura homogênea na etapa de forneamento, ou seja, garantir que tanto a superfície e o centro da massa estejam descongelados, o que evita o miolo cru e a casca tostada. Durante o período de descongelamento é importante que o produto passe pela zona de envelhecimento (faixa de temperatura de compreende entre –5 e 10 ºC) no menor tempo possível para minimizar os danos. A utilização de ar quente (40 °C) no auxílio ao descongelamento favorece a qualidade final do produto. Fatores como o tamanho da peça, temperatura de descongelamento e tempo de duração definem esta etapa. Quanto maior o tamanho da peça, em um tempo maior se dará o descongelamento, pois o produto é considerado descongelado quando o seu centro geométrico ultrapassa o 0 ºC. (CAUVAIN, 2009).

Atualmente, utilizam-se três métodos para descongelamento de massas:

1- Colocar as massas em moldes durante 12 horas em um retardador a 5 ºC, em seguida, promover a fermentação do pão em condições normais.

2- Colocar as massas em moldes à temperatura ambiente e realizar a fermentação após o total descongelamento do produto.

3- Colocar as massas em moldes e seguir diretamente para a câmara de fermentação em condições de (25-28 ºC com 70% de umidade relativa).

1.4.7 Fermentação

A fermentação é uma etapa importante para melhorar o sabor dos alimentos e para aumentar as propriedades funcionais, pois durante a fermentação ocorre à redução dos fatores antinutricionais, hidrólise das proteínas e formação de peptídeo bioativos, que apresentam propriedades antioxidantes, anticarcinogênica e anti-hipertensiva (WANG *et al*., 2007).

A maioria dos produtos de panificação são fabricados usando leveduras como agentes de fermentação. As leveduras utilizadas são cepas de *Saccharomyces cerevisiae* que, quando incorporadas à massa, transformam o amido em açúcares simples pela ação enzimática, os açúcares alimentam o fermento que produz etanol e gás carbônico (CAUVAIN, 2009). Os produtos fermentados congelados mais conhecidos são aqueles que possuem fermento e provenientes de massas folhadas, como *croissants* e folhados doces.

O tempo de fermentação de massas cruas congeladas é superior ao das massas frescas devido à perda da capacidade de retenção de gás, menor atividade do fermento que ainda possui viabilidade e menor temperatura da massa após o descongelamento (RIBOTTA *et al.*, 2003a). Giannou *et al.* (2003) também afirmam que o tempo de crescimento da massa é necessário para a atuação do fermento, sendo que para massas congeladas o tempo de fermentação deve ser maior do que as massas convencionais devido à perda do poder de retenção gasosa e a morte das leveduras.

Durante a fermentação as células de levedura dveem ser hábeis para permitir uma distribuição dos gases a massas, se elas não podem se mover, o pão terá formato irregular (LAI e LIN, 2006).

1.4.8 Forneamento

A etapa de forneamento de massas descongeladas e que passaram pelo processo fermentativo é semelhante às massas convencionais. Há mudanças físico-químicas e bioquímicas como a expansão do volume, evaporação da água, formação de poros, desnaturação protéica, gelatinização do amido, formação da casca, entre outros. (GIANNOU *et al.*, 2003).

Quando a temperatura do centro geométrico do produto atinge valores entre 50 e 60ºc ocorre à destruição das leveduras, cessando assim a produção de gás carbônico. A coagulação protéica (glúten) e a gelatinização do amido indicam o final da plasticidade da massa, que se transforma em pão, o qual atinge o volume final. Posteriormente ocorre a formação da casca, causado pelo ressecamento da superfície, formação da cor através das reações de Maillard e caramelização dos açúcares. A qualidade da aparência e a textura final do pão dependem das bolhas formadas na massa, as quais não são criadas durante os processos de descanso e cozimento. Assim, controlando a distribuição do tamanho das bolhas antes da fase de descanso, é possível controlar a textura final do miolo do pão (MARTIN, 2004).

1.4.9 Resfriamento

Os pães, ao saírem do forno estão excessivamente quentes e devem ser resfriados aproximadamente à temperatura ambiente, antes de serem submetidos ao fatiado, como no caso de pães tipo forma, para sua posterior embalagem. O corte do pão quente pode causar a deformação, uma vez que o pão é embalado quente, pode resultar na condensação da umidade presente com subsequente cresscimento de fungos e outras deteriorações (VIDAL, 2001).

De acordo com Cauvain (2009), o resfriamento começa antes do término do assamento, logo que o pão atinge a saída do forno, a temperatura do ar cairá abaixo da temperatura da casca, entretanto, a zona de evaporação ainda está em ação, e de modo temporário, o centro do pão não é alterado pelo ambiente externo modificado.

Para Vidal (2001) existem várias maneiras de se fazer o resfriamento do pão, sendo o mais simples o que utiliza a temperatura ambiente. Um sistema econômico e higiênico compete o uso de esteiras que se movem lentamente e entram em contato com um circulador de ar, variando o ciclo de resfriamento de 50 a 90 minutos.

CAPÍTULO II – DESENVOLVIMENTO DE PÃES TIPO FORMA ADICIONADOS DE POLIDEXTROSE E TOMATE EM PÓ

1.0 INTRODUÇÃO

As farinhas mistas surgem como uma opção no desenvolvimento de novos produtos em panificação. Entretanto, são inferiores tecnologicamente, enfraquecendo a rede de glúten formada, necessitando que um complemento ou aditivo seja agregado à formulação para melhorar sua qualidade panificável (ALMEIDA, 2011).

O tomate em pó tem apresentado benefícios à saúde, conforme explicam Alshatwi et al. (2010), onde o licopeno, principal composto bioativo presente no tomate em pó pode exercer funções benéficas contra o estresse oxidativo das células, diminuindo o risco de doenças crônicas, como cânceres e doenças cardiovasculares. Para Heber e Lu (2002), os benefícios do tomate são atribuídos à capacidade que o licopeno possui de proteger as células contra danos oxidativos. Afirmam que o licopeno tem sua biodisponibilidade elevada com o processamento, como em molhos e tomate em pó e que seu consumo em dietas com baixo valor energéticos pode auxiliar na prevenção ao dano oxidativo das células.

Upaganlawar e Balaraman (2012) verificaram que o licopeno proveniente do tomate diminui a probabilidade de ocorrência de infarto no miocárdio em ratos induzidos com isoproterenol.

Lee *et al.* (2013) desenvolveram vinagre à base de tomate e avaliaram os efeitos anti-obesidade em ratos suplementados com dietas ricas em gordura. Os autores verificaram que o vinagre de tomate diminuiu os pesos da gordura visceral, sem que a ingestão de calorias e gorduras fossem alteradas, também houve redução significativa nos níveis de triglicerídeos e colesterol hepáticos, desta forma, o vinagre de tomate suprimiu o acumulo de lipídios nos adipócitos em ratos obesos.

O uso do tomate em pó em formulações de pães tipo forma proporciona o desenvolvimento de produtos com melhor valor nutricional, tornando o licopeno mais biodisponível para ser utilizado pelo organismo humano, podendo ter ação preventina contra determinadas doenças crônicas.

A polidextrose é considerada uma fibra que não só aumenta a consistência dos alimentos, mas ajuda na prevenção da constipação. Possui propriedades tecnológicas semelhantes à sacarose, com exeção da doçura (AFOAKWA *et al*., 2007), por isso, é interessante a sua aplicação em produtos de panificação, uma vez pode facilitar a digestão do produto e proporcionar benefícios à flora intestinal.

2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

O protocolo experimental utilizado para o estudo do desenvolvimento dos pães processados com a polidextrose e o tomate em pó encontra-se descrito abaixo.

2.1 Ingredientes

Para a produção dos pães foram necessários os seguintes ingredientes:

Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, FINNA®; Açúcar refinado especial ESTRELA®; Fermento Biológico (Saccaromyces Cerevisae) seco instantâneo para massa salgada, Dr. Oetecker®; Gordura Vegetal Hidrogenada PURO SABOR®; Sal refinado CISNE®; Tomate em pó da SUN FOODS® Indústria de Produtos alimentícios Ltda.; Polidextrose (Litesse®) fornecido pela DANISCO®.

2.2 Equipamentos e utensílios

- Balança analítica marca OHAUS, modelo Adventurer, capacidade de 210 g.
- Balança eletrônica de cozinha, marca Highone, modelo HO-EL1, capacidade de 5 kg.
- Bandejas de alumínio, de dimensões 30x30 cm.
- Câmara de fermentação.
- Cilíndro de plástico para laminação da massa.
- Embalagens plásticas 100% polietileno.
- Faca para pão 7” de aço inoxidável tramontina.
- Formas de ferro.
- Forno elétrico Continental, modelo Avance turbo.
- Misturadora automática LIEME BP-06, com capacidade para 6 kg.
- Placas de petri.
- Régula milimetrada.

2.3 Métodos

Definiu-se como referência para o estudo, formulação padrão de pão tipo forma adotada por Gragnani (2010) com modificações, conforme é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Formulação padrão para a produção de pães tipo forma.

Ingredientes (%)*	Formulação Padrão
Farinha de Trigo	100%
Água	55-60%
Gordura Vegetal Hidrogenada	10%
Açúcar	5%
Fermento Biológico Seco	3,3%
Sal	2%

*O percentual dos ingredientes foi baseado na quantidade total de farinha de trigo utilizada.

**A quantidade de água acrescentada às formulações variou em função da absorção de água das farinhas.

2.3.1 Delineamento Experimental

Para o desenvolvimento das formulações de pães tipo forma incorporadas com polidextrose e tomate em pó foi utilizado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) que, de acordo com Rodrigues e Iemma (2005), o uso do delineamento faz-se necessário, devido a ao grande número de variáveis independentes presentes no desenvolvimento de produtos e processos.

Foi aplicado um planejamento fatorial 2^2 completo, totalizando 11 ensaios, sendo quatro fatoriais (combinação dos níveis -1 e +1), quatro axiais (-α e +α) e três repetições no ponto central (0) para estimativa do erro padrão.

Na tabela 2 são apresentados as faixas de valores codificados e reais utilizados para os ensaios e na tabela 3 é apresentada a matriz do planejamento.

O valor de α, que são os pontos axiais do planejamento, foram calculados em função do número de variáveis independentes (n=2) através da equação 1.

$$\propto = (2^n)^{1/4} = 1{,}41 \qquad (1)$$

Tabela 2 – Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2^2.

Variáveis Independentes	Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
	-α = -1,41	**-1**	**0**	**+1**	**+α = +1,41**
Polidextrose (g)	0	15	30	45	60
Tomate em pó (g)	0	15	30	45	60
%*	0%	5%	10%	15%	20%

*Em relação a farinha de trigo (base 100)

Tabela 3 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais.

Ensaios	Polidextrose	Tomate em pó	Polidextrose (g)	Tomate em pó (g)
1	-1	-1	15	15
2	+1	-1	45	15
3	-1	+1	15	45
4	+1	+1	45	45
5	-1,41	0	0	30
6	+1,41	0	60	30
7	0	-1,41	30	0
8	0	+1,41	30	60
9	0	0	30	30
10	0	0	30	30
11	0	0	30	30

As faixas de variação entre o limite inferior e superior de cada variável independente foram estabelecidos de acordo com os dados obtidos por Viana *et al*. (2013) para a polidextrose e testes preliminares realizados para o tomate em pó.

2.4 Processo de obtenção dos pães tipo forma com polidextrose e tomate em pó

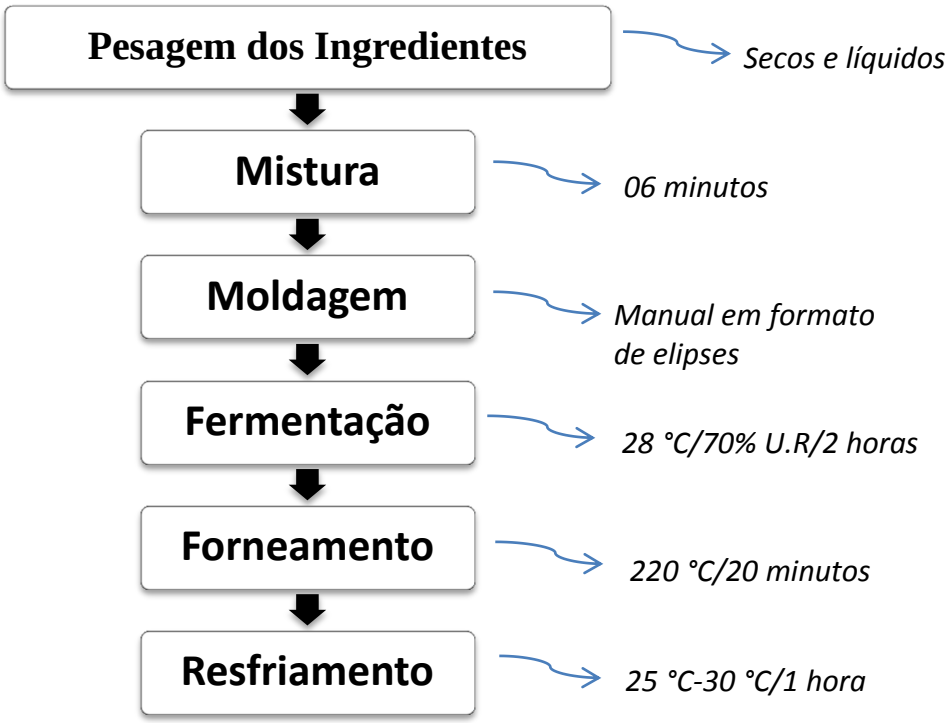
O processamento dos pães tipo forma ocorreu nos Laboratórios de Tecnologia de Cereais do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DETAL) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Os ingredientes foram pesados em balança semi-analítica OHAUS AR2140 separadamente. Para a produção dos pães tipo forma, aplicou-se o método direto, onde todos os ingredientes são colocados simlutaneamente no início da etapa de mistura, com exceção do sal e água. Eles foram misturados em misturadora de escala semi-industrial LIEME-BP 06 durante 1 minuto em baixa velocidade para a homogeneização dos ingredientes, em seguida foi adicionada a água e misturada por 3 minutos em velocidade média, por último foi adicionado o sal e a massa foi misturada em alta velocidade por 6 minutos até o completo desenvolvimento da massa.

As massas foram divididas em porções de aproximadamente 250 g e moldadas na forma de elipses manualmente. Foram colocadas em formas de folha galvanizada de ferro de chapa única para pão de forma sem tampa com dimensões de fundo de 13,5 cm x 6,0 cm e dimensão da parte superior de 15,0 cm x 7,5 cm x 4,5 cm. As formas com as massas foram colocadas em câmara de fermentação regulada a uma temperatura de 28 ºC±2 ºC e 80% de umidade relativa (U.R), durante duas horas. Ao final da fermentação, os pães foram assados sem vapor durante 20 minutos a temperatura de 220 ºC em forno elétrico de lastro Continental Advance Turbo®.

Os pães foram resfriados durante uma hora em temperatura ambiente. A descrição do fluxograma de processo encontra-se na figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processamento dos pães tipo forma.



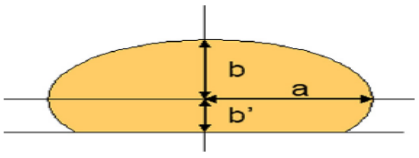
2.5 Avaliação Física das massas e dos pães tipo forma

2.5.1 Avaliação do processo de fermentação

A expansão das massas durante o processo de fermentação foi avaliada através do procedimento experimental de Perfil Livre de Expansão adotado por Gabric *et al*. (2011), com modificações, onde as massas foram consideradas como elipses truncadas, conforme ilustra a figura 2, foram medidas, a cada 10 minutos, as dimensões de altura e comprimento das massas com o auxílio de régua milimetrada simples. Para a avaliação do Perfil Livre de Expansão, as massas foram colocadas em formas de alumínio com dimensões de 30 cm x 30 cm para permitir a sua livre expansão sem restrições dimensionais.

Para o critério de escolha das formulações com base nos gráficos de superfície de resposta e curvas de contorno foi utilizado apenas o fator de expansão máximo (VEF_m) das massas, as curvas de expansão das massas são apresentadas no ANEXO I deste trabalho.

Figura 2 - Parâmetros de elipse truncada. (Fonte: Gabric *et al*., 2011)



O volume das massas para cada tempo de medição foi calculado com base na fórmula da elipse e sua rotação em torno do eixo y, conforme demonstra a equação 2.

$$V\ (cm^3) = \pi a^2 \left(\frac{2b}{3} + b' - \frac{b'^3}{3b^2}\right) \quad (2)$$

Onde:

a = largura da elipse (cm); b = altura da elipse – do centro a elipse superior (cm); b' = altura da elipse – do centro para a parte inferior (cm)

O fator de expansão do volume (cm³) – VEF, foi calculado através da equação 3.

$$VEF = \frac{V - V_o}{V_o} \quad (3)$$

Onde:

V = Volume da massa ao longo do tempo de fermentação (cm³); V_o = Volume incial da massa (cm³).

2.5.2 Volume Específico

As massas dos pães foram determinadas em triplicata, com o auxílio de balança semi-analítica e expressa em gramas. O volume deslocado dos pães foi medido através de preenchimento de recipiente plástico e transparente com semente de painço. Parte das sementes foi substituída pela amostra de pão de forma e o volume completado até a borda, onde o nivelamento foi realizado com auxílio de régua plástica. As sementes remanescentes, correspondente ao volume deslocado pela amostra, foram colocadas em proveta graduada de 1000 mL, expressando o resultado mL.

O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g), segundo método 72-10 da AACC (1995), como mostra a equação 4:

$$\text{Volume Específico} = \frac{\text{Volume deslocado (mL)}}{\text{Peso da amostra assada (g)}} \quad (4)$$

2.5.3 Densidade

A densidade foi calculada, em triplicata, através da relação inversa entre o volume deslocado e o peso da amostra assada, conforme a equação 5.

$$\text{Densidade (g/mL)} = \frac{\text{Peso da amostra assada (g)}}{\text{Volume Deslocado (mL)}} \quad (5)$$

2.5.4 Índice de Expansão

Para o cálculo do índice de expansão foi adaptada a medotologia utilizada por Silva *et al*. (2003) para pão de queijo. As massas foram moldadas na forma esférica para permitir as medições do diâmetro e da altura, com auxílio de régua milimetrada simples. A análise foi realizada em triplicata. O Índice de Expansão (IE) dos pães foi calculado através da equação 6:

$$\text{Índice de Expansão } (IE) = \frac{\frac{(D_p + H_p)}{2}}{\frac{(D_m + H_m)}{2}} \quad (6)$$

Onde:

D_p e H_p = Diâmetro e altura dos pães após o forneamento (cm); D_m e H_m = Diâmetro e altura das massas moldadas (cm).

2.6 Análise Estatística do delineamento composto central rotacional (DCCR)

A avaliação dos resultados dos parâmetros físicos de fator de expansão das massas, volume específico, densidade e índice de expansão dos pães no desenvolvimento das formulações através do delineamento composto central rotacional foi realizada por superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno, análise de variância (ANOVA), teste de médias ao nível de 5% de significância e análise de regressão.

Para avaliar os efeitos das variáveis nos parâmetros físicos dos pães foi utilizado o modelo de regressão de segunda ordem dado pela equação 7:

$$Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X^2 + \beta_{22} X^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (7)$$

Onde:

Y = Variável dependente; X_1 = Polidextrose; X_2 = Vegetal em pó; β_o = Constante do intercepto; 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 resultados das variáveis dependentes, respostas de cada um dos 11 ensaios, foram tratados por análise de regressão múltipla para a obtenção de modelos matemático, para a validação

dos modelos foi utilizada a análise de variância (ANOVA). Nos modelos foi observada a significância da regressão pelo teste F, falta de ajuste não significativa e pelo coeficiente de determinação (R^2).

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação Física dos pães tipo forma adicionados de Polidextrose e Tomate em pó

A tabela 4 apresenta os resultados médios e da análise de tukey dos parâmetros físicos para os ensaios realizados e o teste de comparação de médias.

Tabela 4 – Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma.

[1]Ensaios	Polidextrose		Tomate em Pó		Volume Específico (mL/g)	Densidade (g/mL)	Índice de Expansão	VEF máximo (cm^3)
	COD	RE	COD	RE				
1	-1	15	-1	15	$2,51^{d}\pm0,08$	$0,33^{e}\pm0,02$	$1,36^{f}\pm0,04$	$1,75^{h}\pm0,03$
2	+1	45	-1	15	$2,63^{d}\pm0,04$	$0,32^{e}\pm0,04$	$1,33^{f}\pm0,04$	$1,22^{c}\pm0,05$
3	-1	15	+1	45	$2,25^{a}\pm0,04$	$0,44^{cd}\pm0,02$	$1,16^{ab}\pm0,03$	$1,05^{d}\pm0,02$
4	+1	45	+1	45	$1,94^{b}\pm0,03$	$0,51^{bc}\pm0,02$	$1,08^{bcd}\pm0,01$	$0,90^{e}\pm0,05$
5	-1,41	0	0	30	$2,07^{b}\pm0,03$	$0,47^{cd}\pm0,01$	$1,12^{bc}\pm0,01$	$1,41^{d}\pm0,01$
6	+1,41	60	0	30	$1,76^{c}\pm0,03$	$0,60^{b}\pm0,03$	$1,04^{cd}\pm0,02$	$0,47^{f}\pm0,03$
7	0	30	-1,41	0	$2,58^{d}\pm0,04$	$0,33^{e}\pm0,02$	$1,27^{ef}\pm0,01$	$1,54^{a}\pm0,07$
8	0	30	+1,41	60	$1,64^{c}\pm0,03$	$0,71^{a}\pm0,02$	$1,00^{d}\pm0,02$	$0,24^{g}\pm0,05$
9	0	30	0	30	$2,59^{d}\pm0,04$	$0,36^{e}\pm0,02$	$1,28^{ef}\pm0,02$	$1,66^{i}\pm0,03$
10	0	30	0	30	$2,67^{d}\pm0,06$	$0,32^{e}\pm0,02$	$1,32^{f}\pm0,02$	$1,68^{i}\pm0,03$
11	0	30	0	30	$2,56^{d}\pm0,12$	$0,34^{e}\pm0,05$	$1,22^{ae}\pm0,04$	$1,66^{i}\pm0,01$

COD: Valores codificados; RE: Valores Reais (g); [1]Letras distintas em uma mesma coluna apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

O maior Volume Específico foi obtido pelo ensaio 10 (2,67 mL/g) seguido do ensaio 2 (2,63 mL/g) e 7, com 2,58 mL/g, não havendo diferenças estatistica entre eles. Os pontos centrais, correspondentes aos ensaios 9, 10 e 11 não apresentaram diferenças significativas, o menor volume foi observado para o ensaio 8, com 1,64 mL/g, com adição de 10% de polidextrose e 20% de tomate em pó, tendo também o maior valor de densidade, com 0,71 g/mL. Os ensaios 1, 2, 7 e os pontos centrais apresentaram valores de densidades variando de 0,32 g/mL a 0,36 g/mL, obtendo os melhores resultados para este parâmetro e não apresentando diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Silva *et al*. (2010a) verificaram redução do volume específico de pães de forma quanto maior foi a adição de frutooligossacarídeos, comportamento semelhante ao encontrado neste estudo para a adição da polidextrose e tomate em pó.

O Índice de Expansão dos pães adicionados de polidextrose e tomate em pó variaram entre 1,00 (ensaio 8) a 1,36 (ensaio 1). Não houve diferenças significativas entre os ensaios 1, 2 e 10, para os demais, houve diferenças, mostrando que o índice de expansão foi sensível à modificação das quantidades dos ingredientes funcionais.

Para o fator de expansão, os valores obtidos variaram de 0,24 cm^3 (ensaio 8 – adicionado de 10% de polidextrose e 20% de tomate em pó) a 1,75 cm^3 (ensaio 1 – com 5% de polidextrose e tomate em pó). Não houve diferenças significativas para os ensaios correspondentes aos pontos centrais, onde o VEF máximo variou de 1,66 cm^3 a 1,68 cm^3. Os ensaios 3 e 5 também não apresentaram diferenças entre si.

Borges *et al*. (2012) comentam que a utilização de farinhas alternativas, não formadoras de glúten, diminui a qualidade dos pães, comprometendo seu volume e densidade, bem como prejudicando as capacidades de expansão das massas.

Este fenômeno foi observado neste estudo, o modelo de regressão e os resultados das médias dos parâmetros físicos avaliados evidenciam que à medida em que a quantidade dos ingredientes funcionais incorporadas nas massas foi elevada, o fator de expansão, volume específico e índice de expansão dos pães tiveram decréscimos em seus valores, enquanto que houve um aumento na densidade, características indesejáveis para o consumidor.

Noort *et al*. (2010) atribui este comportamento principalmente a fração insolúvel das fibras, o que interfere mecanicamente na rede do glúten, além de ocasionar a ruptura das células de gás carbônico, dificultando o seu aprisionamento na matriz protéica do glúten e diminuindo a expansão da massa ao longo da fermentação e durante o forneamento.

Este fato pôde ser observado através do fator de expansão máximo obtido pelas massas durante o processo de fermentação, onde ela tende a expandir-se verticalmente até determinado ponto onde ocorre a abertura da sua porosidade, momento em que a matriz protéica não suporta a pressão gasosa produzida durante o processo e se rompe, conforme explica Meziani *et al*. (2012b), quando isto ocorre, há uma tendência para expansão horizontal, reduzindo o fator de expansão. O ensaio 1 apresentou o maior fator de expansão máximo, com 1,75 cm^3 seguido dos ensaios do referentes aos pontos centrais, que obtiveram, em média, 1,66 cm^3.

3.1.1 Efeito da polidextrose e tomate em pó no volume específico

A tabela 5 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e p para o parâmetro volume específico, notando-se a influência significativa ($p \leq 0,05$) da polidextrose e do tomate em pó tanto no modelo linear quanto no quadrático e na interação entre as variáveis.

Tabela 5 – Coeficientes de regressão para a resposta volume específico.

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	1,604094	0,088063	18,2154	0,000000
P(L)*	0,056451	0,003319	17,0074	0,000000
P(Q)*	-0,000779	0,000036	-21,3742	0,000000
T(L)*	0,031711	0,003319	9,5536	0,000000
T(Q)*	-0,000554	0,000036	-15,2222	0,000000
P x T*	-0,000474	0,000080	-5,9252	0,000004

P = polidextrose; T = tomate em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$)

Os parâmetros quadráticos significativos e a interação das variáveis independentes apresentaram efeitos negativos para o volume específico, indicando que qualquer aumento no valor deste fatore implica na diminuição desta características físicas. Indicam a existência de uma região máxima, com a superfície de resposta formando uma parábola negativa, com a curvatura voltada para baixo. Isto explica que existe um limite destes fatores para se atingir um ponto máximo, para a otimização do volume específico.

Tabela 6 – ANOVA para a resposta volume específico.

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	4,993	5	1,251	1284,012
Resíduos	0,104	27	0,000	
Falta de Ajuste	0,011	3	0,003	1,985
Erro Puro	0,093	24	0,003	
Total	5,097	32		

% variação explicada (R^2) = 0,97621; $F_{tab\ (5;27;0,05)} = 2,57$

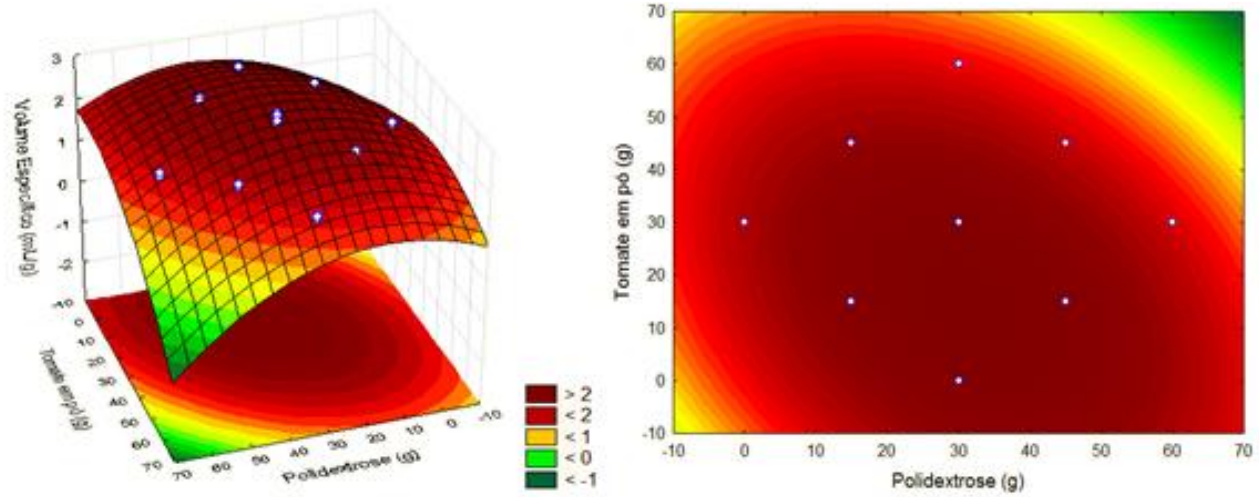
Os efeitos estimados dos coeficientes de regressão dos fatores lineares e quadráticos, tiveram a sua significância avaliada aplicandoo o tesde t, considerando o modelo matemático para representar o volume específico dos produtos em função das variáveis independentes, polidextrose (P) e tomate em pó (T). Para a validação do modelo foi aplicado a análise de variância (tabela 6). A falta de ajuste não foi significativa e o $F_{calc} > F_{tab,}$ validando o modelo (equação 8)

Pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas que descrevem o comportamento do volume específico em função da polidextrose e do tomate em pó. O modelo foi representado por um polinômio de segunda ordem, o coeficiente de determinação encontrado, R^2 = 0,97621, foi significativo e o modelo é valido, indicando que ele explica 97,62% dos dados observados:

$$\text{Volume Específico} = 2{,}03 + 0{,}05(\boldsymbol{P}) - 7{,}8x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 + 0{,}03\,(\boldsymbol{T}) - 5{,}5x10^{-4}(\boldsymbol{T})^2 - 4{,}7x10^{-4}(\boldsymbol{PT}) \quad (8)$$

P: Polidextrose; T: Tomate em pó.

Figura 3 – Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e tomate em pó sobre o volume específico.



Pelas superfícies de resposta e curvas de contorno apresentadas na figura 3 observa-se que há uma diminuição no volume específico à medida em que as quantidades de polidextrose e tomate em pó são elevadas, para valores superiores a 45 g dentro da faixa estudada.

Os maiores valores de volume específico ocorreram nas condições em que a adição de tomate em pó e polidextrose compreendeu entre 15 g e 30 g, que englobou os ensaios 1, 2, 7 e os pontos centrais.

A adição dos ingredientes funcionais polidextrose e tomate em pó em proporções superior a 45 g e quando o somatório das quantidades dos ingredientes foi superior a 60 g, promoveram redução do volume específico dos pães, comportamento não desejável em produtos de panificação.

Oliveira *et al*. (2007) utilizaram farinha de linhaça no processamento de pães de sal, onde adicionaram até a quantidade de 15% com relação ao peso total da farinha de trigo, houve redução significativa nos volumes específicos dos pães a partir de 10% de incorporação da farinha de linhaça, quando esta foi desengordurada, a partir de 5% de incorporação promoveu redução

significativa ao volume específico, quando comparada à formulação processada apenas com farinha de trigo.

Em estudo desenvolvido pro Ziglio *et al*. (2007) a adição de farinha de sabugo de milho entre 10% e 15% promoveu reduções significativas no volume específico dos produtos. Valores semelhantes encontrados no estudo com a polidextrose e tomate em pó.

3.1.2 Efeito da polidextrose e tomate em pó na densidade

A tabela 7 apresenta os coeficientes de regressão, erro puro,valores de t e p para a resposta densidade dos pães de forma adicionados de tomate em pó e polidextrose.

Tabela 7 – Coeficientes de regressão para a resposta densidade.

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	0,634269	0,049144	12,90632	0,000000
P(L)*	-0,016265	0,001852	-8,78094	0,000000
P(Q)*	0,000223	0,000020	10,98324	0,000000
T(L)*	-0,011450	0,001852	-6,18160	0,000002
T(Q)*	0,000214	0,000020	10,52771	0,000000
P x T*	0,000144	0,000045	3,23506	0,003528

P = polidextrose; T = tomate em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.

*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Analisando os coeficientes de regressão, observa-se que os diferentes ingredientes funcionais afetaram a densidade dos pães tipo forma dentro da faixa estudada, foram significativos os modelos lineares, quadráticos de ambas as variáveis e de interação entre elas.

Tabela 8 – ANOVA para a resposta densidade.

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	0,575	5	0,118	480,371
Resíduos	0,047	27	0,005	
Falta de Ajuste	0,018	3	0,006	2,133
Erro Puro	0,029	24	0,001	
Total	0,641	32		

% variável explicada (R^2) = 0,91224; $F_{tab\ (5;\ 27;\ 0,05)} = 2,57$

O modelo para esta resposta pôde ser obtido, uma vez que sua ANOVA (tabela 8) apresentou uma variação explicada de 91,22% e no teste F, o valor calculado foi 187 vezes maior do que o tabelado e a falta de ajuste não foi significativa, o coeficiente de determinação foi de 0,9224. A equação 9 apresenta o modelo matemático.

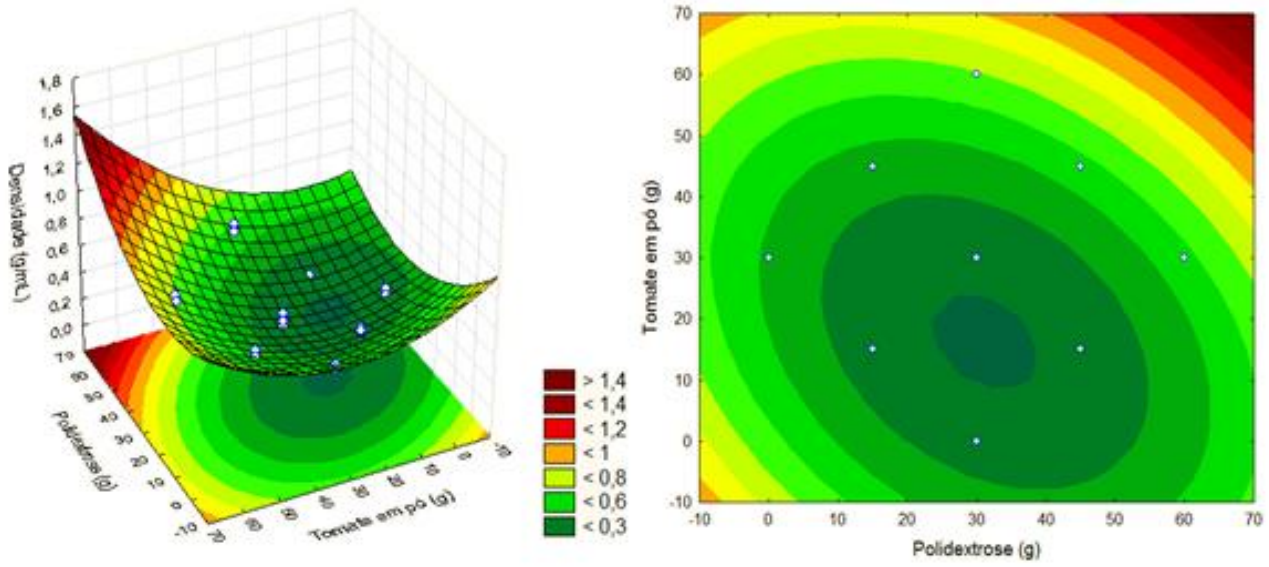
$$Densidade = 0{,}6 - 0{,}01(\boldsymbol{P}) + 2{,}2x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 - 0{,}01(\boldsymbol{T}) + 2{,}1x10^{-4}(\boldsymbol{T})^2 + 1{,}4x10^{-4}(\boldsymbol{PT}) \quad (9)$$

P: Polidextrose; T: Tomate em pó.

Ribotta *et al*. (2008) estudaram a otimização da combinação de aditivos para melhorar a qualidade do pão com uma mistura de farinha trigo e soja na proporção de 90:10 e mostraram que a incorporação de farinha de soja aumentara o conteúdo de proteína na mistura. No entanto, a incorporação de níveis elevados de proteína de soja diminuiu o volume do pão, elevando a densidade.

A figura 4 apresenta o gráfico de superfície de resposta para a densidade dos pães tipo forma adicionados de polidextrose e tomate em pó.

Figura 4 – Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do tomate em pó sobre a densidade.



Ao analisar a superfície de resposta e a curva de contorno, percebe-se que quatro ensaios estão na região onde a densidade é menor que 0,60 g/mL, que correspondem aos ensaios 1, 2, 7 e os pontos centrais. A faixa ótima não foi alcançada por nenhum ensaio, com densidade inferior a 0,30 g/mL, dentro da faixa estudada. Quantidades superiores a 35 g de tomate em pó proporcionou valores elevados de densidade, para a polidextrose valores variando entre 15 g e 50 g obtiveram valores satisfatórios de densidade. A faixa ótima ficou entre 10 g e 20 g de tomate em pó e 25 a 35 g de polidextrose.

Viana *et al*. (2013) em seu estudo avaliando a inclusão da polidextrose em formulações de pães tipo forma obteve valores de densidade variando de 0,73 g/mL a 0,8 g/mL para adição de

5% e 15% respectivamente, valores superiores aos encontrados no uso conjunto da polidextrose com o tomate em pó.

3.1.3 Efeito da polidextrose e tomate em pó no Índice de Expansão (IE)

A tabela 9 apresenta os coeficientes de regressão, erro puro, valores t e p para o índice de expansão dos pães tipo forma.

Tabela 9 – Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE)

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	0,977953	0,051187	19,1056	0,000000
P(L)*	0,017080	0,001929	8,8528	0,000000
P(Q)*	-0,000219	0,000021	-10,3262	0,000000
T(L)*	0,009228	0,001929	4,7831	0,000072
T(Q)*	-0,000156	0,000021	-7,3522	0,000000
P x T*	-0,000163	0,000047	-3,5042	0,001824

P = polidextrose; T = tomate em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.

*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Os coeficientes de regressão apresentados na tabela 9, conjuntamente com os valores de t e p, demonstram a influência positiva dos fatores lineares da polidextrose e do tomate em pó, além da influência do fator quadrático, produzindo efeito negativo, para as variáveis independentes e da interação entre elas sobre o índice de expansão dos pães tipo forma.

Tabela 10 – ANOVA para a resposta índice de expansão (IE).

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	0,436	5	0,145	332,37
Resíduos	0,039	27	0,001	
Falta de Ajuste	0,008	3	0,002	2,07
Erro Puro	0,031	24	0,001	
Total	0,475	32		

% variável explicada (R^2) = 0,90591; $F_{tab\ (5;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,57.

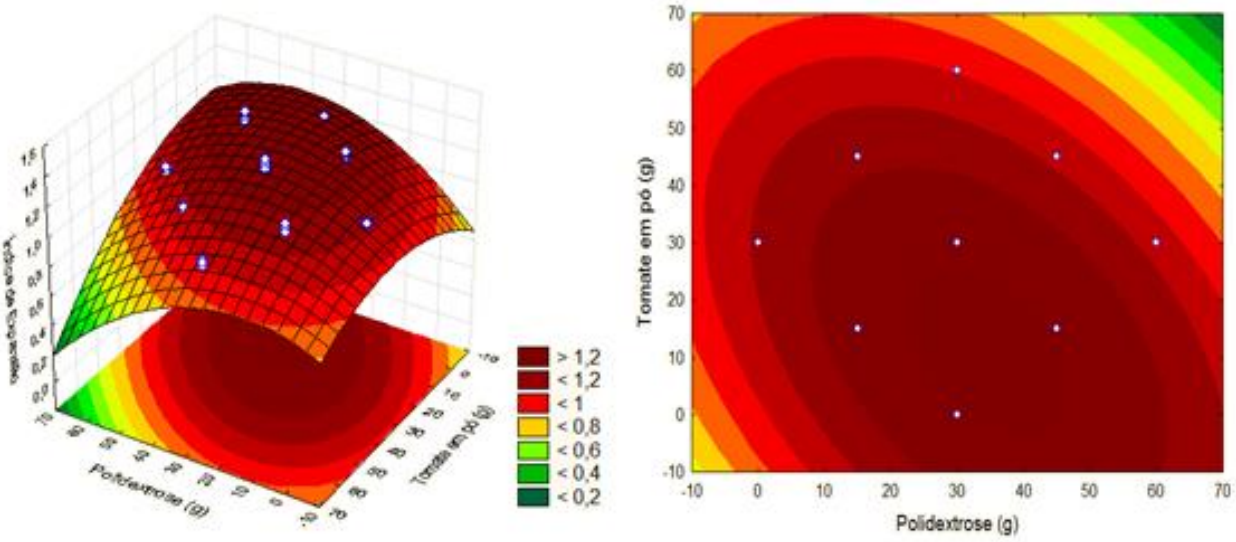
A análise de variância, apresentada na tabela 10, correspondente ao modelo proposto para o índice de expansão indica que a variação explicada (90,59%) e o F calculado (129 vezes maior que o F tabelado) são adequados para a obtenção do mesmo, o qual é apresentado pela equação 10.

$$IE = 0{,}97 + 0{,}02(\boldsymbol{P}) - 2{,}2x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 + 9{,}2x10^{-4}(\boldsymbol{T}) - 1{,}5x10^{-4}(\boldsymbol{T})^2 - 1{,}6x10^{-4}(\boldsymbol{PT}) \quad (10)$$

P: Polidextrose; T: Tomate em pó.

Através das superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo do índice de expansão pode-se observar que os ingredientes funcionais tiveram efeitos semelhantes ao índice de expansão. O IE diminuiu com o aumento da incorporação da polidextrose e do tomate em pó, conforme apresentado pela figura 5.

Figura 5 – Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do tomate em pó no índice de expansão



O Índice de Expansão foi afetado negativamente pelas variáveis independentes, quanto maior foi a adição da polidextrose e do tomate em pó menor foi o IE. O ponto ótimo foi obtido pelos ensaios 1, 2, 7 e os pontos centrais, com valores superiores a 1,20 para este parâmetro, assim como obtiveram os melhores resultados para o volume específico e densidade estes ensaios estão mais próximos da formulação dita ideal.

Valores superiores a 45 g de tomate em pó promovem índices de expansão fora da faixa ótima, para a polidextrose valores menores que 10 g e superiores a 60 g prejudicam este parâmetro.

3.1.4 Efeito da polidextrose e tomate em pó no fator de expansão máximo (VEF) das massas

A tabela 11 fornece os coeficientes de regressão, erro puro, valor t e p para o fator de expansão máximo das massas para a produção de pães tipo forma.

Tabela 11 – Coeficientes de regressão para a resposta fator de expansão máximo (VEF).

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	1,563158	0,031839	49,0964	0,000000
P(L)*	0,021568	0,001200	17,9728	0,000000
P(Q)*	-0,000809	0,000013	-61,4470	0,000000
T(L)*	0,017976	0,001200	14,9791	0,000000
T(Q)*	-0,000842	0,000013	-63,9783	0,000000
P x T*	0,000426	0,000029	14,7242	0,000000

P = polidextrose; T = tomate em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Houve efeito significativo para os modelos lineares e quadráticos para ambas as variáveis e da interação entre elas, os fatores quadráticos produziram efeitos negativos, reduzindo o fator de expansão das massas. A análise de variância (tabela 12) fornece a informação que é possível obter o modelo matemático para o fator de expansão, a variação explicada de 98,07% e o F_{calc} (6827 vezes maior que o F_{tab}), para a falta de ajuste, o F_{tab} foi menor que o F_{calc}, sendo o modelo obtido apresentado na equação 11. A partir dele, foi possível obter as superfícies de respostas (figura 11).

Tabela 12 – ANOVA para a resposta fator de expansão máximo (VEF).

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	8,918	5	2,235	17545,050
Resíduos	0,152	27	0,046	
Falta de Ajuste	0,140	3	0,046	2,05
Erro Puro	0,012	24	0,000	
Total	9,07	32		

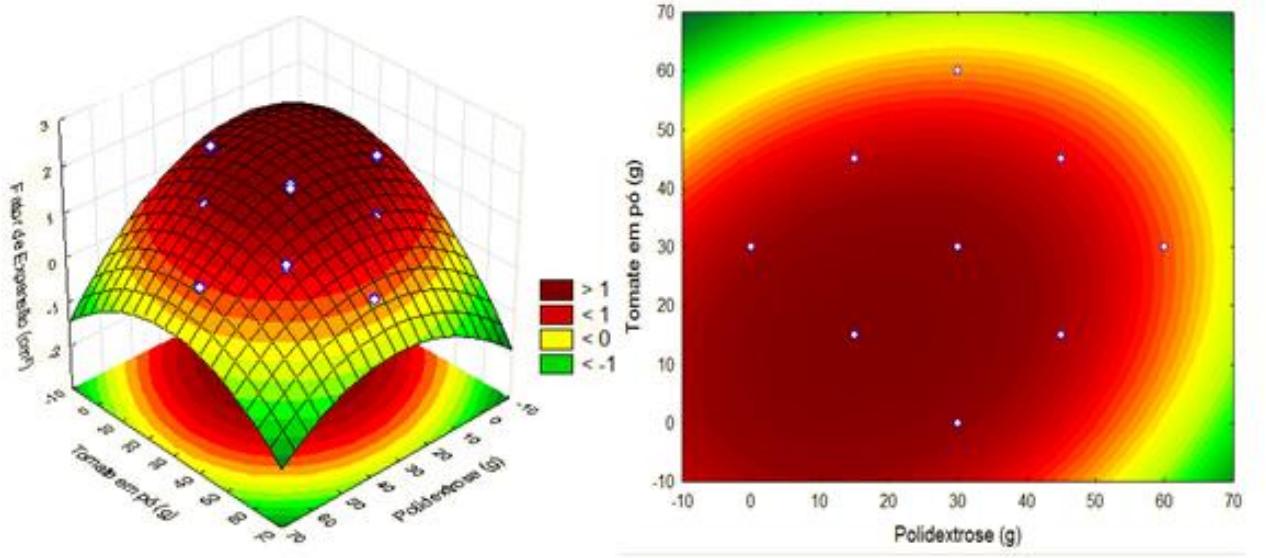
% variável explicada (R^2) = 0,98077; $F_{tab\ (5;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,57.

$$VEF = 1,56 + 0,02(\boldsymbol{P}) - 8,1x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 + 0,02(\boldsymbol{T}) - 8,4x10^{-4}(\boldsymbol{T})^2 + 4,2x10^{-4}(\boldsymbol{PT}) \qquad (11)$$

P: Polidextrose; B: Tomate em pó.

Os valores críticos das variáveis para o VEF máximo foram de 17,28 g para a polidextrose e 15,03 g para o tomate em pó. Através da análise da curva de contorno gerada, o ensaio 1, adicionado de 15 g de polidextrose e tomate em pó e 4, com 45 g de polidextrose e tomaate em pó encontraram-se dentro da faixa ótima, contudo, este último produziu massas de maquinabilidade ruim.

Figura 6 – Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do tomate em pó sobre o fator de expansão máximo (VEF) das massas.



Também apresentaram resultados favoráveis os ensaios adicionados até os valores críticos das variáveis, seja quando estas foram adicionadas em conjunto ou quando houve a adição de apenas uma delas, como nos ensaios 5 e 7, estando o VEF próximo da faixa ótima, conforme mostrou a figura 6.

A adição de polidextrose e tomate em pó em quantidades superiores a 40 g prejudicaram o fator de expansão máximo, com valores inferiores a 1,00 cm³.

4.0 CONCLUSÃO

A adição de quantidades superiores a 45 g de da polidextrose ou do tomate em pó promoveu a redução do volume específico, índice de expansão e fator de expansão das massas, assim como o aumento da densidade dos pães. A quantidade de 30 g de polidextrose, quando combinada com 60 g de tomate em pó diminuiu a qualidade dos pães, entretanto, quando apenas 30 g de um dos ingredientes foi adicionada apresentou pães de melhor qualidade.

Diante dos resultados obtidos quanto aos parâmetros físicos as formulações com melhor desempenho foram: a incorporada de 15 g de polidextrose e tomate em pó (ensaio 1). E as formulações adicionadas de 30 g de polidextrose e tomate em pó (ensaios 9, 10 e 11).

CAPÍTULO III – DESENVOLVIMENTO DE PÃES TIPO FORMA ADICIONADOS DE POLIDEXTROSE E BRÓCOLIS EM PÓ

1.0 INTRODUÇÃO

O sulforafano, encontrado no brócolis, é produzido a partir da hidrólise do glucosinolato na presença da enzima mirosinase. Ele tem demonstrado proporcionar prevenção ao câncer através de uma série de mecanismos, incluindo a regulação positiva de enzimas de desintoxicação (DOSZ e JEFFERY, 2013), sendo o principal composto de interesse devido à seus benefícios.

Estudo recente desenvolvimento por Mirmiran et al. (2012) mostrou que os brotos de brócolis produzem altas concentrações de sulforafano quando processado, podendo colaborar no tratamento de inflamações causadas pela diabetes tipo 2.

Um grande número de estudos demonstram que o sulforafano possui atividade anti-carcinogênica (BONNESEN et al., 2001; CLARKE et al., 2008; KEUM et al., 2004; QAZI et al., 2010). Outros benefícios do sulforafano e brócolis são descritos na literatura, como o de fornecer efeitos favoráveis sobre a atenuação da peroxidação lipídica e estresse oxidativo em diabéticos (BAHADORAN et al., 2011).

Estudo *in vitro* desenvolvido por Heiss et al. (2001) encontrou potencial do sulforafano em inativar o fator nuclear kB (NF-kB), modulador chave das vias inflamatórias, também apresenta a capacidade de inibir a produção de citocinas (RITZ et al., 2007).

Mrkirc *et al*. (2006) têm relatado que os processos envolvendo altas temperaturas em curto período de tempo maximiza a atividade antioxidante do brócolis, estando correlacionada com os grupamentos de polifenóis livres e não ao conteúdo de polifenóis totais.

Sharma *et al*. (2011) estudaram a incorporação de brócolis em pó em formulações de queijo e concluíram que a adição de 3% a 15% produziu produtos de qualidade sensorial excelente, de modo geral, houve aceitabilidade dos produtos até 20% de incorporação.

O uso do brócolis em pó em formulações de pães tipo forma pode, além de conferior melhoria do valor nutricional ao produto, fornecer o sulforafano como componente bioativo e auxiliar na prevenção de enfermidades.

2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

O protocolo experimental utilizado para o estudo do desenvolvimento dos pães processados com a polidextrose e o brócolis em pó encontra-se descrito abaixo.

2.1 Ingredientes

Para a produção dos pães foram necessários os seguintes ingredientes:

Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, FINNA®; Açúcar refinado especial ESTRELA®; Fermento Biológico (Saccaromyces Cerevisae) seco instantâneo para massa salgada, Dr. Oetecker®; Gordura Vegetal Hidrogenada PURO SABOR®; Sal refinado CISNE®; Brócolis em pó da SUN FOODS® Indústria de Produtos alimentícios Ltda; Polidextrose (Litesse®) fornecido pela DANISCO®.

2.2 Equipamentos e utensílios

- Balança analítica marca OHAUS, modelo Adventurer, capacidade de 210 g.
- Balança eletrônica de cozinha, marca Highone, modelo HO-EL1, capacidade de 5 kg.
- Bandejas de alumínio, de dimensões 30x30 cm.
- Câmara de fermentação.
- Cilíndro de plástico para laminação da massa.
- Embalagens plásticas 100% polietileno.
- Faca para pão 7” de aço inoxidável tramontina.
- Formas de ferro.
- Forno elétrico Continental, modelo Avance turbo.
- Misturadora automática LIEME BP-06, com capacidade para 6 kg.
- Placas de petri.
- Régula milimetrada.
- Termômetro digital.

2.3 Métodos

Definiu-se como referência para o estudo, formulação padrão de pão tipo forma adotada por Gragnani (2010) com modificações, conforme é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Formulação padrão para a produção de pães tipo forma.

Ingredientes (%)*	Formulação Padrão
Farinha de Trigo	100%
Água	55-60%
Gordura Vegetal Hidrogenada	10%
Açúcar	5%
Fermento Biológico Seco	3,3%
Sal	2%

*O percentual dos ingredientes foi baseado na quantidade total de farinha de trigo utilizada.

**A quantidade de água acrescentada às formulações variou em função da absorção de água das farinhas.

2.3.1 Delineamento Experimental

Para o desenvolvimento das formulações de pães tipo forma incorporadas com polidextrose e brócolis em pó foi utilizado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). Foi aplicado um planejamento fatorial 2^2 completo, totalizando 11 ensaios, sendo quatro fatoriais (combinação dos níveis -1 e +1), quatro axiais (-α e +α) e três repetições no ponto central (0) para estimativa do erro padrão.

Na tabela 14 são apresentados as faixas de valores codificados e reais utilizados para os ensaios e na tabela 15 é apresentada a matriz do planejamento.

Tabela 14 – Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2^2.

Variáveis Independentes	Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
	-α = -1,41	**-1**	**0**	**+1**	**+α = +1,41**
Polidextrose (g)	0	15	30	45	60
Brócolis em pó (g)	0	15	30	45	60
%*	0%	5%	10%	15%	20%

*Em relação a farinha de trigo (base 100)

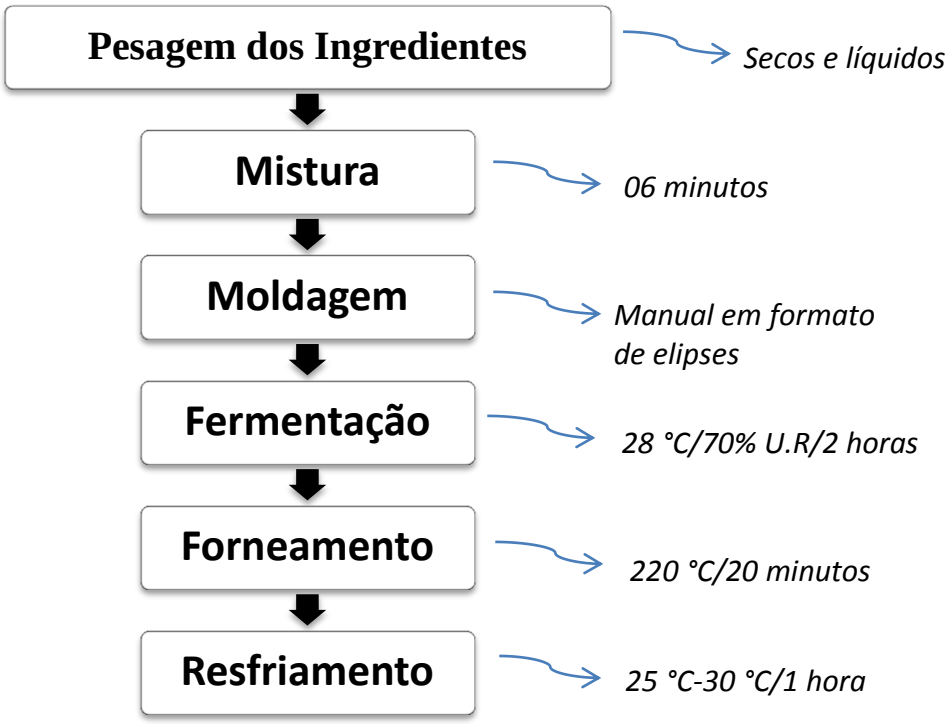
Tabela 15 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais.

Ensaios	Polidextrose	Brócolis em pó	Polidextrose (g)	Brócolis em pó (g)
1	-1	-1	15	15
2	+1	-1	45	15
3	-1	+1	15	45
4	+1	+1	45	45
5	-1,41	0	0	30
6	+1,41	0	60	30
7	0	-1,41	30	0
8	0	+1,41	30	60
9	0	0	30	30
10	0	0	30	30
11	0	0	30	30

2.4 Processo de obtenção dos pães tipo forma com polidextrose e brócolis em pó

A descrição do processo de produção dos pães tipo forma seguiu o fluxograma apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma do processamento dos pães tipo forma.



2.5 Avaliação Física das massas e dos pães tipo forma

2.5.1 Avaliação do processo de fermentação

A expansão das massas durante o processo de fermentação foi avaliada através do procedimento experimental de Perfil Livre de Expansão adotado por Gabric *et al*. (2011).

2.5.2 Volume Específico

O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g), segundo método n° 72-10 da AACC (1995).

2.5.3 Densidade

A densidade foi calculada, em triplicata, através da relação inversa entre o volume deslocado e o peso da amostra assada.

2.5.4 Índice de Expansão

Para o cálculo do índice de expansão foi adaptada a medotologia utilizada por Silva *et al*. (2003) para pão de queijo. As massas foram moldadas na forma esférica para permitir as medições do diâmetro e da altura, com auxílio de régua milimetrada simples. A análise foi realizada em triplicata.

2.6 Análise estatística do delineamento composto central rotacional (DCCR)

A avaliação dos resultados dos parâmetros físicos de fator de expansão das massas, volume específico, densidade e índice de expansão dos pães no desenvolvimento das formulações através do delineamento composto central rotacional foi realizada por superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno, análise de variância (ANOVA), teste de médias ao nível de 5% de significância e análise de regressão.

Os resultados das variáveis dependentes, respostas de cada um dos 11 ensaios, foram tratados por análise de regressão múltipla para a obtenção de modelos matemático, para a validação dos modelos foi utilizada a análise de variância (ANOVA). Nos modelos foi observada a significância da regressão pelo teste F, falta de ajuste não significativa e pelo coeficiente de determinação (R^2).

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação Física dos pães adicionados de Polidextrose e Brócolis em pó

A tabela 16 apresenta os resultados médios e a análise de tukey para os parâmetros físicos dos pães tipo forma processados com polidextrose e brócolis em pó.

O volume específico foi superior a 3,0 mL/g nos ensaios 1, 5 e 7, consequentemente foram os que obtiveram a menor densidade, 0,30 g/mL, dentre as formulações desenvolvidas. Os ensaios 9 a 11, correspondentes ao ponto central obtiveram volumes específicos variando de 2,71

mL/g a 2,77 mL/g, apresentando valores de densidade de 0,37 g/mL, resultados inferiores para o volume específico foram encontrados por Amaya *et al*. (2013a) quando estudaram a adição de suco de goiaba em pães tipo forma, onde variou de 2,33 mL/g para o pão padrão a 1,68 mL/g para a substituição da água por 100% de suco de goiaba.

Tabela 16 – Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma.

[1]Ensaios	Polidextrose		Brócolis em pó		Volume Específico ($mL.g^{-1}$)	Densidade ($g.mL^{-1}$)	Índice de Expansão	VEF máximo (cm^3)
	COD	RE	COD	RE				
1	-1	15	-1	15	$3,17^{b}$±0,06	$0,30^{b}$±0,02	$1,36^{cd}$±0,02	$1,75^{f}$±0,06
2	+1	45	-1	15	$2,74^{a}$±0,06	$0,32^{b}$±0,02	$1,16^{bc}$±0,04	$1,55^{a}$±0,02
3	-1	15	+1	45	$2,68^{a}$±0,09	$0,36^{c}$±0,01	$1,07^{d}$±0,02	$1,39^{b}$±0,03
4	+1	45	+1	45	2,19±0,03	0,38±0,00	$1,42^{a}$±0,01	$0,45^{e}$±0,03
5	-1,41	0	0	30	$3,19^{b}$±0,02	$0,30^{b}$±0,00	$1,29^{bcd}$±0,02	$1,71^{f}$±0,01
6	+1,41	60	0	30	2,08±0,06	$0,43^{a}$±0,01	$1,36^{cd}$±0,02	$0,58^{d}$±0,02
7	0	30	-1,41	0	$3,17^{b}$±0,06	$0,30^{b}$±0,01	$1,19^{c}$±0,03	$1,77^{f}$±0,03
8	0	30	+1,41	60	2,07±0,02	$0,44^{a}$±0,00	$1,12^{c}$±0,03	$0,85^{c}$±0,02
9	0	30	0	30	$2,73^{c}$±0,02	$0,37^{c}$±0,01	$1,37^{cd}$±0,03	$1,68^{f}$±0,03
10	0	30	0	30	$2,77^{c}$±0,06	$0,37^{c}$±0,00	$1,32^{cd}$±0,02	$1,70^{f}$±0,03
11	0	30	0	30	$2,71^{c}$±0,02	$0,37^{c}$±0,00	$1,36^{cd}$±0,05	$1,72^{f}$±0,02

COD = Valores codificados; RE = Valores Reais (g).

[1]Letras distintas em uma mesma coluna apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos por estes ensaios para o Índice de Expansão foram superiores aos dos ensaios 5 e 7, o maior foi obtido pelo ensaio 4 (1,42), valor superior ao encontrado por Amaya e *et al*. (2013c) quando avaliou a incorporação de suco de caju em pães tipo forma.

Através do fator de expansão obtidos pelos pães tipo forma adicionados polidextrose e brócolis em pó podemos notar que o desempenho durante a fermentação é prejudicado quando as quantidades dos ingredientes funcionais é superior a 30 g, o fator de expansão máximo obtido foi abaixo de 1,00. Os melhores resultados foram obtidos pelos ensaios 1, 7 e os pontos centrais, não havendo diferenças significativas ao nível de 5% de significância com o ensaio 5.

Dhingra e Jood (2004) relataram volumes específicos variando de 2,40 a 2,92 mL/g, dependendo da porcentagem de substituição da farinha de trigo por farinha de soja integral, que variou de 5 a 20%, valores inferiores, com exeção do ensaio 8, aos pães produzidos neste estudo com a adição de polidextrose em conjunto com o brócolis em pó.

O efeito da fortificação de pães tipo forma sem glúten com ferro foi estudada por Kiskini *et al*. (2012), o volume específico dos produtos variou de 1,85 mL/g a 1,90 mL/g, valores inferiores aos obtidos no presente estudo, o enfraquecimento da rede de glúten proporcionado pelo

uso da polidextrose e do brócolis em pó não foi o suficiente ao ponto de fornecer volumes específicos de pães sem glúten.

3.1.1 Efeito da polidextrose e brócolis em pó no volume específico

Vários autores têm relatado que a substituição parcial da farinha de trigo dilui a rede de glúten, o que resulta no enfraquecimento da farinha e um produto com qualidade reduzida (LAMACCHIA *et al*., 2010; MAJZOOBI *et al*., 2012), no entanto, há informações muito limitadas sobre a reologia das massas em sistemas preenchidos com pós provenientes de vegetais.

A tabela 17 apresenta os coeficientes de regressão, erro puro, valores de t e p para o parâmetro volume específico, notando-se a influência significativa ($p \leq 0,05$) do brócolis em pó e da polidextrose tanto no modelo linear quanto no quadrático, o efeito da interação entre as variáveis não foi significativo. Os efeitos lineares foram negativos, enquanto que os quadráticos tiveram efeito positivo.

Tabela 17 – Coeficientes de regressão para a resposta volume específico.

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	2,866433	0,076228	50,72182	0,000000
P(L)*	-0,027674	0,002873	-9,63205	0,000000
P(Q)*	0,000203	0,000032	6,44558	0,000001
B(L)*	-0,027230	0,002873	-9,47736	0,000000
B(Q)*	0,000185	0,000032	5,85821	0,000005
B x T	-0,000067	0,000069	-0,96260	0,345348

P = Polidextrose; B = Brócolis em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

A análise de variância (tabela 18) correspondente ao modelo para o volume específico indica que o modelo explica 94,81% dos dados experimentais obtidos, o F_{calc} obtido foi 183 vezes maior que o F_{tab}, bem como a falta de ajuste não foi significativa, o que indicam a validação do modelo matemático para explicar esta variável resposta.

Tabela 18 – ANOVA para a resposta volume específico.

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	5,364	4	1,788	499,124
Resíduos	0,289	27	0,732	
Falta de Ajuste	0,220	3	0,734	0,982
Erro Puro	0,069	24	0,002	
Total	5,942	31		

% variável explicada (R^2) = 0,94813; $F_{tab\ (4;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,73.

Com o modelo validado pela ANOVA e a partir dos coeficientes de regressão foi possível obter a equação 12, que apresenta o modelo matemático gerado para a variável resposta volume específico em função da polidextrose e do brócolis em pó.

$$Volume\ Específico = 2{,}86 - 0{,}02(\boldsymbol{P}) + 2{,}0x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 - 0{,}02(\boldsymbol{B}) + 1{,}8x10^{-4}\ (\boldsymbol{B})^2 \qquad (12)$$

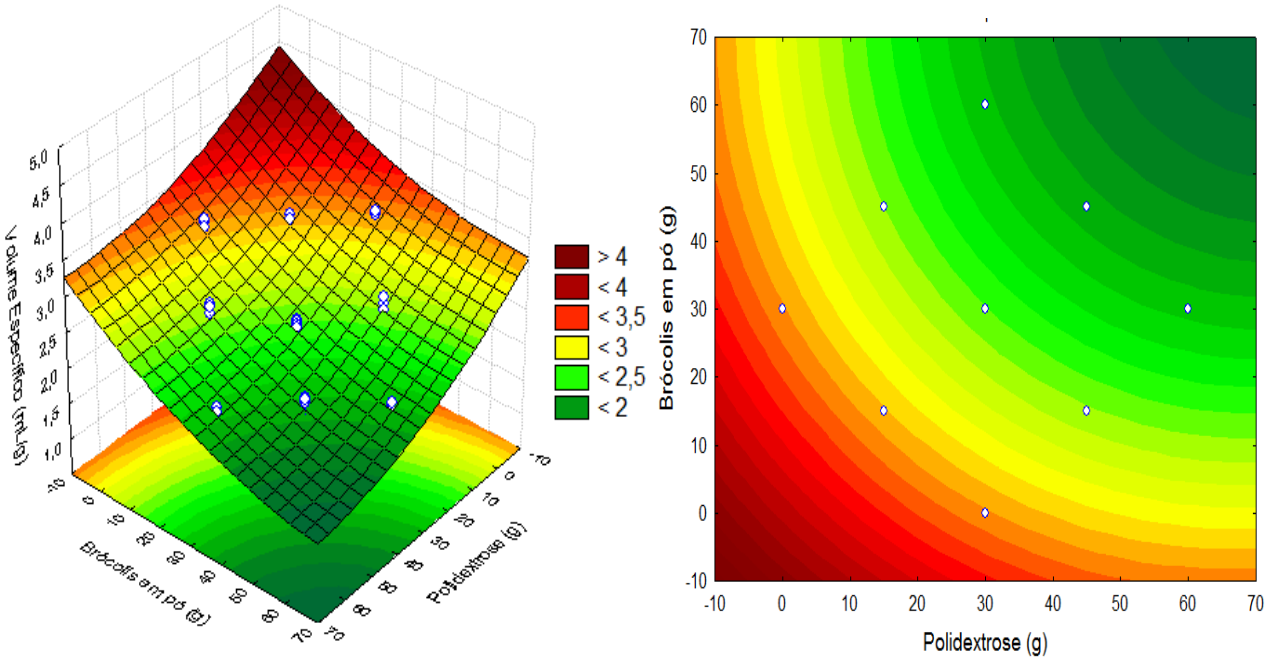
P: Polidextrose; B: Brócolis em pó.

Através da análise do modelo proposto, pôde-se avaliar que a influência da polidextrose e do brócolis em pó foram semelhantes, sendo prejudiciais, à mesma proporção, em seus fatores lineares e benéficos, quase em mesma proporção, nos modelos quadráticos.

De acordo com a figura 8, os melhores resultados foram apresentados pelas formulações adicionadas de até 30 g de polidextrose e 45 g de brócolis em pó, entretanto, quando esta quantidade foi utilizada a maquinabilidade da massa não foi satisfatória. A adição de quantidades superiores a 40 g de ambas as variáveis promoveu volumes específicos menores.

A faixa ótima não foi atingida por nenhum dos ensaios dentro da faixa estudada, que compreendeu entre a adição de até 15 g de brócolis em pó e até 10 g de polidextrose, a região compreende em volumes específicos superiores a 3,50 mL/g, entretanto, valores de volume específico entre 2,00 e 3,00 mL/g para pães tipo forma são encontrados com frequência na literatura e interpretado como satisfatórios.

Figura 8 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre o volume específico.



Amaya *et al*. (2013b) estudaram a utilização de suco de manga em formulações de pães tipo forma avaliando as características físicas do produto, os autores observaram que o volume específico foi prejudicado pela adição do suco de manga, obtendo 1,87 mL/g e 1,52 mL/g para a substituição parcial e total da água pelo suco, respectivamente, resultados inferiores ao da formulação padrão desenvolvida (2,26 mL/g) e ao dos obtidos para os pães incorporados com polidextrose e brócolis em pó.

Silva *et al*. (2013c) utilizaram brócolis em pó em formulações de macarrão e verificaram efeito negativo ao volume dos produtos conforme a quantidade do ingrediente foi elevada e propôs o uso de hidrocolóides para corrigir este problema. No presente estudo, este resultado foi observado para a adição da polidextrose e brócolis em pó em pães tipo forma, quanto maior foi a adição dos ingredientes, menor foi o volume específico apresentado pelos produtos.

3.1.2 Efeito da polidextrose e brócolis em pó na densidade

Para a variável resposta densidade, os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e p estão dispostos na tabela 19.

Tabela 19 – Coeficientes de regressão para a resposta densidade.

	Coeficientes de regressão	**Erro Puro**	**t (24)**	**p – valor**
Média*	0,307368	0,017295	17,77193	0,000000
P(L)	0,000727	0,000652	1,11538	0,275733
P(Q)	0,000003	0,000007	0,46326	0,647351
B(L)	-0,000236	0,000652	-0,36182	0,720649
B(Q)*	0,000026	0,000007	3,56983	0,001550
B x T	0,000015	0,000016	0,94281	0,355173

P = Polidextrose; B = Brócolis em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

A análise de variância apresentada na tabela 20 mostra que o modelo gerado foi significativo, tendo a falta de ajuste do modelo caráter não significativo, ao nível de 5% de significância. O F_{calc} foi maior que o $F_{tab.}$ O Coeficiente de determinação informa que 74,90% dos dados experimentais são explicados pelo modelo matemático gerado para a densidade dos pães tipo forma.

Tabela 20 – ANOVA para a resposta densidade.

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	0,041	3	0,010	277,780
Resíduos	0,013	27	0,003	
Falta de Ajuste	0,010	3	0,003	1,95
Erro Puro	0,003	24	0,000	
Total	0,067	30		

% variável explicada (R^2) = 0,7490; $F_{tab\ (3;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,96.

Após a exclusão dos parâmetros não significativos, verificou-se por análise de variância (ANOVA), a significância da regressão e do resíduo ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado. Percebeu-se que apenas o brócolis em pó, em seu modelo quadrático, produziu efeito com relação a densidade dos pães, promovendo a sua elevação conforme a quantidade de brócolis em pó foi incorporada, conforme apresenta a equação 13.

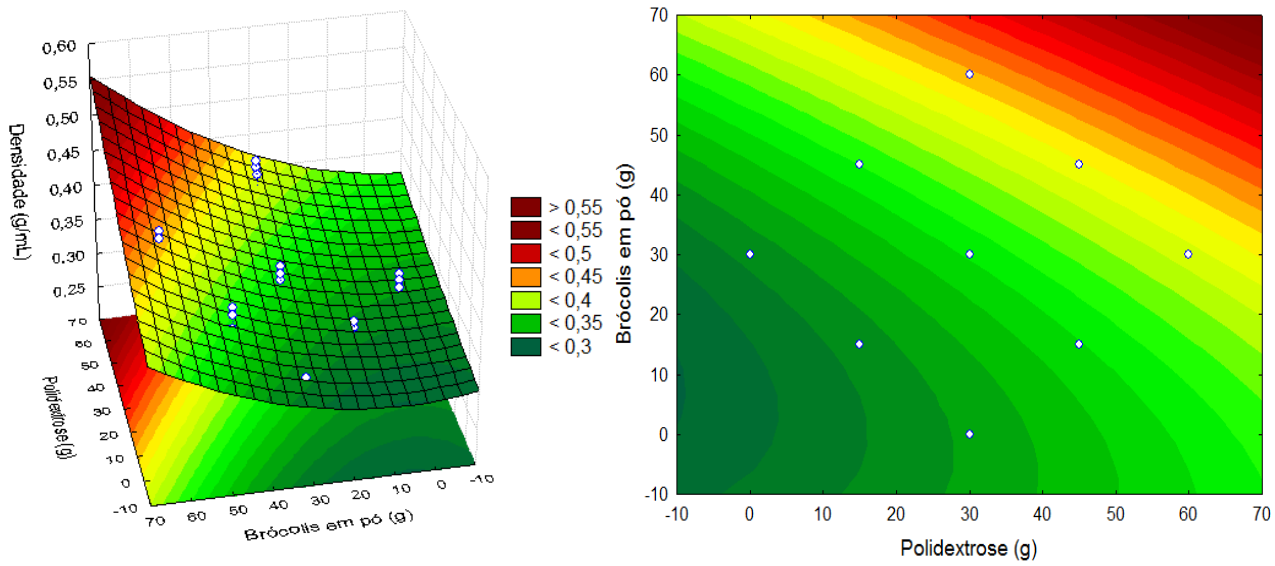
$$D = 0{,}30 + 2{,}6x10^{-5}(\boldsymbol{B})^2 \qquad (13)$$

P: Polidextrose; B: Brócolis em pó.

A adição de outros cereais e/ou leguminosas como farinha de soja integral, tem ação deletéria sobre a massa, ocasionando a redução do volume específico do pão e elevando a densidade (ESTELLER, 2004).

Através da validação do modelo matemático e do bom ajuste dos dados experimentais em função do modelo matemático, foi possível gerar a respectiva superfície de resposta e a curva de contorno, conforme exposto na figura 9.

Figura 9 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre a densidade.



A curva de contorno gerada mostrou que a adição somente de polidextrose, em quantidades de 0 g a 70 g promove pequenas alterações (de 0,30 g/mL a 0,35 g/mL) na densidade. Enquanto que o brócolis em pó, com adição até 20 g, sem nenhuma quantidade de polidextrose atingiu a faixa correspondente ao ponto ótimo para a densidade, com valor inferior a 0,30 g/mL, entretanto, nenhum ensaio compreendeu este intervalo.

A combinação de quantidades superiores a 30 g de polidextrose e 60 g de brócolis em pó promoveram o aumento da densidade para valores acima de 0,50 g/mL, prejudicando o aspecto dos produtos.

A adição de suco goiaba e seu efeito na densidade de pães tipo forma foi estudado por Amaya *et al*. (2013a), a substituição parcial de água por suco de goiaba gerou valores de densidade a ordem de 0,55 g/mL, quando a substituição foi total, a densidade elevou-se para 0,82 g/mL, comportamento semelhante foi observado neste estudo, com o aumento da adição dos ingredientes funcionais, os valores de densidade foram maiores.

Silva *et al*. (2013a) estudaram a incorporação de brócolis em pó em amido de batata doce para a produção de macarrão, verificaram que quanto maior foi a adição maior foi a parte de amido substituída pelo brócolis em pó, portanto, menor o teor de amido disponível para formar a matriz, o que pode também ser aplicado à matriz de glúten, o que produz pães de menor volume específico e com maior densidade. O uso de sêmola de trigo durum não foi afetada de modo severo com a incorporação do brócolis em pó, uma vez que permitiu a sua utilização em até 20%, justamente por formar uma matriz de glúten mais forte do que farinhas de trigo convencionais para pão.

3.1.3 Efeito da polidextrose e brócolis em pó no Índice de Expansão (IE)

Os coeficientes de regressão, erro puro, valores de t e p para a variável resposta índice de expansão dos pães tipo forma estão expressos na tabela 21.

Tabela 21 – Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE).

	Coeficientes de regressão	**Erro Puro**	**t (24)**	**p – valor**
Média*	1,676433	0,049779	33,67772	0,000000
P(L)*	0,011193	0,001876	-5,96565	0,000004
P(Q)*	-0,000149	0,000021	7,21698	0,000000
B(L)*	-0,015045	0,001876	-8,01861	0,000000
B(Q)*	0,000199	0,000021	9,64552	0,000000
P x A	-0,000070	0,000045	-1,55596	0,132807

P = Polidextrose; B = Brócolis em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Os efeitos lineares e quadráticos das variáveis independentes tiveram efeitos significativos no índice de expansão dos pães tipo forma adicionados de polidextrose e brócolis em pó, a interação entre as variáveis não produziu efeito significativo. A análise de variância apresentada na tabela 22 mostra que o modelo gerado é significativo, tendo o mesmo sido validado pelo teste F ($F_{calc} > F_{tab}$) e a falta de ajuste não foi significativa ao nível de 5% de significância.

Tabela 22 – ANOVA para a resposta índice de expansão (IE).

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	0,558	4	0,139	449,721
Resíduos	0,112	27	0,026	
Falta de Ajuste	0,083	3	0,027	2,37
Erro Puro	0,029	24	0,001	
Total	0,782	31		

% variável explicada (R^2) = 0,81964; $F_{tab\ (4;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,73.

Barros Neto *et al*. (2003) sugerem que, para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas também útil para fins preditivos, o valor de F calculado para a regressão deve ser no mínimo quatro vezes o valor de F tabelado. Essa condição é amplamente satisfeita nesse estudo.

A equação 14 fornece o modelo matemático proposto a partir dos coeficientes de regressão.

$$IE = 1{,}67 + 0{,}01(\boldsymbol{P}) - 1{,}4x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 - 0{,}01(\boldsymbol{B}) + 1{,}9x10^{-4}(\boldsymbol{B})^2 \quad (14)$$

P: Polidextrose; B: Brócolis em pó.

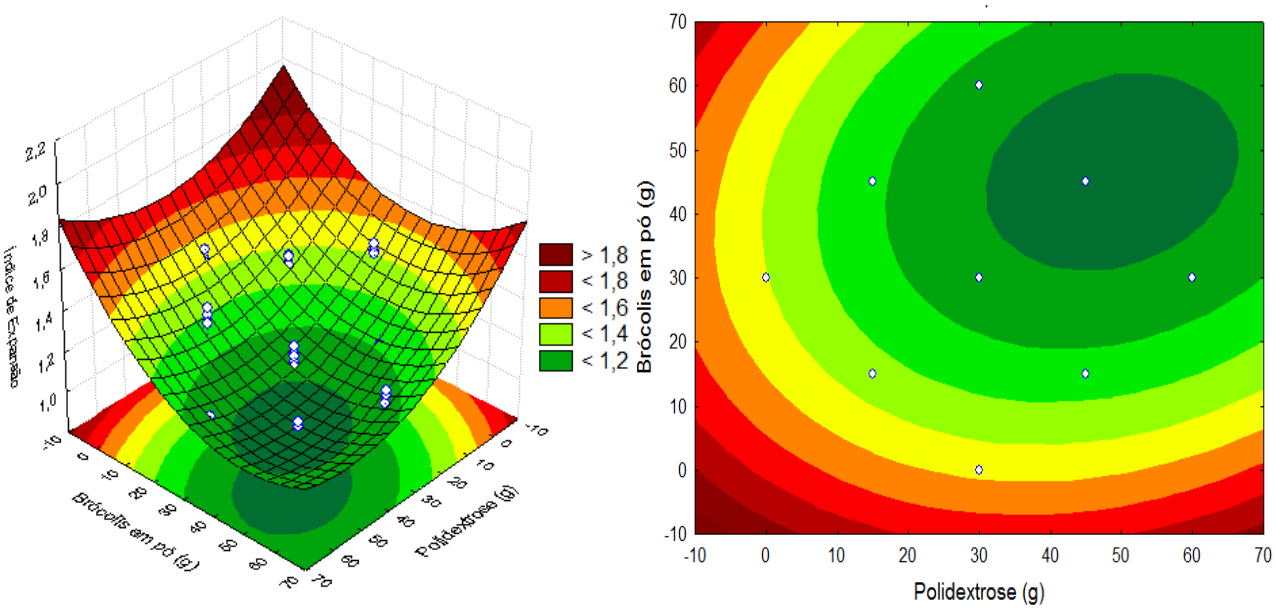
A polidextrose e o brócolis em pó, em seus modelos lineares, proporcionaram a mesma intensidade de efeito, entretanto, em sentidos opostos, a polidextrose trouxe benefício ao índice de expansão, enquanto que o brócolis em pó proporcionou a sua redução, comportamento semelhante ocorreu ao modelo quadrático, sendo a direção dos efeitos invertida.

A figura 10 apresenta as superfícies de resposta e curvas de contorno para o índice de expansão dos pães tipo forma processados com polidextrose e brócolis em pó.

Observando a superfície de resposta gerada, nota-se mais claramente o efeito de cada uma das variáveis sobre o índice de expansão dos pães. A adição da polidextrose, em qualquer quantidade, sem o uso do brócolis em pó, produziu valores superiores a 1,40; valores considerados ideais pela literatura, conforme resultados obtidos por Viana *et al*. (2013).

A adição de brócolis em pó em quantidades superiores a 30 g, em conjunto com valores de polidextrose superiores a 20 g prejudicaram a capacidade de expansão das massas durante a fermentação e o forneamento, fornecendo os menores valores de índice de expansão. Esta variável também foi afetada pela formulação de pães tipo forma, em estudo desenvolvido por Amaya *et al.* (2013b), com a adição de suco de manga, onde o Índice de Expansão variou de 1,36 para a formulação padrão, sem adição de suco, a 1,02 para a substituição total de água por suco de manga.

Figura 10 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre o índice de expansão.



3.1.4 Efeito da polidextrose e brócolis em pó no fator de expansão máximo das massas

Os coeficientes de regressão, erro puro e os valores de t e p obtidos para o fator de expansão máximo em função da incorporação de polidextrose e brócolis em pó estão dispostos na tabela 23.

Tabela 23 – Coeficientes de regressão para a resposta fator de expansão máximo (VEF).

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	1,100058	0,046479	23,6677	0,000000
P(L)*	0,041372	0,001752	23,6159	0,000000
P(Q)*	-0,000594	0,000019	-30,8917	0,000000
B(L)*	0,031076	0,001752	17,7386	0,000000
B(Q)*	-0,000412	0,000019	-21,4513	0,000000
P x B*	-0,000822	0,000042	-19,4707	0,000000

P = Polidextrose; B = Brócolis em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Os efeitos dos fatores lineares e quadráticos de ambas as variáveis independentes foram significativos, bem como a interação entre elas, obtendo baixos valores de p. O fator quadrático da polidextrose e do brócolis em pó e a interação entre as variáveis produziram efeito negativo sobre o fator de expansão máximo das massas.

A tabela 24 da análise de variância demostrou que houve um bom ajuste do modelo, sendo a porcentagem de variação explicada de 81,96% e o F_{calc} 2997 vezes maior que o F_{tab}, não houve falta de ajuste significativa, sendo possível a obtenção do modelo matemático para o fator de expansão máximo em função da polidextrose e brócolis em pó, o qual é apresentado na equação 15.

Tabela 24 – ANOVA para a resposta fator de expansão máximo (VEF).

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	7,566	5	2,552	6984,808
Resíduos	0,649	27	0,128	
Falta de Ajuste	0,389	3	0,129	2,33
Erro Puro	0,260	24	0,001	
Total	8,864	32		

% variável explicada (R^2) = 0,81964; $F_{tab\ (5;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,57.

$$VEF = 1{,}10 + 0{,}04(\boldsymbol{P}) - 5{,}9x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 - 0{,}03\ (\boldsymbol{B}) - 4{,}1x10^{-4}(\boldsymbol{B})^2 - 8{,}2x10^{-4}(\boldsymbol{PB}) \qquad (15)$$

P: Polidextrose; B: Brócolis em pó.

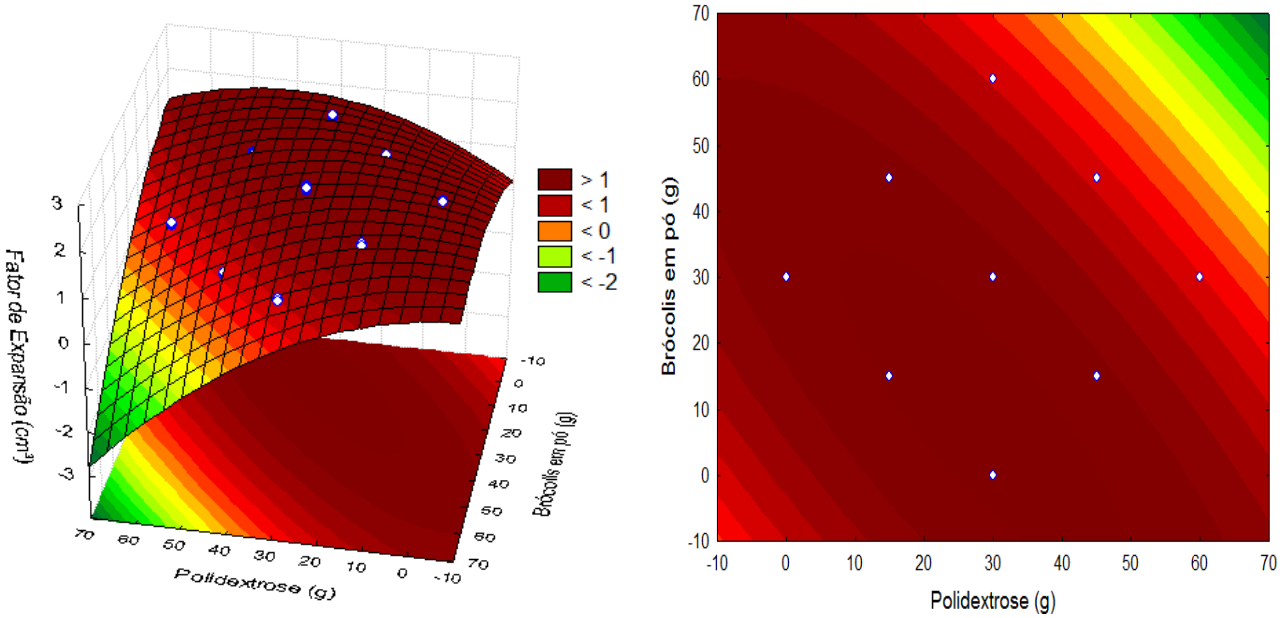
A figura 11 apresenta a superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e brócolis em pó sobre o fator de expansão máximo das massas.

Observou-se que seis ensaios (1, 2, 3, 5, 7 e os pontos centrais) produziram fatores de expansão máximos superiores a 1,00 cm^3, comportamento desejado durante o processo de fermentação da massa, indicando que a incorporação dos ingredientes não prejudicou de modo severo à matriz de glúten.

A faixa de adição de até 45 g de polidextrose em conjunto de até 15 g de brócolis em pó não trazem prejuízos ao fator de expansão das massas, entretanto, se a adição de brócolis em pó for superior a esta quantidade, mantendo valores de 45 g para a polidextrose há redução no parâmetro físico.

Sem a adição da polidextrose, a faixa ótima para a utilização de brócolis em pó sem que prejudique o fator de expansão é de 20 g a 60 g e para a adição somente da polidextrose entre valores de 10 g a 55 g.

Figura 11 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do brócolis em pó sobre o fator de expansão máximo das massas.



4.0 CONCLUSÃO

O volume específico foi superior a 3,00 mL/g quando houve adição de até 30 g de um dos ingredientes de forma isolada. A densidade não foi influenciada pela incorporação de polidextrose nos valores obtidos entre 0,3 g/mL a 0,4 g/mL.

A polidextrose, em qualquer quantidade adicionada, promoveu índices de expansão superiores a 1,50; proporcionando pães com boa capacidade de expansão durante a fermentação e forneamento. Quantidades superiores a 20 g de brócolis em pó reduziram este parâmetro para valores inferiores a 1,35.

O ensaio 1, com quantidades de 15 g de polidextrose e brócolis em pó e os pontos centrais (ensaios 9, 10 e 11), com 30 g de polidextrose e brócolis em pó apresentaram o melhor desempenho com relação aos parâmetros físicos estudados.

CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO DE PÃES TIPO FORMA ADICIONADOS DE POLIDEXTROSE E AÇAÍ EM PÓ

1.0 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o açaí (*Euterpe oleraceae Mart. Palmae*) tem sido comercializado como suplemento alimentar, alegando ter benefícios para a saúde, tais como rápida perda de peso, facilita a digestão, combate doenças cardiovasculares e prevenir processos de envelhecimento (SCHERICKINGER *et al*., 2010). Também pode apresentar propriedades antioxidantes, atividade antimicrobiana e anti-inflamatórias (ADAMS *et al.*, 2006).

De acordo com Engels (2010), as indústrias de processamento de alimentos tem comercializado o açaí em diversas formas, como em cápsulas, bebidas energéticas, smoothies e pós, principalmente nos Estados Unidos, Europa e Japão.

Dentre os benefícios comprovados, estão a capacidade de reduzir o colesterol, conforme estudo desenvolvido por Souza et al. (2012), onde foi observada a redução dos níveis de colesterol em ratos alimentados com polpa de açaí, resultante do aumento da taxa de excreção biliar e de esteróis, com o aumento da captação de LDL pelo fígado por meio do aumento da regulação do LDL-R.

Fragoso *et al*. (2013) verificaram que o açaí em pó, em proporções de 5%, pode reduzir o desenvolvimento de processos de carcinogênese quimicamente induzido em colón de ratos wistar. Possui efeito neuroprotetor *in vitro*, com a inibição da agregação de β-amilóide, conforme estudo apresentado por Wang *et al.* (2013).

Mostrou-se efetivo contra enfisema pulmonar em ratos quando incorporado em cigarros (VALENCA *et al.*, 2010). Possui atividade anti-inflamatória e prevenir a aterosclerose, o que foi comprovado efeitos benéficos em camundongos (XIE *et al*., 2011).

Hogan *et al.* (2010) estudaram extrato rico em antocianinas extraído de açaí e a sua capacidade anti-proliferativa e antioxidante contra células tumorais C-6 em cérebro de ratos e células MDA-468 humanas de câncer de mama, os autores verificaram que o extrato obteve potencial para atividade anti-proliferativa, porém, não apresentou efeito preventivo sobre as células MDA-468.

A incorporação de açaí em pó em formulações de pães tipo forma pode proporcionar a estes produtos o aumento do valor nutricional, bem como ser agente carreador de compostos bioativos, o que não é comum em pães tipo forma comercializados.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver pães tipo forma incorporados com diferentes níveis de polidextrose e açaí em pó utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

O protocolo experimental utilizado para o estudo do desenvolvimento dos pães processados com a polidextrose e o açaí em pó em pó encontra-se descrito abaixo.

2.1 Ingredientes

Para a produção dos pães foram necessários os seguintes ingredientes:

Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, FINNA®; Açúcar refinado especial ESTRELA®; Fermento Biológico (Saccaromyces Cerevisae) seco instantâneo para massa salgada, Dr. Oetecker®; Gordura Vegetal Hidrogenada PURO SABOR®; Sal refinado CISNE®; Açaí em pó da SUN FOODS® Indústria de Produtos alimentícios Ltda; Polidextrose (Litesse®) fornecido pela DANISCO®.

2.2 Equipamentos e utensílios

- Balança analítica marca OHAUS, modelo Adventurer, capacidade de 210 g.
- Balança eletrônica de cozinha, marca Highone, modelo HO-EL1, capacidade de 5 kg.
- Bandejas de alumínio, de dimensões 30x30 cm.
- Câmara de fermentação.
- Cilíndro de plástico para laminação da massa.
- Embalagens plásticas 100% polietileno.
- Faca para pão 7” de aço inoxidável tramontina.
- Formas de ferro.
- Forno elétrico Continental, modelo Avance turbo.
- Misturadora automática LIEME BP-06, com capacidade para 6 kg.
- Placas de Petri.
- Régula milimetrada.
- Termômetro digital.

2.3 Métodos

Definiu-se como referência para o estudo, formulação padrão de pão tipo forma adotada por Gragnani (2010) com modificações, conforme é apresentado na Tabela 25.

Tabela 25 – Formulação padrão para a produção de pães tipo forma.

Ingredientes (%)*	Formulação Padrão
Farinha de Trigo	100%
Água	55-60%
Gordura Vegetal Hidrogenada	10%
Açúcar	5%
Fermento Biológico Seco	3,3%
Sal	2%

*O percentual dos ingredientes foi baseado na quantidade total de farinha de trigo utilizada.

**A quantidade de água acrescentada às formulações variou em função da absorção de água das farinhas.

2.3.1 Delineamento Experimental

Para o desenvolvimento das formulações de pães tipo forma incorporadas com polidextrose e açaí em pó foi utilizado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). Foi aplicado um planejamento fatorial 2^2 completo, totalizando 11 ensaios, sendo quatro fatoriais (combinação dos níveis -1 e +1), quatro axiais (-α e +α) e três repetições no ponto central (0) para estimativa do erro padrão.

Na tabela 26 são apresentados as faixas de valores codificados e reais utilizados para os ensaios e na tabela 27 é apresentada a matriz do planejamento.

Tabela 26 – Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2^2.

Variáveis Independentes	Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
	-α = -1,41	**-1**	**0**	**+1**	**+α = +1,41**
Polidextrose (g)	0	15	30	45	60
Açaí em pó (g)	0	15	30	45	60
%*	0%	5%	10%	15%	20%

*Em relação a farinha de trigo (base 100)

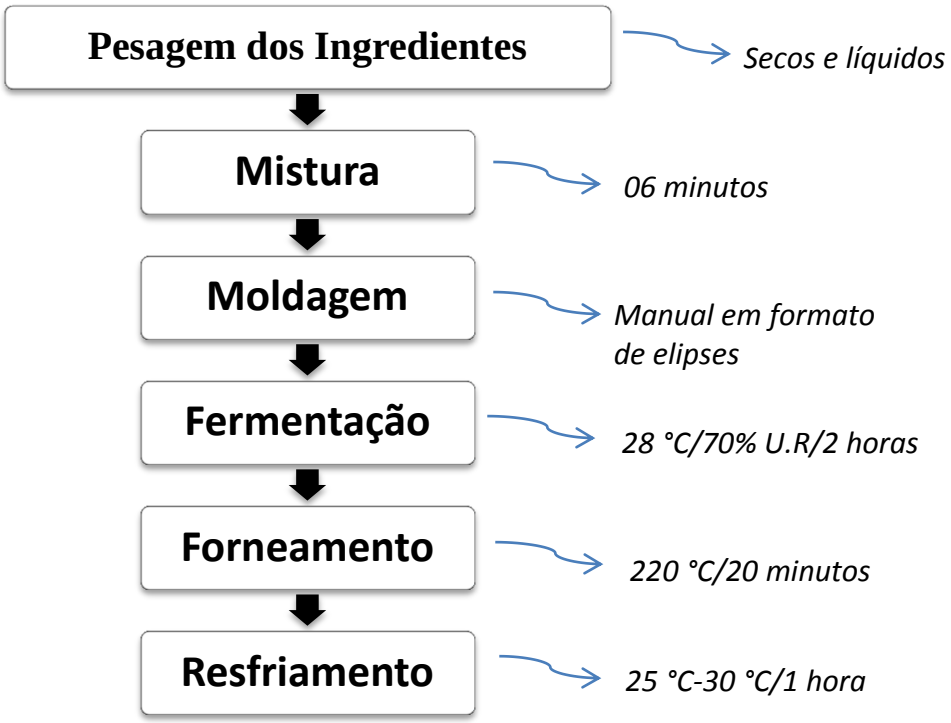
Tabela 27 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais.

Ensaios	Polidextrose	Açaí em pó	Polidextrose (g)	Açaí em pó (g)
1	-1	-1	15	15
2	+1	-1	45	15
3	-1	+1	15	45
4	+1	+1	45	45
5	-1,41	0	0	30
6	+1,41	0	60	30
7	0	-1,41	30	0
8	0	+1,41	30	60
9	0	0	30	30
10	0	0	30	30
11	0	0	30	30

2.4 Processo de obtenção dos pães tipo forma com polidextrose e açaí em pó

A descrição do fluxograma do processo de produção dos pães tipo forma adicionados de polidextrose e açaí em pó encontra-se na figura 12.

Figura 12 - Fluxograma do processamento dos pães tipo forma.



2.5 Avaliação Física das massas e dos pães tipo forma

2.5.1 Avaliação do proceso de fermentação

A expansão das massas durante o processo de fermentação foi avaliada através do procedimento experimental de Perfil Livre de Expansão adotado por Gabric *et al*., (2011).

2.5.2 Volume Específico

O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g), segundo método n° 72-10 da AACC (1995).

2.5.3 Densidade

A densidade foi calculada, em triplicata, através da relação inversa entre o volume deslocado e o peso da amostra assada.

2.5.4 Índice de Expansão

Para o cálculo do índice de expansão foi adaptada a medotologia utilizada por Silva *et al*. (2003) para pão de queijo. As massas foram moldadas na forma esférica para permitir as medições do diâmetro e da altura, com auxílio de régua milimetrada simples. A análise foi realizada em triplicata.

2.6 Avaliação Estatística do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

A avaliação dos resultados dos parâmetros físicos de fator de expansão das massas, volume específico, densidade e índice de expansão dos pães no desenvolvimento das formulações através do delineamento composto central rotacional foi realizada por superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno, análise de variância (ANOVA), teste de médias ao nível de 5% de significância e análise de regressão.

Os resultados das variáveis dependentes, respostas de cada um dos 11 ensaios, foram tratados por análise de regressão múltipla para a obtenção de modelos matemático, para a validação dos modelos foi utilizada a análise de variância (ANOVA). Nos modelos foi observada a

significância da regressão pelo teste F, falta de ajuste não significativa e pelo coeficiente de determinação (R^2).

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação Física dos pães tipo forma adicionados de Polidextrose e Açaí em pó

A tabela 28 apresenta os valores médios dos parâmetros físicos avaliados e os resultados do teste de tukey para os pães tipo forma adicionados de polidextrose e açaí em pó.

Tabela 28 – Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma.

[1]Ensaios	Polidextrose (g)		Açaí em pó (g)		Volume Específico ($mL.g^{-1}$)	Densidade ($g.mL^{-1}$)	Índice de Expansão	VEF máximo (cm^3)
	COD	RE	COD	RE				
1	-1	15	-1	15	$3,33^{a}$±0,09	$0,30^{f}$±0,01	$1,31^{c}$±0,01	$1,86^{ef}$±0,03
2	+1	45	-1	15	$3,07^{d}$±0,02	$0,34^{df}$±0,00	$1,29^{c}$±0,00	$1,70^{ef}$±0,04
3	-1	15	+1	45	$2,07^{c}$±0,02	$0,49^{c}$±0,00	$1,15^{ad}$±0,01	$1,10^{ab}$±0,01
4	+1	45	+1	45	$1,72^{f}$±0,04	$0,56^{b}$±0,01	$1,07^{b}$±0,01	$0,38^{d}$±0,02
5	-1,41	0	0	30	$2,83^{b}$±0,03	$0,35^{df}$±0,01	$1,19^{d}$±0,00	$1,48^{ae}$±0,02
6	+1,41	60	0	30	$2,46^{eg}$±0,03	$0,40^{e}$±0,00	$1,19^{d}$±0,01	$0,55^{cd}$±0,02
7	0	30	-1,41	0	$3,10^{d}$±0,02	$0,30^{f}$±0,00	$1,28^{c}$±0,01	$2,01^{f}$±0,02
8	0	30	+1,41	60	$1,58^{f}$±0,02	$0,61^{a}$±0,00	$1,12^{ab}$±0,00	$0,87^{bc}$±0,05
9	0	30	0	30	$2,55^{e}$±0,03	$0,39^{de}$±0,01	$1,19^{d}$±0,01	$2,06^{f}$±0,04
10	0	30	0	30	$2,34^{g}$±0,01	$0,40^{e}$±0,00	$1,20^{d}$±0,01	$2,04^{f}$±0,01
11	0	30	0	30	$2,33^{g}$±0,01	$0,41^{e}$±0,00	$1,19^{d}$±0,00	$2,08^{f}$±0,04

COD: Valores Codificados; RE: Valores Reais (g).

[1]Letras distintas em uma mesma coluna apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

O volume específico dos pães adicionados de polidextrose e açaí em pó foram superiores aos encontrados para as formulações adicionadas de brócolis e tomate em pó, o maior valor foi observado para o ensaio 1 (com 15 g de polidextrose e açaí em pó), com 3,33 mL/g, quando a adição de polidextrose foi de 30 g e 60 g de açaí em pó, o volume específico foi de 1,58 mL/g, o menor valor observado. Os resultados do volume refletiram diretamente na densidade dos pães, que variou de 0,30 g/mL a 0,61 g/mL, para os ensaios citados anteriormente.

Para o índice de expansão os valores variaram de 1,07 a 1,31 e o fator de expansão variou de 0,87 cm^3 para o ensaio 8 e 1,86 cm^3 para o ensaio 1. O fator de expansão foi maior para os ensaios correspondente ao ponto central, obtendo valores próximos a 2,04 cm^3, seguido pelo ensaio 1, com 1,86 cm^3.

Filipovic *et al*. (2010) verificaram que a adição de 5% de inulina promove decréscimo no volume específico de pães, quando a polidextrose e açaí em pó foram incorporados nestas proporções, promoveram o maior volume específico estudado, tendo efeito antagônico ao da inulina.

As fibras podem comprometer a rede protéica do glúten e reduzir o volume do pão. (COLLAR *et al*., 2007), o que foi observado neste estudo, quanto maior foram as incorporações de polidextrose e açaí em pó, menor foi o volume específico apresentado pelos pães.

3.1.1 Efeito da polidextrose e do açaí em pó no volume específico

A tabela 29 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e p para o parâmetro volume específico, notando-se a influência significativa ($p \leq 0,05$) da polidextrose e do açaí em pó em seus fatores lineares e quadráticos, a interação entre as variáveis não foi significativa, ao nível de 5% de significância, obtendo elevado valor de p (0,45).

Tabela 29 – Coeficientes de regressão para a resposta volume específico.

	Coeficientes de regressão	**Erro Puro**	**t (24)**	**p – valor**
Média*	3,681579	0,129732	28,37844	0,000000
P(L)*	0,019799	0,004890	-4,04909	0,000065
P(Q)*	0,000249	0,000054	4,64287	0,000003
A(L)*	-0,023207	0,004890	-4,74593	0,000079
A(Q)*	-0,000092	0,000054	-1,70747	0,000041
P x A	-0,000089	0,000118	-0,75414	0,458099

P = Polidextrose; A = Açaí em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

De acordo com Fontes (2012), o efeito estimado de uma variável indica o quanto esta exerce influência sobre a resposta. Desta forma, quanto maior for o seu valor, maior será a sua influência sobre a resposta. Um efeito positivo sobre a resposta indica que, ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, o valor da resposta aumenta. No caso do efeito ser negativo, indicará uma diminuição da resposta.

A análise de variância (tabela 30) correspondente ao modelo matemático gerado indicou que a variação explicada explica 90,74% dos dados, o modelo também foi validado através do teste F, onde o F_{calc} foi 345 vezes maior que o F_{tab}, a falta de ajuste não foi significante, portanto o modelo é adequado para explicar esta variável resposta em função das variáveis independentes.

Tabela 30 – ANOVA para a resposta volume específico.

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	8,611	3	2,158	1020,285
Resíduos	0,487	27	0,221	
Falta de Ajuste	0,689	3	0,229	2,52
Erro Puro	0,202	24	0,008	
Total	9,989	30		

% variável explicada (R^2) = 0,90743; $F_{tab\ (3;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,96.

A partir dos coeficientes de regressão foi permitido gerar o modelo matemático para explicar o comportamento do volume específico dos pães em função da adição da polidextrose e do açaí em pó, conforme exposto na equação 16.

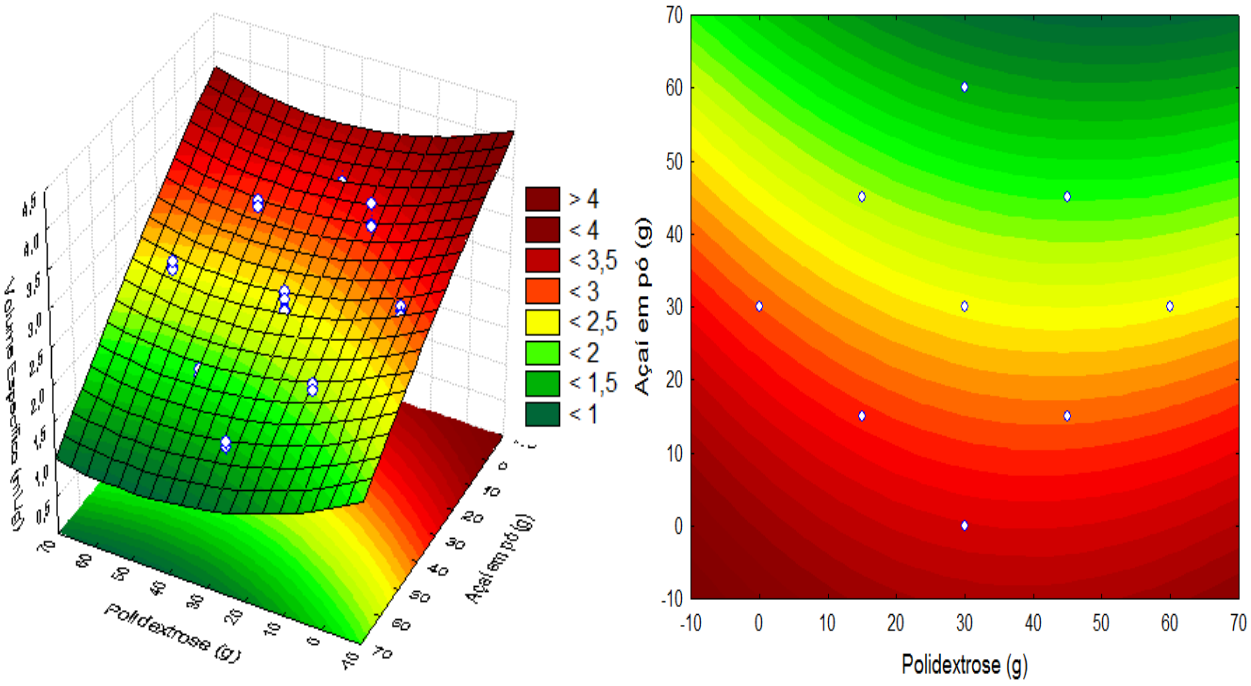
$$Volume\ Específico = 3{,}68 + 0{,}02(\boldsymbol{P}) + 2{,}4x10^{-4}(\boldsymbol{P})^2 - 0{,}02(\boldsymbol{A}) - 9{,}2x10^{-4}\,(\boldsymbol{A})^2 \qquad (16)$$

P: Polidextrose; A: Açaí em pó.

Por estes resultados, verifica-se que os danos à rede do glúten pela ação polidextrose não seria necessariamente o motivo para a redução do volume específico, uma vez que não foi observada uma relação direta entre a quantidade de polidextrose adicionada e a redução do volume específico dos pães tipo forma, tendo obtido valores superiores a 3,00 mL/g.

A figura 13 apresenta a superfície de resposta e curva de contorno para o volume específico.

Figura 13 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre o volume específico.



Se apenas o açaí em pó fosse adicionado nos produtos, podemos verificar que a incorporação de quantidades superiores a 25 g reduz o volume para valores inferiores a 3,00 mL/g, quando a adição é de 60 g, o volume específico decresce para valores inferiores a 2,00 mL/g, o que entra em concordância com o modelo matemático gerado, onde o polidextrose produziu efeitos positivos, tanto nos modelos linear e quadrático e o açaí em pó efeitos negativos.

O aumento do volume do pão é influenciado pela capacidade de absorção de água dos constituintes da farinha de trigo e pela capacidade de retenção do gás formado pela massa (CURIC et al. 2002), a incorporação de ingredientes não formadores de glúten enfraquecem a farinha, o que justifica o menor volume produzido nos pães com maior quantidade destes ingredientes.

Ávila (2012) desenvolveu pães sem glúten, com a adição de farinha desengordurada de baru, amêndoa de bocaiúva e amêndoa de pequi, avaliando o volume específico dos pães, obteve valores variando de 1,35 mL/g a 1,72 mL/g, os ensaios 4 e 8 apresentaram valores inferiores ao máximo encontrado pelo autor, o que significa que a adição de polidextrose e açaí em pó, em quantidades combinadas de 45 g, totalizando adição de 90 g, ou a incorporação de 30 g de polidextrose e 60 g de açaí em pó, prejudicaram a matriz do glúten ao ponto de atingir valores de volume específico de pães sem glúten.

Silva (2009) concluiu que a farinha de soja combinada com a adição vital de glúten produzem efeito significativo sobre o volume específico de pães de forma, sendo os efeitos lineares da farinha de soja e do glúten vital, bem como a interação entre ambos significativa, o efeito negativo foi apresentado pela farinha de soja. A adição de glúten pode compensar os danos ocasionados pela incorporação de ingredientes funcionais não formadores da matriz protéica.

Silva *et al*. (2009) ao estudarem a incorporação da farinha de okara na qualidade de pães tipo forma, também encontraram a redução do volume específico dos produtos à medida em que as quantidades de farinha de okara foram sendo incorporadas, havendo uma redução de 1,8 vezes com relação ao padrão para a formulação adicionada de 15% da farinha de okara.

3.1.2 Efeito da polidextrose e do açaí em pó na densidade

A tabela 31 fornece os coeficientes de regressão, erro puro, valores de t e p para a densidade dos pães tipo forma adicionados de polidextrose e açaí em pó.

Os fatores lineares e quadráticos da polidextrose foram significativos, sendo o seu efeito negativo, portanto, reduzindo os valores de densidade, e para o açaí, apenas o fator quadrático, com efeito positivo, elevando a densidade, o que era esperado, uma vez que para o volume específico o efeito foi negativo, e, se o volume específico dos pães decresce, ocorre um aumento da densidade.

A análise de variância (tabela 32) correspondente ao modelo para a densidade indica que a variação explicada foi de 94,69%, o modelo foi validado pelo teste F, onde a condição $F_{calc} > F_{tab}$ foi contemplada, a falta de ajuste não apresentou efeito significativo, portanto, o modelo proprosto, apresentado na equação 17, é válido.

Tabela 31 – Coeficientes de regressão para a resposta densidade.

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	0,258655	0,024270	10,65757	0,000000
P(L)*	-0,002122	0,000915	-2,31955	0,000014
P(Q)*	-0,000031	0,000010	-3,09256	0,000076
A(L)	0,001011	0,000915	1,10490	0,280156
A(Q)*	0,000063	0,000010	6,31620	0,000002
P x A	0,000030	0,000022	1,34374	0,191599

P = Polidextrose; A = Açaí em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.

*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 32 – ANOVA para a resposta densidade.

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	0,288	4	0,096	977,746
Resíduos	0,016	27	0,003	
Falta de Ajuste	0,009	3	0,003	1,99
Erro Puro	0,007	24	0,000	
Total	0,320	31		

% variável explicada (R^2) = 0,94695; $F_{tab\ (4;\ 27;\ 0,05)} = 2,73$.

$$D = 0,25 - 2,1x10^{-3}(\boldsymbol{P}) - 3,1x10^{-5}(\boldsymbol{P})^2 + 6,5x10^{-5}\,(\boldsymbol{A}) \qquad (17)$$

P: Polidextrose; A: Açaí em pó.

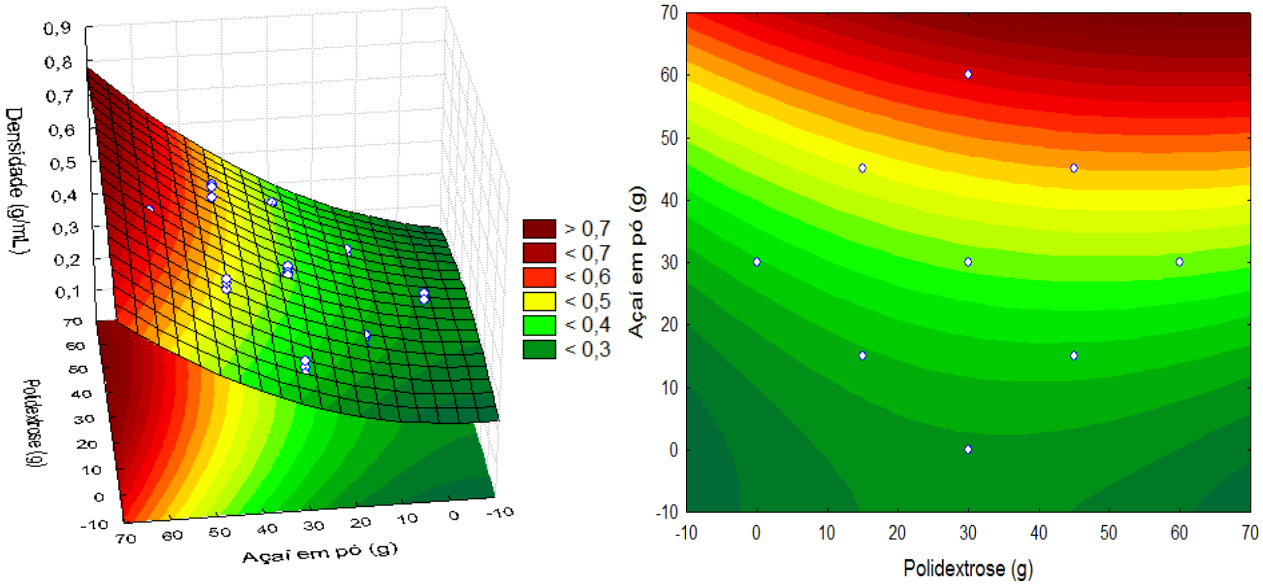
Através das superfícies de respostas e curvas de contorno geradas pelo modelo (figura 14), observou-se que a adição de polidextrose não produziu efeitos negativos para a densidade dos pães tipo forma, em qualquer adição dentro da faixa estudada.

O açaí em pó em quantidades de até 30 g forneceu valores de densidade satisfatórios com os praticados na panificação. Quantidades de açaí em pó superiores a 50 g fornece prejuízos à densidade dos pães, elevando os valores para uma faixa superior a 0,50 g/mL. Seis ensaios obtiveram resultados de densidade dentro da faixa considerada ótima (entre 0,20 g/mL a 0,40 g/mL), que foram os ensaios 1, 2, 4, 5, 7 e os pontos centrais.

Shuda *et al*. (2007) relatam o aumento da densidade de pães contendo fibras de maçã, como resultado da capacidade de absorção de água das fibras, o que pode ter uma explicação para o

aumento da densidade dos pães adicionados de polidextrose e açaí em pó, uma vez que a primeira possui comportamento de fibra pré-biótica e o açaí é rico em fibras, conforme argumenta Portinho *et al*. (2012). Fieli *et al.* (2013) observaram aumento da densidade dos pães à medida em que a incorporação de fibras foi elevada, em detrimento do volume específico dos produtos.

Figura 14 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre a densidade.



3.1.3 Efeito da polidextrose e do açaí em pó no índice de expansão (IE)

A tabela 33 fornece os coeficientes de regressão, erro puro e valores t e p para o índice de expansão dos pães tipo forma contendo polidextrose e açaí em pó.

O fator linear do açaí em pó e a interação entre as variáveis foram os únicos que produziram efeito significativo para o índice de expansão dos pães, tendo efeito negativo.Para verificar a validade do modelo matemático proposto pela análise de regressão foi aplicado a análise de variância, que é apresentada na tabela 34.

Tabela 33 – Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE).

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	1,279708	0,030171	42,41505	0,000000
P(L)	0,001490	0,001137	1,31046	0,202443
P(Q)	-0,000004	0,000012	-0,30852	0,760352
A(L)*	-0,002399	0,001137	-2,10925	0,000442
A(Q)	0,000005	0,000012	0,43348	0,668534
P x A*	-0,000059	0,000027	-2,16181	0,040824

P = Polidextrose; A = Açaí em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.
*fatores estatisticamente significativos a 95% de cofiança ($p \leq 0,05$).

A análise de variância correspondente ao modelo matemático para o índice de expansão apresentou variação explicada de 74,19% dos dados e o F_{calc} foi superior ao F_{tab} em 92 vezes, sendo adequados para a obtenção do mesmo, o modelo é apresentado na equação 18.

Tabela 34 – ANOVA para a resposta índice de expansão (IE).

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	0,124	3	0,041	272,714
Resíduos	0,042	27	0,010	
Falta de Ajuste	0,032	3	0,010	2,67
Erro Puro	0,010	24	0,000	
Total		30		

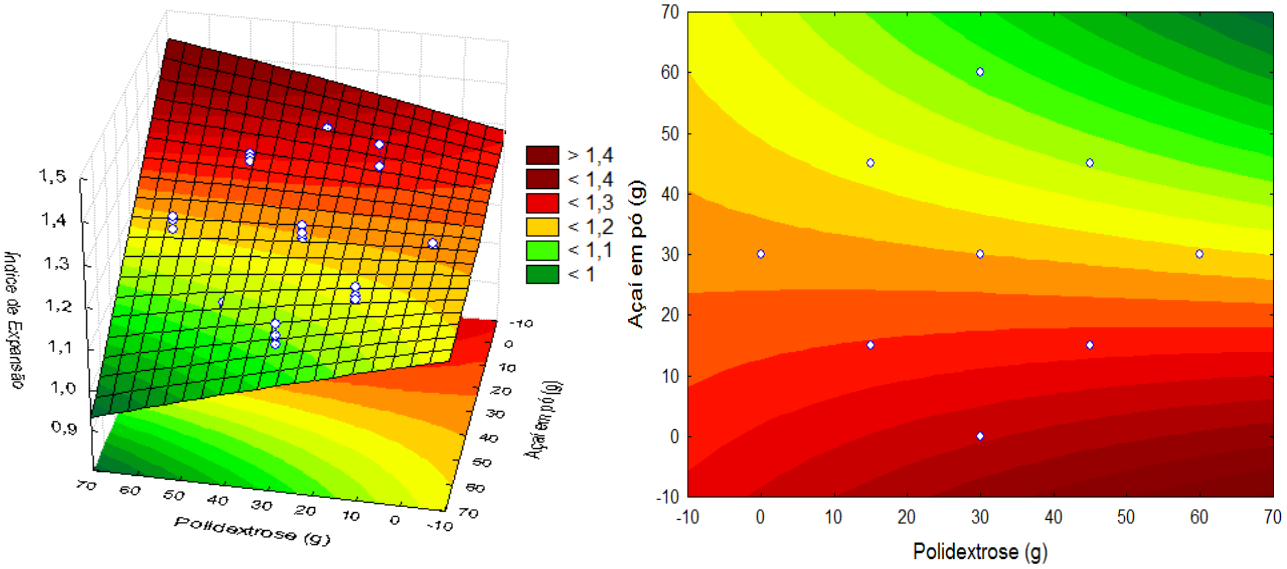
% variável explicada (R^2) = 0,74194; $F_{tab\ (3;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,96.

$$\text{Índice de Expansão} = 1{,}27 - 2{,}4x10^{-3}(\boldsymbol{A}) - 5{,}9x10^{-5}(\boldsymbol{PA}) \qquad (18)$$

P: Polidextrose; A: Açaí em pó.

A figura 15 apresenta as superfícies de resposta e curvas de contorno para o índice de expansão em função da adição da polidextrose e açaí em pó.

Figura 15 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre o índice de expansão.



Através das superfícies de respostas e curvas de contornos geradas foi possível identificar que a adição da polidextrose em quantidades superiores a 35 g aumentaram o índice de expansão dos produtos, comportamento esperado, uma vez que segundo Pinheiro e Penna (2004), a

polidextrose, além de ser probiótico, também colabora para o aumento da expansão das massas, tendo ação como agente de volume.

O índice de expansão dos pães foi mais sensível à adição do açaí em pó, uma vez que a sua adição, em diferentes quantidades, promoveu redução no índice de expansão, quando esta foi até 10 g, forneceu valores entre 1,30 a 1,40, quando foi adicionada 30 g, os IE's obtidos foram inferiores a 1,20. E a adição de polidextrose, em qualquer quantidade, promoveu índices de expansão supoeriores a 1,20.

3.1.4 Efeito da adição da polidextrose e do açaí em pó no fator de expansão das massas

A tabela 35 fornece os coeficientes de regressão, valores de erro puro, t e p para o fator de expansão dos pães adicionados de polidextrose e açaí em pó. Mostra que tanto os fatores lineares quanto os quadráticos da polidextrose e do açaí em pó produziram efeito no fator de expansão das massas, sendo o quadrático da polidextrose e do açaí, bem como o de interação entre as duas variáveis causando efeito negativo, ou seja, reduzindo o VEF conforme o aumento da sua adição.

Tabela 35 – Coeficientes de regressão para a resposta fator de expansão máximo (VEF).

	Coeficientes de regressão	Erro Puro	t (24)	p – valor
Média*	0,950117	0,222770	4,2650	0,000269
P(L)*	0,070078	0,008397	8,3460	0,000000
P(Q)*	-0,001111	0,000092	-12,0566	0,000000
A(L)*	0,032596	0,008397	3,8821	0,000709
A(Q)*	-0,000639	0,000092	-6,9314	0,000000
P x A*	-0,000619	0,000202	-3,0560	0,005431

P = Polidextrose; A = Açaí em pó; L = fator linear; Q = fator quadrático.

*fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 36 – ANOVA para a resposta fator de expansão máximo (VEF).

Fontes de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	11,673	5	3,891	469,091
Resíduos	2,146	27	0,540	
Falta de Ajuste	1,549	3	0,516	1,85
Erro Puro	0,597	24	0,024	
Total	15,965	32		

% variável explicada (R^2) = 0,83175; $F_{tab\ (5;\ 27;\ 0,05)}$ = 2,57.

A análise de variância foi utilizada para a validação do modelo e é apresentada na tabela 36. A variável explicada foi de 83,17% e o F calculado foi superior ao tabelado, a falta de

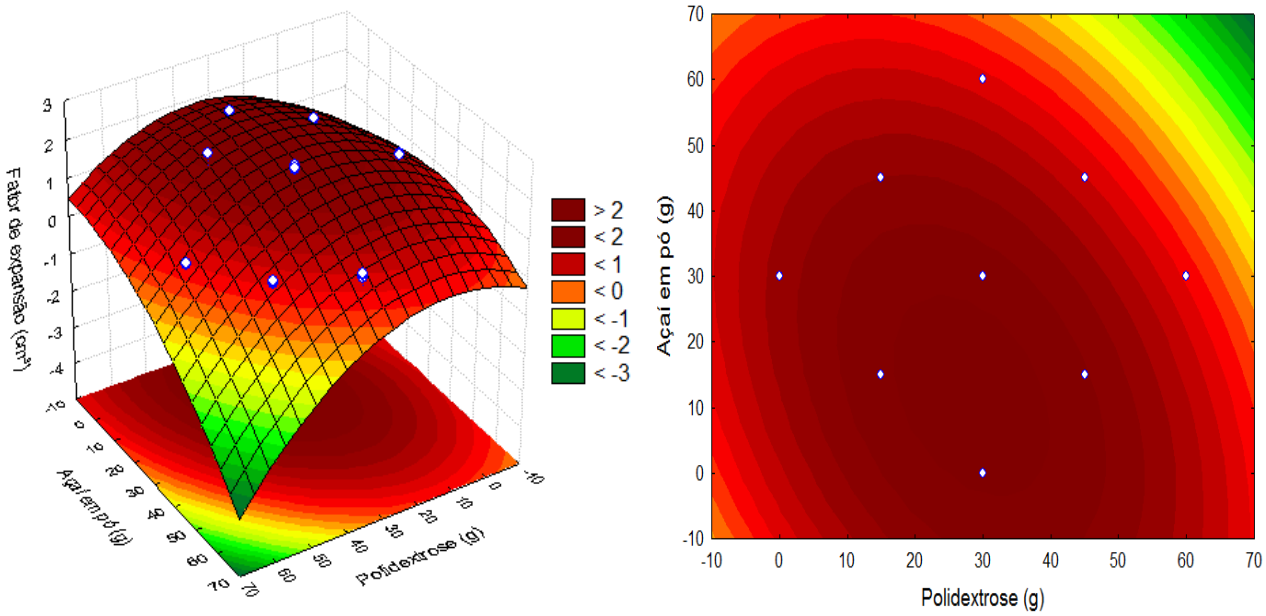
ajuste não apresentou efeito significativo, portanto, o modelo é adequado para explicar o comportamento do fator de expansão com relação à incorporação de polidextrose e açaí em pó. O modelo matemático é apresentado pela equação 19.

$$VEF = 0{,}95 + 0{,}07(\boldsymbol{P}) - 1{,}1x10^{-3}(\boldsymbol{P})^2 + 0{,}03\ (\boldsymbol{A}) - \ 6{,}4x10^{-4}\ (\boldsymbol{A})^2 - 6{,}2x10^{-4}\ (\boldsymbol{PA}) \qquad (19)$$

P: Polidextrose; A: Açaí em pó.

A figura 16 apresenta as superfícies de resposta e curvas de contorno do efeito produzido pela incorporação de polidextrose e açaí em pó em diferentes níveis no fator de expansão das massas.

Figura 16 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da polidextrose e do açaí em pó sobre o fator de expansão máximo (VEF) das massas.



Através da análise da superfície de resposta e da curva de contorno geradas pelo modelo, percebe-se que o uso de polidextrose em níveis até 45 g e açaí em pó até 30 g, promoveram fatores de expansão dentro da região ótima, com valores acima de 2,00 cm³. Os ensaios correspondentes aos pontos centrais, 1 e 5 e 7. Valores superiores 50 g para as duas variáveis promovem fator de expansão negativos, o que não é desejado.

4.0 CONCLUSÃO

Quantidades superiores a 25 g de açaí em pó ocasionaram volumes específicos inferiores a 3,00 mL/g. A polidextrose não prejudicou o volume específico dos pães, o mesmo ocorreu para a densidade, porém o açaí em quantidades superiores a 30 g, a elevou.

O índice de expansão mostrou-se mais sensível a adição do açaí em pó, onde a sua adição promoveu a sua redução. Para o fator de expansão das massas, a adição de até 45 g de polidextrose e 30 g de açaí em pó proporcionaram valores superiores a 2,00 cm^3.

As formulações com melhor desempenho nos parâmetros físicos foram o ensaio 1, adicionado de 15 g de polidextrose e açaí em pó e os pontos centrais (ensaios 9, 10 e 11), adicionados de 30g de polidextrose e açaí em pó.

CAPÍTULO V – OBTENÇÃO DE PÃES TIPO FORMA COM INGREDIENTES FUNCIONAIS A PARTIR DE MASSAS CONGELADAS

1.0 INTRODUÇÃO

O congelamento e o armazenamento congelado de massas para a produção de pães, bem com o o uso do congelamento em diversas etapas da produção dos pães prejudica a qualidade dos produtos, conforme expostos por Meziani *et al.* (2012) e Ribotta *et al.* (2008). Shi et al. (2013) afirmam que o congelamento deteriora a qualidade panificável da massa de pão congelada.

A viabilidade da levedura neste processo é um dos aspectos importantes. Sasano et al. (2012) explica que as células de levedura estão expostas à muitos estresses associados ao processo de panificação, como o congelamento e descongelamento, o ar de secagem e elevadas concentrações de soluto como sais e açúcar. As etapas que envolvem o uso de baixas temperaturas podem ocasionar graves danos para as células de levedura e diminuir a capacidade fermentativa das massas.

O glúten, a rede protéica formada pelas proteínas gliadinas e gluteninas presentes na farinha de trigo também é afetada durante o congelamento das massas, conforme explica Rasanen *et al*. (1995), as pressões de expansão geradas pela formação de grandes cristais de gelo que se formam durante o processo de congelamento de alimentos pode danificar a estrutura do glúten, reduzindo a qualidade da farinha. Panadero *et al.* (2005) também relata que o processo de congelamento enfraquece a estrutura da massa, diminuindo a capacidade de retenção de CO_2.

Portanto, devido a estes fatores, os produtos de panificação provenientes de massas congeladas são geralmente de menor qualidade do que os preparados a partir de massas frescas, os pães possuem menor volume e necessitam de tempo prolongado de fermentação (NILÜFER *et al*., 2008).

Yi et al. (2009) afirmam que as alterações prejudicais que ocorrem durante o congelamento e armazenamento congelado podem ser contornados em vários graus por adição de aditivos alimentares de origem química ou farinhas especiais. Asghar *et al*. (2009) sugerem que modificações em formulações de produtos de panificação podem evitar ou minimizar os danos produzidos durante o congelamento e estocagem congelada das massas.

O uso de ingredientes funcionais em pães tipo forma, pode, além de melhorar o valor nutricional dos produtos, fornecer benefícios tecnológicos, promovendo a redução dos danos causados à estrutura do glúten e as leveduras ocasionados pelo congelamento das massas.

O presente estudo teve como objetivo estudar a obtenção de pães tipo forma com ingredientes funcionais através da tecnologia de massas congeladas, avaliando o efeito da estocagem congelada por até 60 dias nos parâmetros de qualidade dos pães.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O protocolo experimental utilizado para o o estudo da obtenção dos pães processados com ingredientes funcionais pela tecnologia de massas congeladas encontra-se descrito abaixo.

2.1 Ingredientes

Para a produção dos pães foram necessários os seguintes ingredientes:

Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, FINNA®; Açúcar refinado especial ESTRELA®; Fermento Biológico (Saccaromyces Cerevisae) seco instantâneo para massa salgada, Dr. Oetecker®; Gordura Vegetal Hidrogenada PURO SABOR®; Sal refinado CISNE®; Tomate em pó, brócolis em pó e açaí em pó da SUN FOODS® Indústria de Produtos alimentícios Ltda; Polidextrose (Litesse®) fornecido pela DANISCO®.

2.2 Equipamentos e utensílios

- Balança analítica marca OHAUS, modelo Adventurer, capacidade de 210 g.
- Balança eletrônica de cozinha, marca Highone, modelo HO-EL1, capacidade de 5 kg.
- Bandejas de alumínio, de dimensões 30x30 cm.
- Câmara de fermentação.
- Cilíndro de plástico para laminação da massa.
- Colorímetro Digital Minolta Modelo CR-300.
- Dessecador Pyrex, modelo 200 mm.
- Destilador de Nitrogênio, marca Tecnal, modelo TE 036/01.
- Digestor de proteína, marca Tecnal, modelo TE 040/25.
- Embalagens plásticas 100% polietileno.
- Estuda com circulação e renovação de ar QUIMIS®
- Faca para pão 7” de aço inoxidável tramontina.
- Formas de ferro.

- Forno elétrico Continental, modelo Avance turbo.
- Freezer horizontal ESMALTEC®.
- Misturadora automática LIEME BP-06, com capacidade para 6 kg.
- Forno Mufla, marca QUIMIS®
- Placas de petri.
- Régula milimetrada.
- pHmetro TEC-5, marca TECNAL.
- Texturômetro Brookfield CT3 e respectiva ponteira cilíndrica com 38,1 mm de diâmetro.
- Termopares Tipo "T"
- Termômetro digital.

2.3 Métodos

2.3.1 Caracterização das matérias-primas e dos pães tipo forma

A farinha de trigo, farinhas mistas, ingredientes funcionais e os pães tipo forma com a adição de polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó utilizados neste estudo foram caracterizadas quanto à composição centemisal: umidade, cinzas, proteínas, lipídios totais e carboidratos totais.

2.3.1.1 Umidade

Determinação de acordo com o método nº 44-15 da American Associaton of Cereal Chemistry (AACC), 1995. Através de secagem em estufa de circulação forçada de ar até peso constante, com temperatura de 105 °C.

2.3.1.2 Cinzas

Segundo a metodologia descrita pela AACC (1995) método nº 08-01, com carbonização das amostras em chama direta e posterior calcinação em mufla a 550 ºC por 12 horas.

2.3.1.3 Proteínas

Determinação através da metodologia da AACC (1995) método nº 46-13, utilizando o método de determinação de nitrogênio total de Kjeldahl. A proteína bruta foi calculada utilizando-se o fator 5,70.

2.3.1.4 Lipídios Totais

Segundo metodologia AACC (1995) método nº 30-25, sendo extração direta da amostra com hexano em extrator contínuo tipo Soxhlet. As amostras foram colocadas na quantidade de aproximadamente 3 g em cartuchos de extração Soxhlet, envolvidas em um pedaço de algodão. O cartucho contendo a amostra foi colocado no extrator. A amostra permaneceu cerca de 24 horas destilando ao refluxo. Após a destilação, o hexano foi removido do balão por evaporação. O balão com o resíduo foi seco em estufa, a 105°C, por cerca de 1 hora. O resíduo seco foi resfriado em dessecador até temperatura ambiente e pesado.

2.3.1.5 Carboidratos totais

As quantidades de carboidratos (C) presentes nas amostras serão calculadas por diferença através da equação 20.

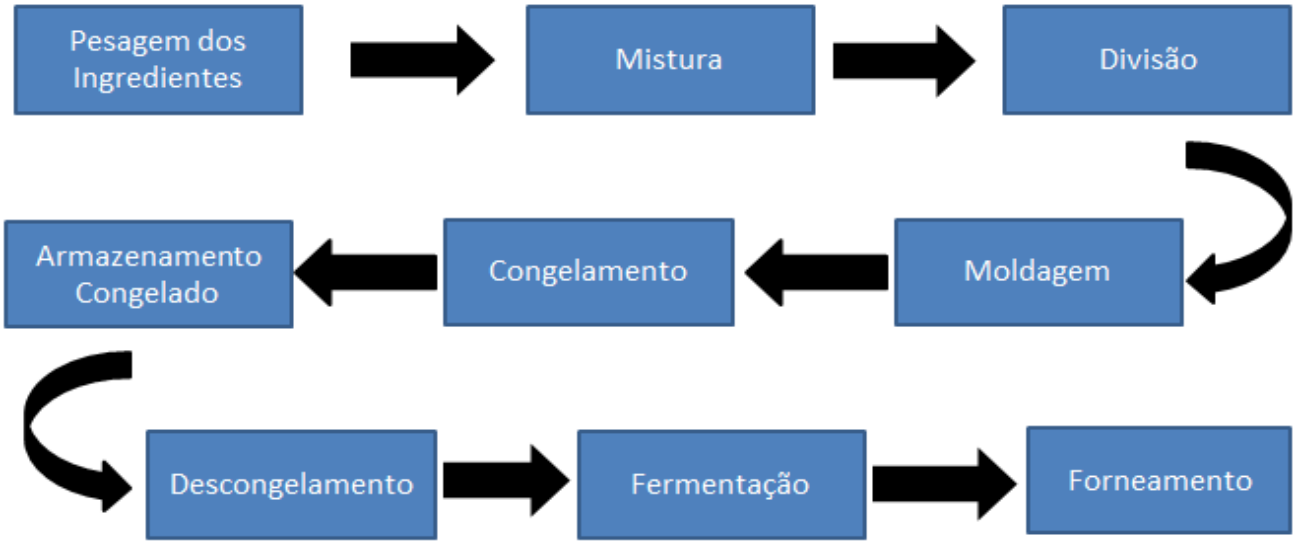
$$\text{C arboidratos totais } (\%) = 100\% - (\ \%\text{ de proteínas} + \%\text{ de lipídios totais} + \%\text{ de cinzas} + \%\text{ de umidade das amostras}) \quad (20)$$

3.8 Procedimento para a elaboração das massas cruas congeladas

A produção dos pães pelo processo de massas cruas congeladas seguiu procedimento semelhante ao dos pães convencionais até a etapa de moldagem, sendo apresentado na figura 17.

A água utilizada no processo de obtenção das massas para posterior congelamento teve sua temperatura aferida com termômetro digital e encontrou-se abaixo de 10 ºC, com o objetivo de reduzir a temperatura da massa, que tende a aumentar devido à força de atrito provocada pela ação mecânica das pás ao longo da etapa de mistura, sendo assim, a água gelada controla a temperatura da massa e retarda o processo de fermentação antes do congelamento da massa. Após a moldagem manual na forma de elipses, as massas foram inseridas em sacos de polietileno de forma individual e acomodadas em Freezer Horizontal Esmaltec® para serem congeladas e permanecerem estocadas até a sua utilização. A temperatura de armazenamento variou de –13 ºC a –18 °C durante os períodos de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. As massas congeladas, quando completados os respectivos tempos para cada período de realização das análises, foram removidos do freezer e desembaladas. Foram colocadas sobre bandejas de alumínio e o descongelamento ocorreu em estufa de circulação forçada de ar a 30 ºC±2 °C durante duas horas. A fermentação ocorreu a 28 ºC±2 °C e 60% de umidade relativa durante duas horas. Após este processo, os pães foram forneados sem vapor a 220 ºC durante 20 minutos e resfriados à temperatura ambiente.

Figura 17 - Fluxograma de produção de massa crua congelada.

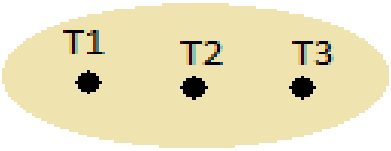


2.5 Avaliação das características de qualidade das massas

2.5.1 Determinação das curvas de congelamento

Foram obtidas curvas de temperatura durante o congelamento e armazenamento congelado das massas durante 24 horas através de termopares "Tipo T" inseridos no centro geométrico e nas extremidades da massa de pão, conforme ilustra a figura 18. O sistema de monitoramento e armazenamento de dados utilizado foi o Data Logger® da empresa NOVUS.

Figura 18 – Localização dos termopares nas massas para a obtenção das curvas de temperatura.



T1, T2 e T3: Termopares.

2.5.2 Determinação de células viáveis de levedura

A determinação de células viáveis de levedura foi executada de acordo com metodologia mencionada por Downes e Ito (2001). Utilizou-se massas de aproximadamente 25 gramas que foram homogeneizadas em erlenmeyers contendo 225 mL de água peptonada 0,1%, realizando-se diluições até 10^{-6}, as determinações foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do DETAL da UFC. As diluições foram inoculadas através de espalhamento em

placas de Petri contendo meio Ágar Sabouraud (2% glicose, 2% ágar, 1% peptona, 0,05% cloranfenicol), as placas foram incubadas em estufas à 30ºC pelo período de 03 dias.

Após este período foi realizada a contagem das placas e o valor calculado com base no peso da amostra de massa, sendo os resultados expressos em Unidades Formadoras de Colônia por grama de massa (UFC/g).

2.5.3 Conteúdo de água inicial das massas

Determinação por gravimetria em estufa de circulação forçada de ar a 130ºC±1ºC durante duas horas, após o seu descongelamento quando necessário, segundo método nº 45-15ª da AACC (1995).

2.5.4 Avaliação do processo de fermentação

A expansão das massas durante o processo de fermentação foi avaliada através do procedimento experimental de Perfil Livre de Expansão desenvolvido por Gabric *et al.* (2011).

2.5.5 Volume das massas produzidos durante a fermentação

Porções de massa de, aproximadamente, 15 gramas, foram colocadas em provetas de 100mL previamente esterilizadas para medição dos volumes das massas durante o processo de fermentação, que foi conduzido em câmara de fermentação regulada em 30ºC±2°C com 70% de umidade relativa por duas horas. Para o cálculo do volume produzido (ΔV) utilizou-se a subtração entre o volume final produzido, após duas horas de fermentação, e o volume inicial das massas na provetas, as medidas foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em mL.

2.5.6 Volume Específico

O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g), segundo método n° 72-10 da AACC (1995).

2.5.7 Densidade

A densidade foi calculada, através da relação inversa entre o volume deslocado e o peso da amostra assada.

2.5.8 Ìndice de Expansão

Para o cálculo do índice de expansão foi adaptada a medotologia utilizada por Silva *et al*. (2003) para pão de queijo.

2.5.9 pH

Fatias de pães foram trituradas em multi-processador Walita, modelo HL3251 e posteriormente colocados em béqueres de 50mL contendo água destilada para a leitura direta através do pHmetro (TEC-5 TECNAL), conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2005).

2.5.10 Acidez Total

A determinação da acidez foi realizada conforme descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2005). Foram pesados aproximadamente 10 (dez) gramas das amostras, sendo diluídas em 100mL de água destilada em erlenmeyer de 250mL, foram adicionadas de 2 a 4 gotas do indicativo fenolftaleína, as amostras foram tituladas com solução NaOH 0,1 N até o ponto de viragem, com três repetições e o resultado foi expresso em % de acidez em solução molar.

2.5.11 Análise de cor instrumental do miolo

A determinação da cor do miolo dos pães foi determinada utilizando Colorímetro Digital Minolta modelo CR-300 (Osaka, Japão), com 8mm de área de mensuração e geomeria d/0° no sistema CIELab, com leituras realizadas em ângulo de visão de 10° e iluminante padrão D65. Os parâmetros medidos foram luminosidade (L*), coordenadas de cromaticidade (a* e b*), croma (C*) e o ângulo de tonalidade (h_{ab}). A avaliação de cor do miolo foi realizada no centro da fatia central do pão com espessura de 20mm. A Luminosidade L* possui escala de 0 a 100, do branco ao preto, respectivamente. A coordenada de cromaticidade *, com valores positivos indica a direção para cor vermelha e com valores negativos para a cor verde; já a cromaticidade b*, tendo valores positivos indica direção da cor amarela e com valores negativos para a direação da cor azul. O Croma representa a saturação da cor, avaliando os parâmetros a* e b* simultaneamente. E o h_{ab} representa o ângulo de tonalidade que considera também as coordenadas polares a* e b*. Foram utilizados três pães para cada formulação com cinco leituras de cada um dos parâmetros.

2.5.12 Análise de imagem da estrutura do miolo

As estruturas dos miolos dos pães foram avaliadas através de imagens digitais segundo metodologia descrita por Rosales-Juárez *et al*. (2008); Gonzales-Barrón e Butler (2006) com modificações. As imagens foram obtidas por digitalização em resolução de 550 dpi em scanner HP ScanJet 2400, na área central do miolo com resolução de 900x900 pixels. As imagens obtidas foram analisadas com o software ImageJ® 1.47v (National Institute of Health, USA). As Imagens foram salvas como arquivos em formato de jpeg e foram cortadas para um campo de vista de 900x900 mm, as imagens coloridas capturadas foram convertidas para 8-bit em tons de cinza, onde foi realizada a limiarização por meio do algorítimo de Otsu. A partir disto, foi possível obter os valores do número de alvéolos, área, perímetro e circularidade dos poros.

2.5.13 Análise de perfil de textura (TPA)

Os pães foram previamente cortados com o auxílio de faca cerrilhada, em fatias de 20mm de espessura, tiveram a textura avaliada através da análise de perfil de textura (TPA), realizada em Texturômetro Brookfield CT3, utilizando célula de carga de 4,5 kg, com probe cilíndrico de acrílico com diâmetro de 38,1 mm (TA3/100) tendo como parâmetros operacionais: velocidade de pré-teste: 2,0 m/s; velocidade de teste = 2,0 m/s; velocidade do pós-teste = 2,0 m/s; força = 20g; ciclo de contagem = 5 segundos; distância = 5,0 mm. A avaliação foi realizada em cinco repetições, pela compressão do probe em fatias centrais dispostas horizontalmente na plataforma. Os parâmetros avaliados foram: dureza (g); coesividade; elasticidade (mm), gomosidade (g); mastigabilidade (N).

2.5.14 Análise Sensorial

Os pães formulados com polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó e os provenientes de massas congeladas foram avaliados sensorialmente ao longo do tempo de armazenamento. As sessões foram conduzidas com 48 provadores não-treinados escolhidos ao acaso, em sua maioria alunos de graduação e pós-graduação da Universidade Federal do Ceará (UFC), de ambos os sexos, com faixa etária de 18 a 55 anos. Os ensaios foram realizados em cabines individuais de degustação com luz branca no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFC. Foi utilizado um delineamento construído por blocos completos balanceados (BCB), completando-se a cada seis julgamentos, com oito repetições. As amostras foram servidas aos provadores de forma monádica, em guardanapos codificados com números aleatórios de três dígitos. A análise foi realizada em 15 sessões distintas, realizadas a cada 15 dias, sendo três amostras em cada sessão, uma padrão e as outras duas adicionadas de tomate, brócolis ou açaí em

pó, respectivamente. Não houve avaliação, na mesma sessão sensorial de pães adicionados de vegetais em pó diferentes entre si, apenas com a formulação padrão.

Para a avaliação das amostras utilizou-se escala hedônica de nove pontos, ancorada em seus extremos com os termos “gostei muitíssimo – 9” a “desgostei muitíssimo – 1” para avaliar a aceitabilidade dos produtos com relação aos atributos cor, aroma, sabor, textura e impressão global, as amostras foram servidas de forma monádica, para evitar a comparação entre elas. Foi utilizado o teste atitude de compra de cinco pontos, ancorado em seus extremos em “certamente compraria – 5” e “certamente não compraria – 1” para avaliar o potencial de compra dos pães. Para avaliar a preferência dos provadores perante às amostras foi aplicado o teste de ordenação-preferência, onde a amostra preferida soma três pontos, a intermediária dois pontos e a menos preferida um ponto, as amostras foram servidas de modo simultâneo.

2.6 Análise estatística

Para a avaliação estatística dos parâmetros físicos, físico-químicos, de textura instrumental, parâmetros estruturais e sensoriais ao longo do tempo de armazenamento congelado foi utilizada a análise de regressão, análise de variância e teste de comparação de médias ao nível de 5% de significância. Para a avaliação do teste de ordenação preferência utilizou-se a tabela para o teste de ordenação, tabela de Newell e Mcfarlane, conforme Dutcosky (2007).

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Obtenção dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais através de massas congeladas

Após o desenvolvimento das formulações dos pães tipo forma através do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), foram escolhidas seis formulações, que são apresentadas na Tabela 37.

O estudo da obtenção dos pães com ingredientes funcionais através do congelamento das massas foi baseado no armazenamento congelado destas, onde, a cada 15 dias, foram retiradas amostras do lote para a realização de análises de células viáveis de levedura, volume das massas produzidos durante a fermentação, perfil livre de expansão durante a fermentação, umidade total das massas, bem como a determinação do volume específico, densidade, índice de expansão, , análises colorimétricas, acidez, pH, análises de imagem da estrutura do miolo, textura e análise

sensorial dos pães tipo forma a fim de verificar o efeito do congelamento e armazenamento congelado sobre as características físicas e parâmetros sensoriais dos produtos.

Tabela 37 - Formulações de pães tipo forma utilizadas no estudo da obtenção através de massas congeladas.

Ingredientes (%)	Padrão	T1	T2	B1	B2	A1	A2
Farinha de Trigo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Água*	58-62%	58-62%	58-62%	58-62%	58-62%	58-62%	58-62%
Gordura Vegetal Hidrogenada	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Açúcar Refinado	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Fermento Biológico	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%
Polidextrose	-	5%	10%	5%	10%	5%	10%
Tomate em pó	-	5%	10%	-	-	-	-
Brócolis em pó	-	-	-	5%	10%	-	-
Açaí em pó	-	-	-	-	-	5%	10%

* Com base no percentual de absorção de água de cada farinha.

3.1.1 Composição centesimal dos ingredientes funcionais, das farinhas de trigo e mistas

A tabela 38 apresenta os valores da composição centesimal dos ingredientes funcionais utilizados neste estudo.

Tabela 38 – Composição centesimal dos ingredientes funcionais, da farinha de trigo e das farinhas mistas.

Ingredientes	Umidade (%)	Proteína (%)	Gordura (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)
Tomate pó	$7,46^{b}\pm0,05$	$6,12^{b}\pm0,04$	$13,55^{b}\pm0,08$	$4,18^{b}\pm0,03$	$65,69^{c}\pm0,05$
Brócolis pó	$8,19^{a}\pm0,08$	$2,29^{c}\pm0,03$	$9,88^{c}\pm0,03$	$3,87^{c}\pm0,04$	$72,77^{b}\pm0,04$
Açaí em pó	$4,66^{c}\pm0,03$	$7,91^{a}\pm0,08$	$28,15^{a}\pm0,13$	$5,9^{a}\pm0,08$	$48,38^{d}\pm0,11$
Polidextrose	$5,36^{d}\pm0,02$	n.d	n.d	n.d	$94,64^{a}\pm0,08$
Farinha de Trigo Padrão	$14,18^{a}\pm0,04$	$11,28^{d}\pm0,03$	$1,22^{e}\pm0,04$	$0,58^{d}\pm0,03$	$72,74^{a}\pm0,05$
Farinha T1	$12,81^{f}\pm0,05$	$12,04^{c}\pm0,07$	$2,44^{c}\pm0,02$	$0,97^{b}\pm0,07$	$71,74^{e}\pm0,08$
Farinha T2	$11,17^{e}\pm0,02$	$12,83^{e}\pm0,05$	$3,28^{a}\pm0,04$	$1,20^{e}\pm0,04$	$71,52^{be}\pm0,03$
Farinha B1	$13,88^{b}\pm0,04$	$12,33^{b}\pm0,04$	$1,97^{d}\pm0,03$	$0,75^{c}\pm0,04$	$72,07^{ae}\pm0,06$
Farinha B2	$12,97^{c}\pm0,02$	$13,07^{f}\pm0,03$	$2,19^{f}\pm0,05$	$1,19^{e}\pm0,03$	$70,58^{cd}\pm0,09$
Farinha A1	$12,74^{f}\pm0,05$	$12,65^{ef}\pm0,08$	$2,11^{f}\pm0,03$	$1,18^{e}\pm0,08$	$71,32^{bc}\pm0,09$
Farinha A2	$11,93^{d}\pm0,04$	$13,44^{a}\pm0,05$	$3,06^{b}\pm0,03$	$1,57^{a}\pm0,03$	$70,00^{d}\pm0,05$

n.d: não detectado.

Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

O teor de umidade dos pós variou de 4,66% para o açaí em pó a 8,19% para o brócolis em pó, o processo de secagem empregado provavelmente promoveu a diferença signiifcativa dos valores, o maior teor de proteína foi encontrado para o açaí em pó, com 7,91%, que também obteve o maior percentual de gordura, 28,15% e de conteúdo mineral, com 5,90%, consequentemente, apresentou o menor teor de carboidratos. O brócolis em pó apresentou os menores valores de proteína, com 2,29% e de cinzas, 3,87%, diferindo estatisticamente do tomate e açaí em pó. A polidextrose apresentou teor estimado de carboidratos de 94,64%; o que era esperado, pois é formada por polímeros de glicose.

Monteiro *et al*. (2008) estudaram a qualidade de tomate *in natura* tipo italiano, o teor de proteína encontrado foi de 2,09%, inferior ao obtido pelo tomate em pó, o que era esperado, uma vez que o tomate apresentou umidade de 95,88%; portanto, quando passa por processo de secagem, os nutrientes são concentrados, o mesmo se aplica para os teores de cinzas, que foi de 0,41% e de gordura, que apresentou o valor de 0,26%. Pereira *et al*. (2006) analisaram o teor de cinzas e de umidade de tomate em pó, que apresentaram valores de 8,48% e 13,85%, valores superiores aos encontrados para o tomate em pó utilizado neste estudo.

Menezes *et al*. (2008) avaliaram o conteúdo nutricional de polpa de açaí liofilizada, o teor de umidade foi de 4,92%; 3,68% de cinzas; 8,13% de proteínas e 40,75% de gordura, valores semelhantes de umidade e proteína aos obtidos para o açaí em pó utilizado neste estudo, superior ao teor de gordura e inferior ao teor de cinzas.

A incorporação dos ingredientes funcionais na forma de pó promoveram redução no teor de umidade das farinhas mistas, quando comparados à farinha de trigo padrão, que foi de 14,18%, o menor teor de umidade foi observado para a farinha mista para a produção dos pães T2, com 11,17%, T1 e A1 não diferiram estatisticamente entre si.

Com a incorporação dos ingredientes funcionais o teor de proteínas de todas as farinhas mistas foi elevado, sendo o menor obtido para a farinha de trigo padrão, com 11,28%, o maior foi observado para a farinha mista A2 (13,44%), o mesmo ocorreu para os respectivos teores de cinzas e gordura, onde houve aumento gradual, conforme a quantidade dos ingredientes funcionais foi elevada e com decréscimo na quantidade de carboidratos.

Martinez *et al*. (2013) encontraram valores de 12,20% de proteína em farinha de trigo; 0,76% de cinzas e 0,9% de gordura, valores próximos ao da farinha de trigo utilizada neste estudo. Ayodele *et al*. (2013) obtiveram valores de proteína de 13,80%; 1,30% de gordura; 0,90% de conteúdo mineral e 12,60% de umidade, com o estudo da incorporação de fruta-pão em pães.

3.1.2 Composição Centesimal dos pães tipo forma proccessados com ingredientes funcionais

A tabela 39 fornece os dados sobre a composição centesimal dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais.

Tabela 39 – Composição centesimal dos pães tipo forma.

Formulação	Umidade (%)	Proteína (%)	Gordura (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)
Padrão	32,38^{d}±0,04	7,34^{c}±0,05	2,05^{e}±0,03	1,75^{e}±0,04	56,48^{d}±0,09
T1	32,12^{e}±0,08	7,89^{e}±0,02	2,69^{c}±0,02	2,48^{c}±0,07	54,82^{e}±0,04
T2	33,15^{c}±0,12	8,15^{d}±0,03	3,08^{f}±0,03	2,93^{b}±0,05	52,69^{b}±0,10
B1	31,49^{b}±0,07	7,51^{a}±0,09	2,48^{d}±0,06	2,04^{d}±0,02	56,48^{d}±0,05
B2	32,21^{de}±0,02	7,69^{b}±0,03	2,82^{b}±0,04	2,59^{f}±0,03	54,69^{e}±0,07
A1	33,05^{c}±0,09	8,03^{e}±0,07	3,05^{f}±0,09	2,61^{f}±0,02	53,16^{a}±0,08
A2	32,84^{a}±0,05	8,21^{d}±0,04	3,93^{a}±0,07	3,44^{a}±0,03	51,58^{c}±0,04

Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

O teor de umidade dos pães variou de 31,49% (B1) a 33,15% (T2), provavelmente devido ao binômio tempo/temperatura da etapa de forneamento, onde podem ocorrer pequenas variações que refletiram no valor de umidade dos produtos, proporcionando diferenças significativas, ao nível de 5% de significância para todas as amostras.

Foi observado que não houve diferenças significativas entre os teores de proteína dos pães T2 e A1, Com relação ao teor de proteína, os valores variaram de 7,34% para a formulação padrão a 8,21% para A2, todas apresentaram diferenças significativas entre si. O conteúdo de gordura dos pães foi elevado com a incorporação dos ingredientes funcionais, o maior valor foi observado para a formulação A2, com 3,93%; não diferiram significativamente entre si os teores de gordura das formulações T2 e A1. Para o teor de cinzas, os valores obtidos situaram-se dentro da faixa de 1,75% (padrão) a 3,44 (A2), não apresentando diferenças entre si B2 e A1. Quanto maior a incorporação dos ingredientes funcionais, menor foi o teor de carboidratos encontrado, que variou de 51,58% para a A2 a 56,48% para a formulação padrão.

Zambelli *et al*., (2013) avaliaram os teores de umidade de pães tipo francês de 35 padarias da cidade de Fortaleza-CE, os teores variaram 17,35% a 28,35%, inferiores aos encontrados neste estudo, a variação de 11% encontrada exemplifica à variação das condições de forneamento na produção dos pães.

Valores superiores foram obtidos por Borges *et al*. (2012) quando avaliou o teor de umidade e de proteína de pães tipo forma incorporados com farinha de quinoa, com teores da ordem de 35,37% a 35,59% para a umidade e elevação de 2% no teor de proteína com relação ao padrão, para os teores de gordura, os resultados foram semelhantes.

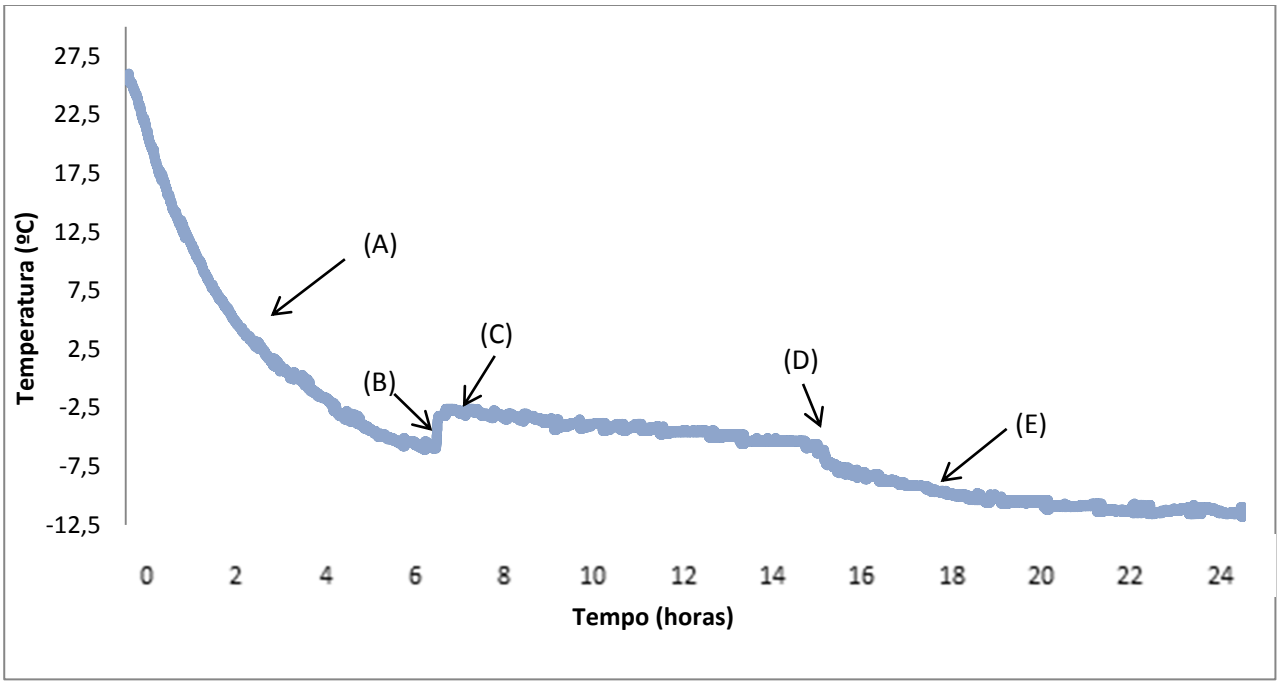
Krupa-Kozak *et al*. (2013) estudaram a incorporação de soro de leite em pó em formulações de pães sem glúten, os teores de umidade reduziram com o aumento da incorporação, o teor de proteína foi elevado para valores próximos a 8%, quando houve adição de 12% de proteínas do soro do leite, o teor de cinzas também foi elevado para valores próximos a 2%, inferior aos valores obtidos para os pães incorporados com polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó.

O uso de farinha de fruta-pão em formulações de pães foi estudada por Ayodele *et al*., (2013) através da composição centesimal dos produtos, de modo geral, a incorporação da fruta-pão elevou os valores de proteína de 8,51% a 15,38% quando a adição foi de 50% em substituição à farinha de trigo, o conteúdo mineral passou de 1,87% a 2,67%, o valor máximo obtido pelos autores foi inferior às formulações T2, B2, A1 e A2. O teor de gordura elevou-se com a incorporação da fruta-pão, o que ocorreu também para o uso da polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó.

3.1.3 Determinação das curvas de congelamento das massas

A figura 19 fornece o comportamento da temperatura do centro das massas padrão em relação ao tempo.

Figura 19 – Curva de congelamento da massa padrão.



As massas para a produção de pães padrão entraram no freezer com temperatura média de 25,8±0,65 ºC e tiveram a sua temperatura reduzida, pela retirada do calor sensídel (de A até B), que é momento início da formação da formação dos cristais de gelo, fenômeno conhecido como nucleação (B). Para as massas padrão, a nucleação ocorreu em - 6,0±0,54 ºC**,** com a característica de subresfriamento da água.

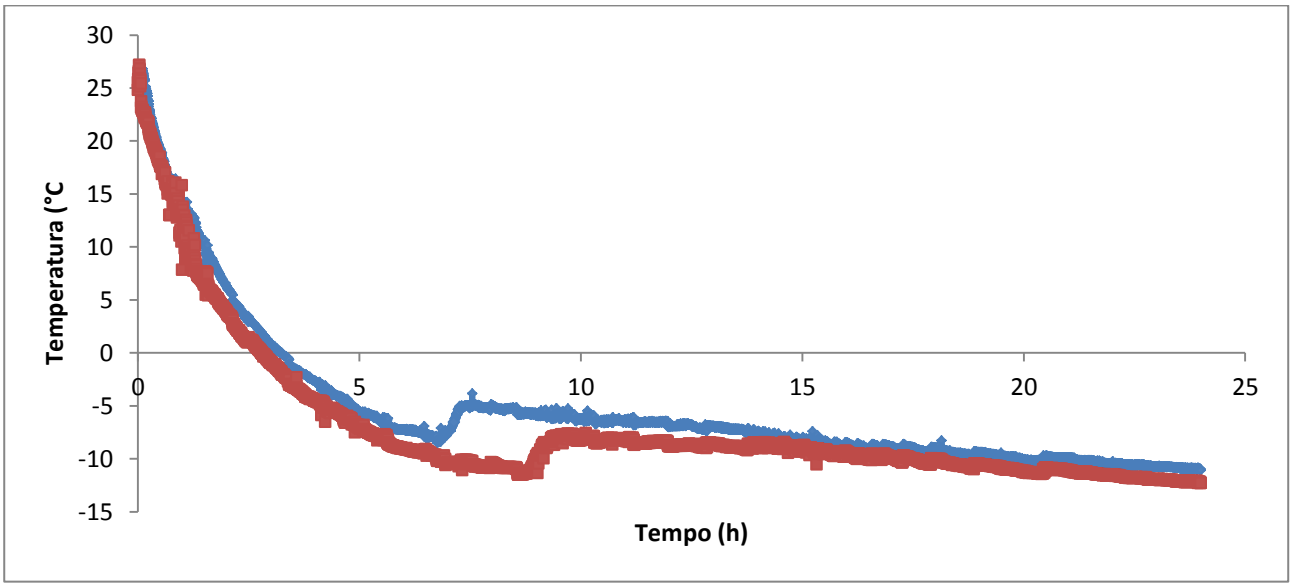
De modo instantâneo houve a liberação do calor latente de fusão (B-C), a taxa de liberação deste calor foi maior que a de resfriamento, elevando a temperatura da massa até valores próximos de - 2,8±0,88 ºC.

De acordo com Hindmarsh *et al*. (2004) nesta etapa ocorre a recalescência, havendo um rápido aumento na formação de cristais de gelo impulsionados pelo subresfriamento, sendo observado entre os pontos C e D, devido ao alto teor de água das massas (aproximadamente 46%), esta etapa teve longa duração. No ponto E ocorreu a etapa de resfriamento ou têmpera, quando a temperatura do centro das massas foi reduzida até - 11,5 ºC, quando cessou a captação dos dados de temperatura após 24 horas.

Massas produzidas com farinha de trigo e submetidas ao congelamento são constituídas de uma fase de gelo, bem como uma fase descongelada com ponto de congelamento baixo, este baixo ponto é atribuído a concentração de solutos na fase descongelada quando a água é imobilizada pela formação dos critais de gelo, é nesta fase, que, segundo Ribotta e Le Bail (2007), onde ocorrem as deteriorações, mesmo em baixa temperatura.

A figura 20 apresenta a curva de congelamento das massas para a produção de pães Tomate 1 (azul) e Tomate 2 (vermelho).

Figura 20 – Curvas de congelamento de massas Tomate 1 (azul) e 2 (vermelho)



A temperatura inicial média das massas foi de 26,94 °C±0,27 para a Tomate 1 e de 26,53 °C±0,29 para a massa Tomate 2. A temperatura média de início de nucleação da massa Tomate 1 foi de - 8,30 °C±0,34, pela liberação do calor latente, houve o aumento da temperatura até valores próximos a – 4,93 °C±0,41 com posterior redução da temperatura, com valores próximos de - 12 °C após 24 horas de monitoramento da temperatura. Para a massa Tomate 2, pelo aumento do conteúdo de sólidos presente, o ínico da nucleação ocorreu à temperatura inferior, quando comparado a Tomate 1, com valores médios próximos a - 11,5 °C±0,45; ocorreu o aumento da temperatura para - 7,51 °C±0,28 com posterior redução, após 24 horas, a temperatura apresentada foi de – 12,30 °C±0,11. Não foi possível observar o ponto de início de cristalização dos solutos presentes.

Em relação às massas para a produção de pães padrão, houve uma redução média de 2 °C na temperatura de congelamento e na temperatura final após a liberação do calor latente, para as massas Tomate 1 não foi possível observar o ponto de congelamento dos solutos.

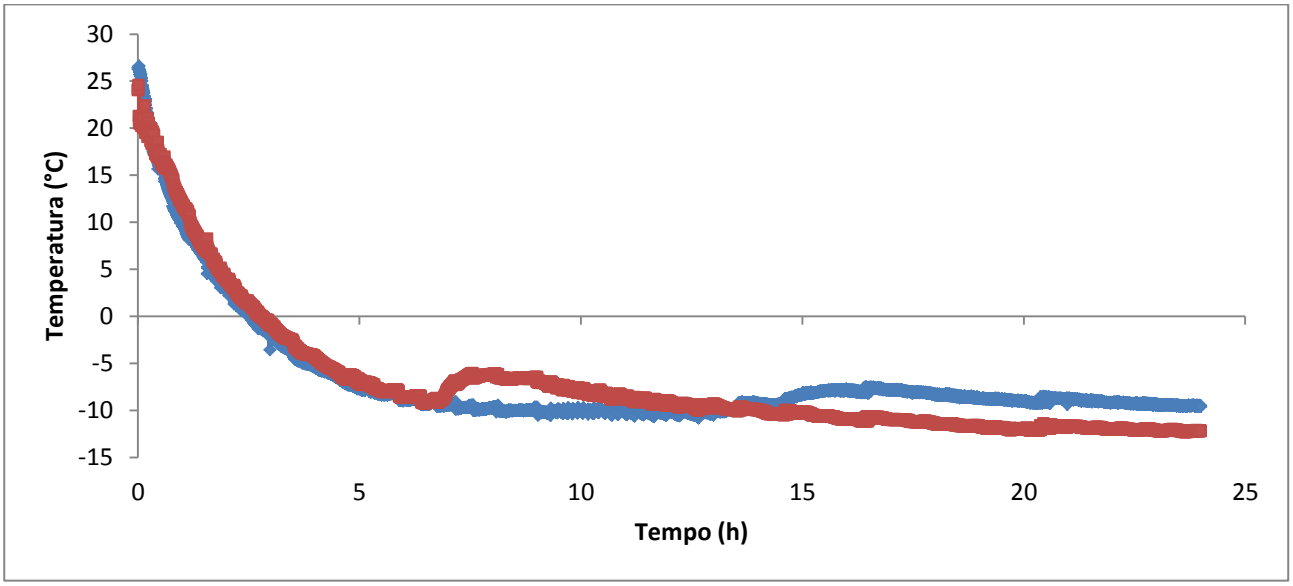
O fluxo de calor da frente de congelamento diminui conforme a frente penetra no produto. Este fato se deve ao aumento da resistência térmica da parte congelada localizada entre a superfície refrigerada e a frente de congelamento. No caso de geometrias cilíndricas e elipses, a resistência térmica aumenta enquanto as camadas de gelo são formadas, o volume a ser congelado é cada vez menor conforme a frente de congelamento aumenta quando se afasta da superfície (CHEVALIER *et al.*, 2000), o que explica o rápido decréscimo da temperatura das massas nas primeiras horas de congelamento e a retomada de forma lenta da redução da temperatura após a liberação do calor latente de solidificação.

Hu *et al*. (2013) afirmam que o processo de congelamento consiste em três etapas: a redução da temperatura em uma fase de estado líquido (T > 0 °C), um período de transição de fase (com temperaturas entre 0 °C a - 3 °C) e a fase sólida com temperatura inferior a - 3°C. A presença de soluções complexas, como a interação entre os solutos e a água, as propriedades destas soluções modificam o ponto de congelamento da água e consequentemente da massa, de modo que o equilíbrio da temperatura de congelamento diminui para valores abaixo de - 3°C.

Já Meziani *et al*. (2012b) obteve ponto de congelamento de massas doces, com maior quantidade de soluto que pães convencionais devido ao uso de ovos e leite na formulação, o ponto de congelamento encontrado foi próximo de -7,5 °C.

A figura 21 apresenta a curva de congelamento das massas para a produção de pães Brócolis 1 (vermelho) e Brócolis 2 (azul).

Figura 21 – Curvas de congelamento de massas Brócolis (vermelho) 1 e 2 (azul)



A temperatura inicial das massas foi de 24,06 °C±0,33 para a massa Brócolis 1 e 26,35 °C±0,21 para a Brócolis 2. O início da formação dos critais de gelo ocorreu após 6 horas, a uma temperatura média de - 6,51 °C±0,27, enquanto que para a Brócolis 2 este fenômeno ocorreu somente após 13 horas, devido à incorporação de maiores quantidades de polidextrose e brócolis em pó, o ponto de congelamento desta massa foi reduzido para temperaturas inferiores a - 10 °C.

Ferreira, Guimarães e Maia (2007) afirmam que a temperatura de congelamento de soluções ideais com um ou dois componentes podem ser descritas pela Lei de Raoult, mas, pela complexidade da composição dos alimentos, faz-se necessário uma investigação experimental específica da temperatura de início de congelamento de cada produto. Quanto maior o teor de sólidos presentes no alimento, mais baixo será seu ponto de congelamento incipiente.

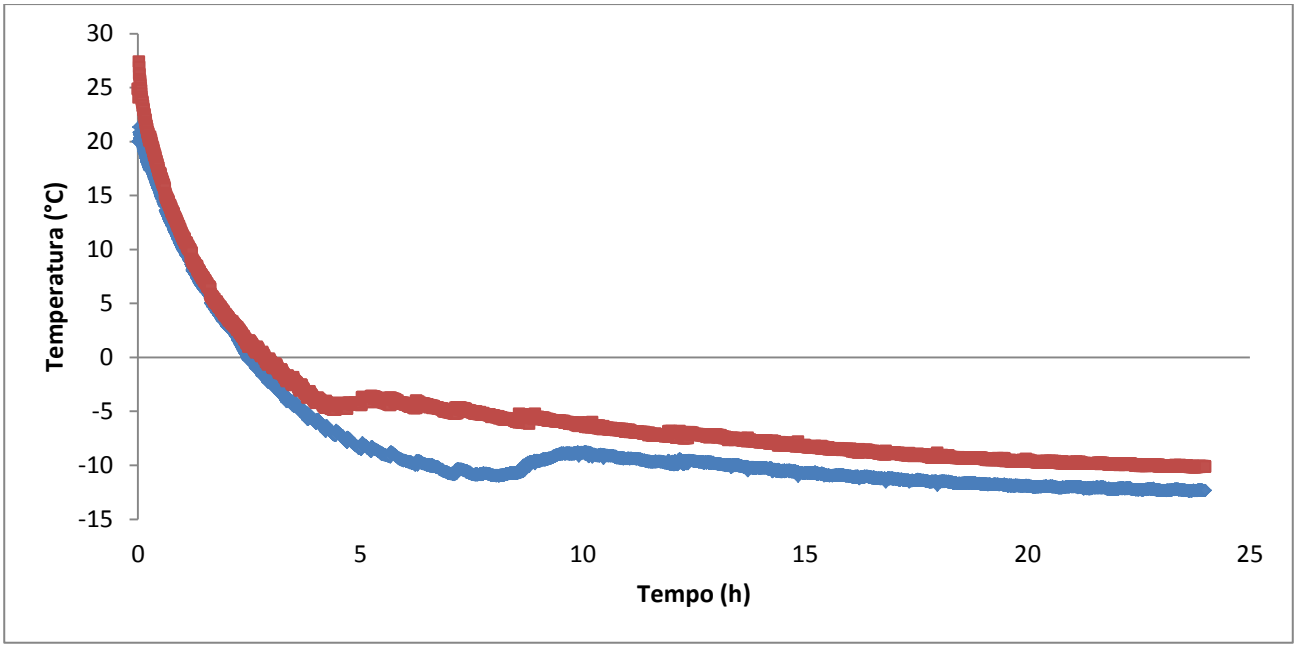
A figura 22 apresenta os valores de temperatura em função do tempo de congelamento das massas para a produção de pães Açaí 1 (vermelho) e Açaí 2 (azul).

A temperatura inicial das massas foi de 26,59 °C±0,13 (Açaí 1) e 20,04 °C±0,17 (Açaí 2). Para a massa açaí 1, o ínicio da nucleação ocorreu após 4 horas, onde a retirada do calor sensível (A), o ínicio da formação dos cristais de gelo (B) ocorreu a temperatura de - 4,23 °C±0,23, houve o aumento da temperatura para valores de - 3,39 °C±0,15. Após 24 horas de coleta dos dados, a temperatura final da massa foi de - 11,26 °C±0,17.

Pelo aumento no conteúdo de sólidos incorporados na massa Açaí 2, o ínicio da formação dos critais de gelo ocorreu apenas após sete horas (B), havendo diminuição do ponto de congelamento da massa, quando comparado com a Açaí 1, esta diferença fica evidente ao ser observada na figura 33. O início da nucleação ocorreu à temperatura média de - 10,75 °C±0,37 (B),

seguido de elevação da temperatura pela liberação do calor latente de solidificação para temperatura de - 8,83 °C±0,22. A temperatura final das massas foi de - 12,44 °C±0,25.

Figura 22 – Curvas de congelamento de massas Açaí 1 (vermelho) e 2 (azul).



Pela quantidade de soluto incorporada nas formulações e devido à capacidade de redução da temperatura do equipamento utilizado, não foi possível observar a nucleação dos solutos presentes, onde pode-se afirmar que a formação dos critais de gelo não foi total.

3.1.4 Efeito do armazenamento congelado sobre a viabilidade das células de levedura

A levedura, responsável pela produção do gás necessário para o desenvolvimento da massa e por características de sabor e aroma do produto final (pães), tem sido amplamente estudada. A formulação da massa, a concentração, a estabilidade, a linhagem, a perda de atividade da levedura e os ciclos gelo-degelo da massa têm se destacado nos estudos. A escolha da linhagem das leveduras e a otimização do processo são pontos críticos para a produção de massas congeladas com vida-de-prateleira aceitável (FRANCISCHI, ORMENESE e PIZZINATTO, 1998).

Produtos de panificação congelados não são estáveis em prazo indeterminado, a deterioração ocorre de forma gradual até que atingam uma qualidade inaceitável. Essa perda de qualidade é evidenciada pela redução do volume das massas e aumento do tempo de fermentação em comparação às massas preparadas pelos métodos tradicionais (MEZIANI *et al*., 2012a).

A tolerância ao congelamento é uma característica necessária para o fermento de panificação industrial onde é utilizada a tecnologia de massas congeladas para o fornecimento de

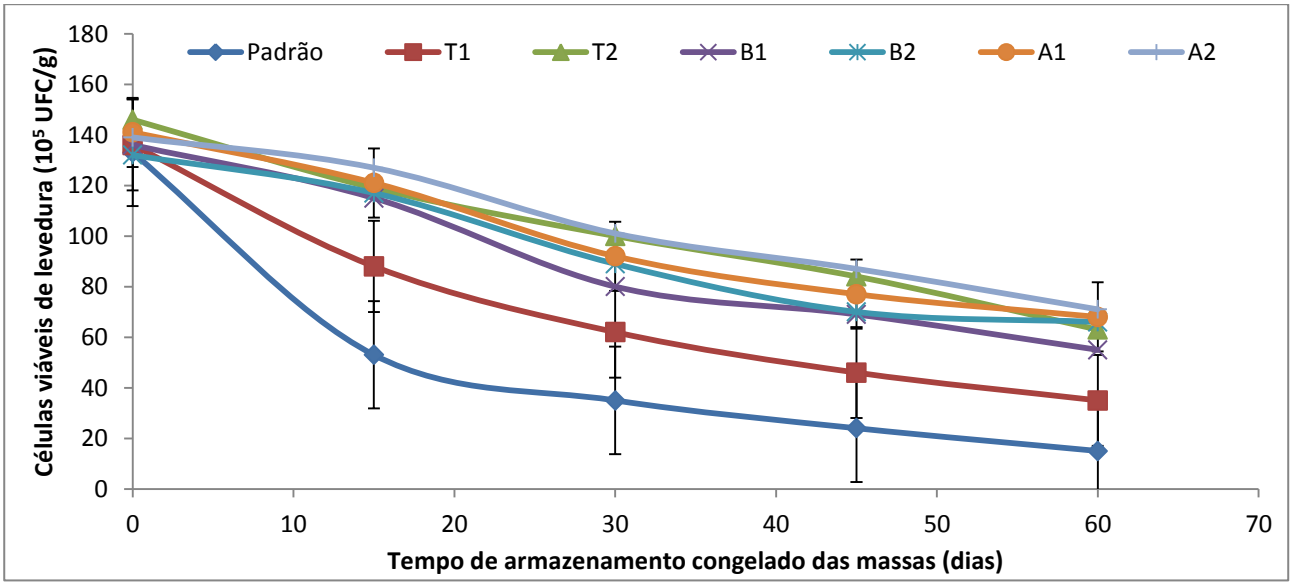
produtos de padaria frescos aos consumidores (SASANO *et al*., 2012). No entanto, a redução do volume da massa congelada está relacionada com os fenômenos que ocorrem durante o período de armazenamento congelado: I) redução da capacidade fermentativa das leveduras, em decorrência da redução da viabilidade celular e II) perda da integridade da rede do glúten devido a ação dos cristais de gelo, conforme explicam Meziani *et al*., (2012b); Selomulyo e Zhou (2007). O congelamento da levedura contida na massa resulta em redução mais significativa de sua atividade do que o congelamento direto da levedura prensada (HAVET *et al*., 2000).

A figura 23 fornece o comportamento das células viáveis de levedura ao longo do tempo de armazenamento de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias para a produção de pães tipo forma adicionados de ingredientes funcionais.

O armazenamento congelado das massas por até 60 dias promoveu redução na viabilidade das células de levedura. As maiores foram observadas para as formulações padrão e T1. A partir destes resultados, há um indicativo de que maiores concentrações de tomate em pó e polidextrose, bem como o uso de brócolis e açaí em pó em combinação com a polidextrose podem agir como crioprotetores das células de levedura e também pela redução do ponto de congelamento, tendo a não completa formação dos critais, pode ter ocorrido menores danos às células.

As mudanças na textura da massa do pão em baixas temperaturas geram água livre, o que permite a formação dos cristais de gelo durante a estocagem sob congelamento e possível rompimento dos sistemas de membrana das leveduras, reduzindo sua viabilidade (TAKANO *et al*., 2002).

Figura 23 – Células viáveis de levedura ao longo do tempo de armazenamento de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.



Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de

brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

A tabela 40 fornece o número de células de levedura das massas congeladas por até 60 dias e os resultados a cerca do teste de tukey.

Tabela 40 – Número remanescente de células viáveis de levedura nas massas.

Formulação	0 dia	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias
Padrão	133^{Ac}±5,50	53^{Bc}±8,50	35^{Ca}±2,51	24^{CDa}±4,04	15^{Da}±2,08
T1	136^{Ac} ±3,60	88^{Bb}±3,00	62^{Cb}±6,65	46^{Db}±4,16	35^{Eb}±2,51
T2	146^{Aa}±3,78	119^{Bde}±3,05	100^{Cc}±1,52	84^{Dc}±3,51	63^{Ee}±4,16
B1	136^{Ac}±4,16	115^{Bde}±1,73	80^{Cd}±3,78	69^{CDde}±3,32	55^{Dc}±2,02
B2	132^{Ac}±4,16	117^{Bde}±2,00	89^{Cd}±4,04	70^{Dde}±4,35	66^{Dd}±3,21
A1	141^{Ab}±2,00	121^{Bd}±3,05	92^{Ccd}±3,21	77^{Dd}±3,51	68^{Ed}±1,52
A2	139^{Ab}±1,52	127^{Ba}±3,05	101^{Cc}±2,08	87^{Dc}±3,21	71^{Ed}±5,29

*Valores médios obtidos a partir da diluição de 10^{-4} e três repetições; **Resultados expressos em 10^5 UFC/g de massa.
[1]Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna e letras maiúsculas diferentes em uma mesma linha não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

A maior contagem de células viáveis de levedura em massas não-congeladas (tempo zero) foi apresentada pelas formulações T2 ($146x10^5$ células), seguido da A2, com $139x10^5$ células. As formulações adicionadas de brócolis (B1 e B2), T1 e Padrão não diferiram entre si, ao nível de 5% de significância, o mesmo ocorreu entre as formulações A1 e A2. Ao 15° dia de armazenamento congelado, a formulação que apresentou a maior redução na viabilidade das leveduras foi a padrão, seguido da T1. A menor redução ocorreu na formulação A2. Não houve diferenças estatísticas entre T2, B1 e B2, as demais amostras diferiram entre si.

Decorridos 30 dias de armazenamento congelado das massas, a formulação B1 obteve a maior redução na viabilidade celular, seguido da formulação A1. As formulações T2 e A2 não diferiram entre si ao nível de significância de 5%, bem como as formulações adicionadas de brócolis (B1 e B2). Para 45 dias de armazenamento congelado, a formulação B2 apresentou a maior redução de viabilidade celular de leveduras neste período, seguido da T1 e T2. Houve diferenças significativas entre todas as formulações, com exceção entre B1 e B2. Após 60 dias, o menor valor de células viáveis de levedura foi apresentado pela formulação padrão ($15x10^5$ células), a maior redução foi observada em A2. Apenas as formulações B2, A1 e A2 não diferiram entre si, ao nível de 5% de significância.

De acordo com Massaguer (2006), após o congelamento, durante a estocagem congelada, a destruição continua, a taxa de morte durante o período de armazenamento pode ser maior no início e geralmente decresce com o tempo, o que se aplicou às formulações de pães

desenvolvidas neste estudo, onde as maiores reduções de células viáveis foram entre os trinta primeiros dias de armazenamento congelado.

Shi *et al*. (2013) estudaram cinco ciclos de congelamento e descongelamento e a influência nas células de levedura presente em massas para a produção de pães, os autores concluíram que leveduras em fase logarítima (fase log) reduziram em 66% após os ciclos, enquanto que as leveduras em fase estacionária menos de 30%.

As leveduras utilizadas neste estudo encontravam-se na fase lag ou estado de dormência antes do processo de congelamento, tendo em vista a temperatura das massas foi mantida em temperatura controlada com uso de termômetro digital entre 10 °C e 15 °C, o que pode ter promovido uma menor redução na viabilidade ceular durante os primeiros dias de estocagem, conforme recomenda Hino *et al*. (1987), onde afirmam que as leveduras em estado de latência garante melhor viabilidade do fermento, sendo menos sensíveis aos danos osmóticos causados pela imobilização da água e concentração dos solutos durante o congelamento. Para Thomaslow (2001), a formação de gelo nos espaços extracelulares provoca desidratação osmótica das células de levedura, causando uma redução no volume celular, o que permite que a membrana plasmática interaja com o cloroplasto e formas transições de fase hexagonal II, o que é deletério para os fosfolipídios da membrana das células do fermento, provocando o seu rompimento.

A tabela 41 apresenta o percentual de células viáveis ao longo do tempo de armazenamento congelado.

Tabela 41 – Percentual de células viáveis de levedura nas massas.

Dias de armazenamento congelado	Padrão	T1	T2	B1	B2	A1	A2
0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15	39,84%	64,70%	81,50%	84,55%	88,63%	85,81%	91,36%
30	26,31%	45,55%	68,49%	58,82%	67,42%	65,24%	72,66%
45	18,04%	33,80%	57,53%	50,73%	53,03%	54,60%	62,58%
60	11,27%	25,73%	43,15%	40,44%	50,00%	48,22%	51,07%

Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Comercialmente, pode ser observado que, com uma redução de 50% das células de levedura viáveis, os pães não apresentam o mesmo desempenho na fermentação (KECHINSKI *et al.*, 2010).

Até o 15º dia de armazenamento congelado a formulação padrão apresentou redução de 60% da viabialidade das células de levedura; 13,53% entre o 15º e o 30º dia; 8,27% entre o 30º e 45º e apenas 6,77% até o 60º dia. Comportamento semelhante foi obtido pela formulação T1, onde o maior percentual de morte de células de levedura concentrou-se até o 15º dia. Para a formulação T2 as maiores perdas de células viáveis ocorreram entre o 15º e 30º dia de armazenamento congelado, bem como entre os dias 45 e 60.

Com relação as formulações adicionadas de polidextrose e brócolis em pó, para B1, a maior redução entre os trinta primeiros dias, com 15,45% e 25,75%, respectivamente, B2 obteve o mesmo comportamento, entretanto, com menores reduções, de 11,37% para os primeiros quinze dias e de 21,21% entre o 15° e 30° dia. A adição de 10% de polidextrose e brócolis em pó promoveu menores reduções de viabilidade celular ao longo de 60 dias de armazenamento congelado, preservando 50% do valor inicial das células de levedura, contra 11,27% da formulação padrão, demonstrando efeito crioprotetor.

Comportamento semelhante foi observado para as formulações adicionadas de polidextrose e açaí em pó, onde as maiores reduções de viabilidade celular foram observadas entre os trinta primeiros dias, para A1 e para a A2, entre o 30° e 45° dia, ao final do período estudado as formulações preservaram valores superiores a 48% das células viáveis, também demonstrando que o açaí possui efeito crioprotetor.

Kechinski *et al*. (2010) estudaram a viabilidade de células de levedura em massas congeladas para a produção de pães do tipo francês, onde produziram pães a partir de pré-misturas para pães congelados e com quantidade de 5,0% de fermento. As massas foram armazenadas sob congelamento à mesma temperatura utilizada neste estudo (-18ºC), o percentual de redução das células viáveis ao 15º dia foi, aproximadamente, de 35%, valor próximo ao observado pela formulação T1 e superior às demais formulações contendo tomate, brócolis e açaí em pó e sendo inferior ao valor observado para a redução da viabilidade celular para a formulação padrão.

Após 60 dias de armazenamento congelado, o percentual de células viáveis nas massas foi de 20%, valor próximo ao obtido pela formulação padrão neste estudo e inferior às formulações adicionadas de ingredientes funcionais, onde o menor valor foi obtido pela formulação T1, com aproximadamente 25% de manutenção celular.

Jia *et al*. (2012), avaliaram a atividade crioprotetora de proteína termoestável proveniente da planta ligustrina e observaram perdas significativas de células viáveis de levedura durante armazenamento congelado de até cinco semanas, restando 30% da quantidade original, com a adição de 0,5% de ligustrina, a viabilidade celular aumentou para 40%, valor inferior, porém próximo aos observados para as formulações adicionadas de brócolis e açaí em pó.

A formação de gelo dentro das células das leveduras é o fator principal responsável pela morte celular, quanto menor a formação destes cristais intracelulares, maior é a viabilidade das leveduras, conforme relatam Zhang et al. (2007), Ribotta et al. (2003b) e Lorenz e Kulp (1995).

O conteúdo intracelular das leveduras, quando exudados, promove colapsos nas proteínas do glúten, sendo um fator de enfraquecimento além do congelamento (ROSELL e GOMEZ, 2007). Jia *et al*. (2012), verificaram que a intensidade da solubilidade das proteínas do glúten foi maior quando houve menor redução da viabilidade celular das leveduras.

Meziani *et al*. (2012b) afirmam que a taxa de congelamento lento, a qual foi empregada neste estudo, tem influência direta sobre a manutenção de equilíbrio osmótico na membrana da célula de levedura durante o congelamento, a cinética de transferência de água do meio intracelular para o extrecelular foi favorecido por osmose.

O conteúdo celular externo se transforma em hipertônico devido a desidratação e a formação dos cristais de gelo, fazendo com que a célula perca água e tenha influência sobre a sobrevivência celular (CHUA e CHOU, 2009). O lançamento de líquido intracelular provocado pelas condições externas adversas às células do fermento promovem a desidratação e plasmólise.

Pode-se afirmar que a adição dos ingredientes funcionais promoveram um equilíbrio osmótico entre o meio e as células de levedura, agindo como crioprotetores, minimizando os danos ao longo do tempo de armazenamento congelado.

Estes resultados são de grande importância visando à manutenção da qualidade das massas e consequentemente dos pães após 60 dias de armazenamento congelado, tendo em vista que as leveduras e seu respectivo processo de fermentação são responsáveis pelo desenvolvimento da expansão da massa, volume dos pães, porosidade do miolo e de alguns componentes de sabor e aroma dos pães.

3.1.5 Efeito do armazenamento congelado das massas no volume produzido durante o processo de fermentação

Steffolani *et al*. (2012) sugerem que a perda da qualidade de pães provenientes de massas congeladas ocorre devido à combinação da redução das células viáveis de levedura e dos danos ocasionados à estrutura do glúten.

De acordo com Funck e Franscisco (2006), quatro constituintes essenciais sofrem modificações com o processo de congelamento das massas de pão: a levedura (fermento), a rede de glúten, os grânulos de amido e a água presentes na massa. A maioria das alterações nesses componentesn ocorre devido ao processo de congelamento, estocagem em temperaturas muito

baixas (inferiores a 0°C) e ciclos de gelo-degelo. A velocidade de congelamento e o tempo de estocagem também influenciam essas alterações.

No presente estudo, foi avaliado a atividade da levedura, a investigação de indícios de danos à rede de glúten e também do tempo de estocagem congelada sobre a qualidade de pães tipo forma contendo ingredientes funcionais.

Resende (2011) avaliou a microestrutura do pão por períodos superiores a 170 dias. No ínico do congelamento o grau de interação entre os grânulos de amido e o glúten são fortes, estando o amido incorporado à matriz protéica.

Após 7 dias de armazenamento congelado os danos evidenciados foram mínimos, com 21 dias a formulação controle apresentou pequenas fissuras na estrutura do glúten. Aos 35 e 70 dias os danos foram intensificados, as micrografias obtidas pelo estudo mostram rupturas na rede. Após 170 dias a rede de glúten apareceu menos ligada aos grânulos de amido, indicando danos causados pelos cristais de gelo presentes na massa.

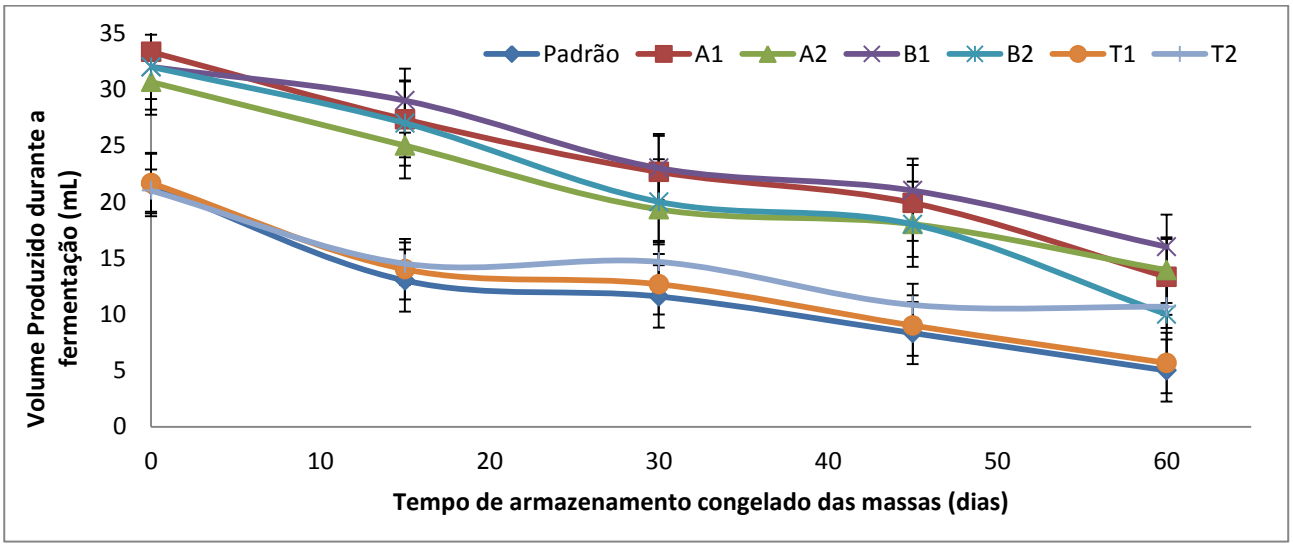
Esta influência do armazenamento congelado na estrutura do glúten explica a redução do volume específico, índice de expansão, fator de expansão e volume produzido, bem como aumento da densidade e da perda de peso, tendo em vista que, conforme explica Matuda (2008), a qualidade do glúten está relacionada ao volume dos pães, um parâmetro de qualidade, pois durante a fermentação a massa expande com a produção de CO_2 que deve ser retido pela estrutura protéica.

Uma vez que esta estrutura sofre fissuras e rupturas há a liberação do gás aprisionado e ocorrendo redução no volume dos pães, dos parâmetros de expansão da massa e o aumento da sua densidade.

Como as leveduras perdem parte de sua viabilidade com o congelamento, tem sido utilizadas leveduras criorresistentes e processos de congelamento sem pré-fermentação para evitar tempos maiores de descanso e menores volumes finais do pão. O elevado conteúdo de proteínas nas farinhas também é relevante, visto que a rede de glúten enfraquece com o congelamento e a estocagem, principalmente pela formação de cristais de gelo e liberação de água no sistema da massa de pão (FUNCK e FRANCISCO, 2006).

A redução da viabilidade celular fornece uma série de implicações sobre a qualidade dos pães, tendo efeito principalmente sobre as características de expansão das massas, a perda do poder de expansão pôde ser observada neste estudo, através da avaliação do volume produzido durante a fermentação (figura 24).

Figura 24 – Volume produzido (ΔV) durante a fermentação de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.



Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Para as massas não-congeladas, as formulações adicionadas de brócolis em pó e açaí em pó produziram volumes superiores a 30,00 mL, os nutrientes presentes nestes produtos podem ser benéficos à levedura, levando à uma maior disponibilidade de substrato para o processo fermentativo. O menor valor foi observado pela formulação T1, com 21,00 mL. O volume produzido pelas massas ao longo do tempo de fermentação foi decrescente à medida em que o tempo de armazenamento congelado das massas foi elevado, a redução da viabilidade celular é a principal causa na redução deste parâmetro.

Conforme Esselink *et al*. (2003), a qualidade geral do pão assado obtido a partir de massas congeladas diminui gradualmente durante a estocagem sob congelamento, principalmente pela diminuição do volume de massa produzido durante o processo de fermentação, fato este que pôde ser observado neste estudo, ao analisarmos a figura 37, onde, independente da formulação utilizada, houve redução no volume de massa produzido durante a fermentação.

Outros fatores podem influenciar as propriedades da massa após o congelamento, como a liberação de componentes com a morte das leveduras (enzimas, agentes químicos como glutationa), prejudicando as capacidades expansivas da massa (INOUE e BUSHUK, 1996).

A tabela 42 apresenta o volume produzido durante a fermentação das massas em função do tempo de estocagem congelada.

Tabela 42 – Volume produzido (ΔV) durante a fermentação das massas.

Formulação[1]	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$21{,}50^{Ac}\pm1{,}32$	$13{,}00^{Dc}\pm1{,}00$	$11{,}58^{Dd}\pm0{,}38$	$8{,}33^{Bc}\pm0{,}57$	$5{,}00^{Cd}\pm0{,}50$
T1	$21{,}66^{Ac}\pm1{,}52$	$14{,}00^{Dc}\pm1{,}00$	$12{,}67^{Dd}\pm0{,}57$	$9{,}00^{Bbc}\pm1{,}00$	$5{,}67^{Cd}\pm0{,}57$
T2	$21{,}00^{Ac}\pm1{,}00$	$14{,}50^{Bc}\pm0{,}50$	$14{,}66^{Ba}\pm0{,}46$	$10{,}83^{Cb}\pm0{,}73$	$10{,}67^{Cc}\pm0{,}76$
B1	$32{,}21^{Ab}\pm0{,}31$	$29{,}48^{Ba}\pm0{,}19$	$23{,}74^{Cb}\pm0{,}25$	$21{,}33^{Da}\pm0{,}27$	$16{,}09^{Ea}\pm0{,}43$
B2	$32{,}15^{Ab}\pm0{,}29$	$27{,}21^{Bb}\pm0{,}12$	$20{,}97^{Cc}\pm0{,}22$	$18{,}17^{Dd}\pm0{,}72$	$10{,}39^{Ec}\pm0{,}21$
A1	$33{,}33^{Ab}\pm1{,}59$	$27{,}33^{Bb}\pm2{,}08$	$22{,}66^{Cb}\pm1{,}52$	$19{,}90^{Dd}\pm1{,}00$	$13{,}33^{Eb}\pm1{,}32$
A2	$30{,}66^{Aa}\pm2{,}03$	$25{,}00^{Bb}\pm4{,}00$	$19{,}33^{Dc}\pm1{,}48$	$18{,}02^{Dd}\pm1{,}15$	$13{,}92^{Cb}\pm1{,}88$

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0{,}05$) entre si. Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Ao compararmos os volumes produzidos pelas formulações B1 e B2, no tempo zero, onde a manutenção da viabilidade das leveduras desta última foi maior, temos que o volume produzido por B1 foi maior que B2, este resultado reforça o indício que a adição de 30 g de polidextrose e brócolis em pó promoveu maiores prejuízos à rede do glúten, não pelo congelamento, mas sim pela adição de farinhas não formadoras de glúten, com o seu enfraquecimento a massa tem a sua capacidade de retenção de gás carbônico reduzida, o que levou às diferenças significativas a partir do 15° dia de armazenamento congelado. Este comportamento não foi observado para as formulações adicionadas de tomate em pó, onde a T2 obteve maiores volumes quando comparado à T1, para as formulações de açaí, ao final de 60 dias as diferenças não foram estatisticamente significativas, conforme exemplifica a tabela 37.

Foi observado que não houve diferenças significativas entre os volumes produzidos pela formulação padrão entre o 15° e 30° dia de armazenamento congelado, o mesmo ocorreu para a T1 e T2, onde também não houve diferenças para o período correspondente entre o 45° e 60° dia.

As formulações B1 e B2 apresentaram a mesma tendência, todos os volumes diferiram entre si ao nível de 5% de significância, resultado semelhante foi obtido para a A1. Para a formulação A2, não houve diferenças significativas entre os volumes produzidos no 30° e 45° dia de armazenamento.

Entre as amostras, no tempo zero, não houve diferenças significativas entre os volumes produzidos por B1, B2 e A2, bem como com a Padrão, T1 e T2. Decorridos 15 dias de armazenamento, Padrão, T1 e T2 continuaram não apresentando diferenças significativas entre si e produzido os menores volumes durante o período, as formulações adicionadas de brócolis e açaí em pó não diferiram entre si ao nível de 5% de significância, tendo o maior volume produzido pela B1.

Após 30 dias de armazenamento, não houve diferenças significativas entre os volumes produzidos pela formulação Padrão e T1; B1 e A1; B2 e A2, apenas a T2 diferiu das demais. Com 45 dias, apenas as formulações A1, A2 e B2 não diferiram estatisticamente entre si, o maior volume produzido observado foi de B1 (21,33 mL). Ao final de 60 dias de armazenamento congelado, a formulação B1 permaneceu com o maior valor produzido (16,09 mL), diferindo estatisticamente das demais, não apresentaram diferenças entre si a formulação Padrão e T1; T2 e B2; A1 e A2.

A adição de quantidades dobradas de levedura e a sua relação com o volume produzido por massas doces congeladas foi estudado por Meziani *et al*. (2012a), o comportamento encontrado foi o mesmo para este estudo, quanto maior o tempo de armazenamento congelado, menor foi o volume de massa produzido durante a fermentação.

De Bona (2002) verificou quanto menor a temperatura de congelamento empregada, menor foi o volume de gás carbônico produzidos, em seu estudo, avaliou o volume produzido pelas massas frescas, congelada a -20 °C e -40 °C, bem como a -80 °C, onde foi observado o menor volume produzido.

Uma alternativa para minimizar os danos com relação a perca do volume produzido durante a fermentação foi estudado por Steffolani *et al*. (2012), utilizando a enzima glucose oxidase, em concentrações de 0,005% e 0,01% em base de farinha de trigo, conseguiram reduzir o decréscimo do volume das massas durante a estocagem congelada por até 9 semanas de 23,74% para 11,57% e 7,30%. Quando a enzima utilizada foi a pentosanase, os resultados não foram satisfatórios, os autores também estudaram o uso da transglutaminase, que apresentou efeitos benéficos em concentrações de 0,1% e 0,5%, promovendo diminuição de 16,22% e 11,66% na redução do volume produzido durante a fermentação, quando comparado com as massas controle, sem a adição de qualquer enzima.

3.1.6 Fator de expansão das massas não-congelada e congelada por até 60 dias

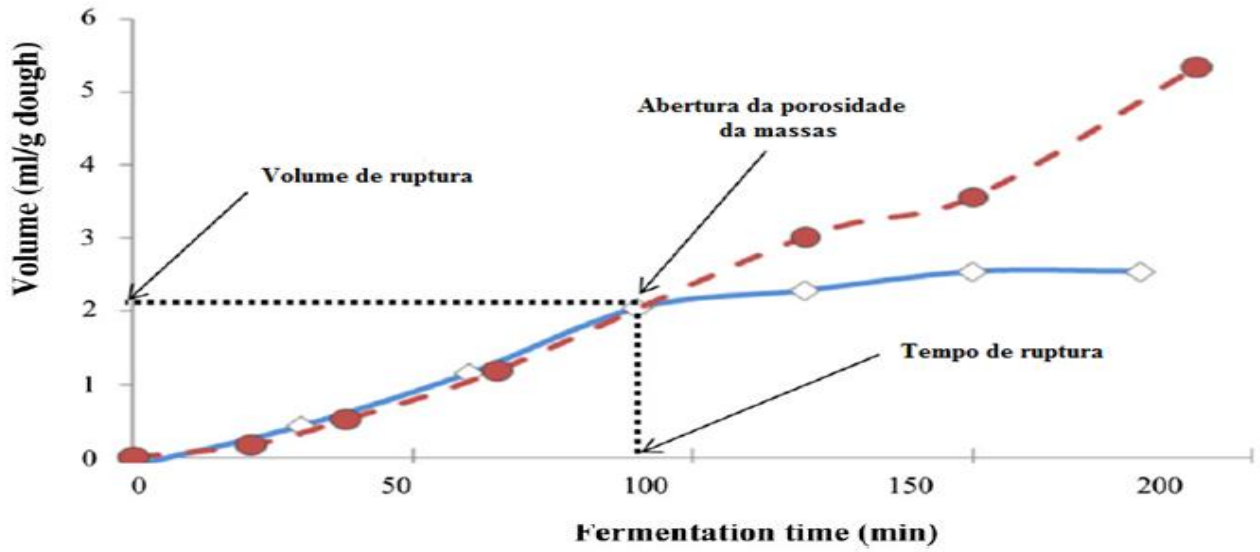
A perda da força da massa pode ser explicada pela mudança na estrutura do glúten, rede de proteínas capaz de reter CO2 durante a fermentação (NICOLAS *et al*., 2003). No congelamento, dois processos podem ocorrer simultaneamente e mudar a reologia do glúten (BERGLUND, SHELTON e FREEMAN, 1991).

O crescimento de cristais de gelo, que pode romper a rede de glúten mediante danos físicos, e a desidratação do glúten com o crescimento de cristais de gelo (BOT, 2003). A determinação do fator de expansão das massas através do uso da técnica do perfil livre de expansão fornece dados importantes sobre a velocidade da fermentação e permite identificar eventuais danos

e rupturas na rede de glúten ocasionados pelo congelamento ou adição de outros ingredientes não formadores de glúten.

A figura 25 foi desenvolvida por Meziani *et al*. (2012b) que explica, através de gráfico, o comportamento da massa durante a fermentação, com base no volume produzido.

Figura 25 - Abertura da porosidade da massa representando a ruptura da rede de glúten. (Fonte: Meziani *et al*. (2012b))



A linha azul representa o volume da massa durante o processo de fermentação, é possível notar que a partir dos 100 minutos a taxa de crescimento começa a decrescer, isso caracteriza o ponto máximo que a massa suporta às pressões gasosas geradas durante a fermentação, a partir deste ponto, pelo perfil livre de expansão, a massa começa a expandir-se horizontalmente ao invés de verticalmente, reduzindo os valores do fator de expansão, conforme pode ser observado neste estudo.

A linha vermelha indica a produção de gás carbônico durante a fermentação, mesmo após a abertura dos poros da massa, o que leva ao escape do gás, a sua produção pelas leveduras não cessa, não havendo relação com a viabilidade celular danificada pelo congelamento.

Durante a avaliação do fator de expansão, ocorreram três fases:

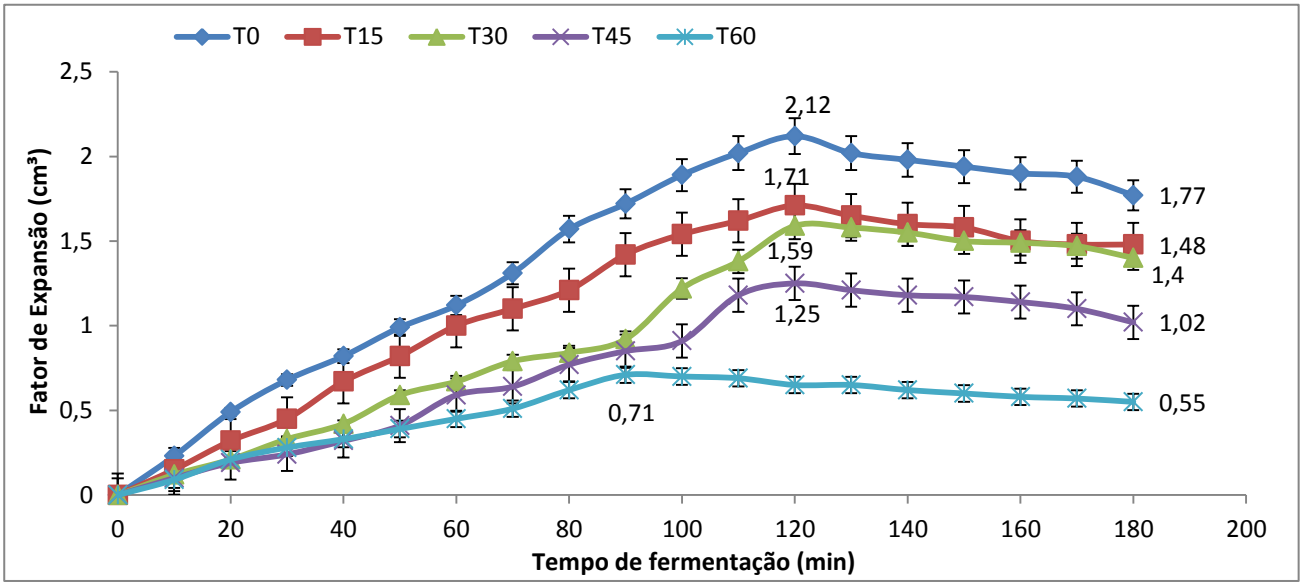
a) Tempo de retardamento: correspondente ao tempo de adaptação do metabolismo da levedura ao meio e do equilíbrio da temperatura da massa com a ambiente (T = 28±2 ºC).

b) Fase exponencial: período em que a taxa de expansão é máxima, com constante produção e liberação de gás carbônico.

c) Fase de declínio: menor taxa de expansão da massa e indícios de danos por congelamento à rede de glúten caracterizado pela redução do fator de expansão

A figura 26 mostra o comportamento do fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas padrão nos tempos de armazenamento congelado estudados.

Figura 26 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação de massas padrão.



T0 = Massas sem armazenamento congelado; T15 = 15 dias de armazenamento congelado; T30 = 30 dias de armazenamento congelado; T45 = 45 dias de armazenamento congelado; T60 = 60 dias de armazenamento congelado.

Devido à redução das células viáveis de levedura a evolução do fator de expansão (VEF) das massas armazenadas congeladas ocorreu de forma mais lenta.. O VEF máximo diminuiu ao longo do tempo de armazenamento congelado, o maior valor foi obtido para a massa não congelada (2,12 cm³), para 15 dias congeladas, o fator de expansão máximo foi de 1,71 cm³, seguido de 1,59 cm³ para 30 dias; 1,25 cm³ para 45 dias e 0,7 cm³ aos 60 dais. O menor VEF máximo obtido pelas massas, quando comparadas à massa não-congelada, sugere danos à estrutura do glúten devido ao congelamento.

A produção de gás carbônico durante a fermentação relaciona-se com o fator de expansão das massas, tendo em vista que a retenção deste gás na matriz protéica do glúten é o responsável por esta expansão, quanto maior o percentual de gás produzido, maior será o fator de expansão. Quando há danos, fissuras ou ruptura do glúten, o fator de expansão máximo sofre redução em seu valor, devido a abertura da porosidade da massa.

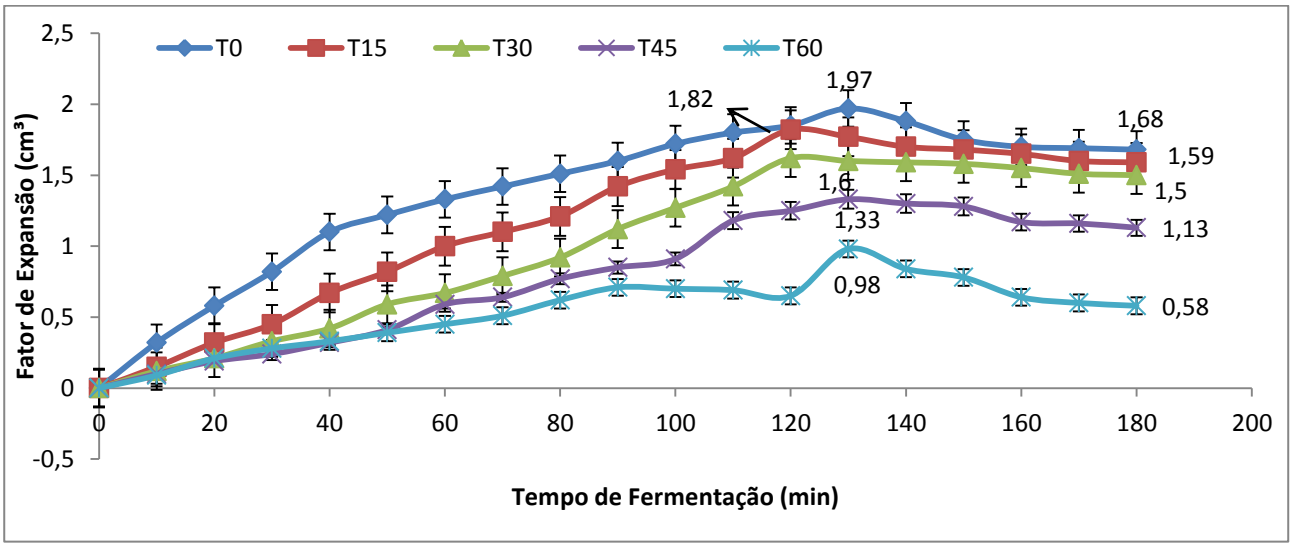
A dimunuição do poder de gaseificação da massa foi comprovada por Meziani et al. (2012b), onde no tempo zero de armazenamento congelado a produção foi de 5,01 mL/g, variando a

2,39 mL/g após 63 dias de estocagem, esta informação está relacionada com a figura 39, uma vez que, além da abertura da porosidade da massa, observa-se que as massas armazenadas a 45 e 60 dias tem um crescimento do fator de expansão de forma mais lenta, quando comparado aos demais tempos de armazenamento, o que pode ser comprovado pelos coeficientes das equações de regressão geradas, portanto, com a provável menor produção de gás, menor é a expansão da massa nos primeiros estágios da fermentação antes da abertura da porosidade da massa.

Ribotta *et al.* (2004) verificaram, através de análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) a ruptura da massa de pão sem levedura, sugerindo que a recristalização do gelo provoca a ruptura da estrutura da massa. Portanto, apesar da menor redução da viabilidade celular, quando comparada à formulação padrão, promovida pela adição da polidextrose e dos vegetais em pó, os fatores de expansão máximos obtidos para a formulação padrão foram próximo das formulações com ingredientes funcionais.

A figura 27 apresenta a evolução do fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas para a produção de pães Tomate 1.

Figura 27 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Tomate 1.



T0 = Massas sem armazenamento congelado; T15 = 15 dias de armazenamento congelado; T30 = 30 dias de armazenamento congelado; T45 = 45 dias de armazenamento congelado; T60 = 60 dias de armazenamento congelado.

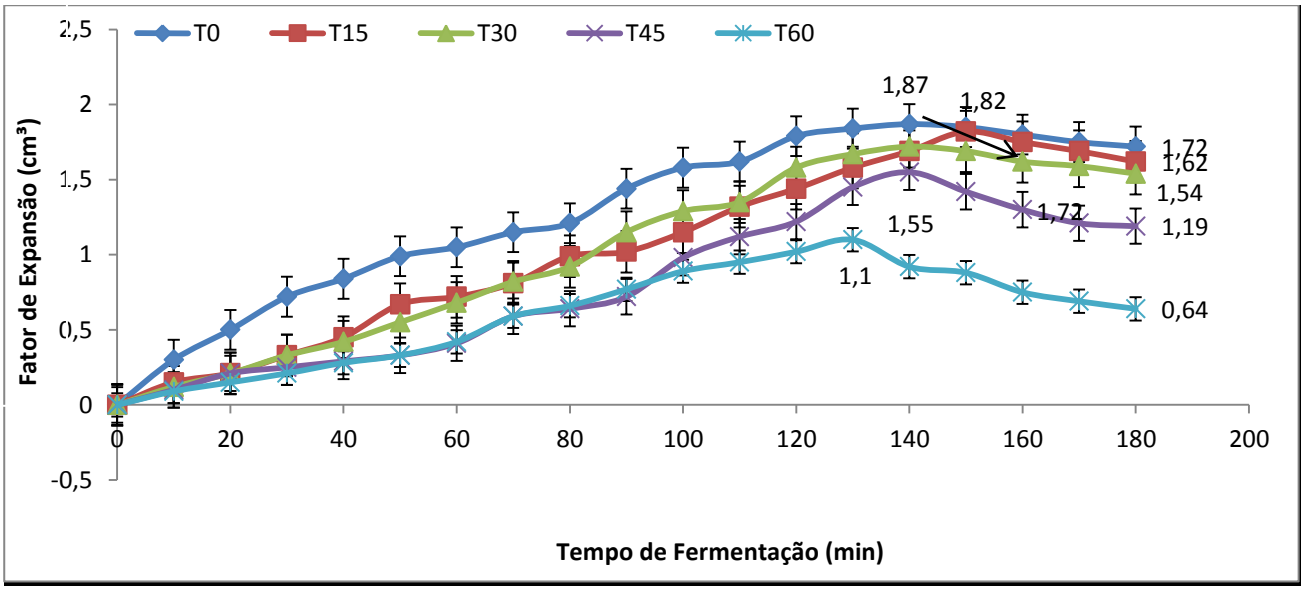
O fator máximo de expansão máximo foi obtido aos 130 minutos de fermentação para todos os tempos de armazenamento congelado, com exceção do 15º dia. O maior valor observado foi da massa não-congelada (1,97 cm³), para os demais tempos o comportamento foi semelhante ao obtido pelas massas padrão, entretanto, os valores finais do fator de expansão das massas adicionadas de 5% de polidextrose e tomate em pó foram superiores.

Meziani *et al*. (2012b) também observaram que, assim como o poder de gaseificação diminuiu com o armazenamento congelado, o volume de massas produzidos durante a fermentação também decresceu, variando de 3,02 mL/g a 1,54 mL/g, reduzindo praticamente em duas vezes o seu volume.

Estocagem de massas de pão sob congelamento por 12 semanas aumentou o tempo de fermentação, provavelmente por redução adicional na viabilidade das células de levedura. Ocorreu também redução significativa no volume do pão após esse período sem considerar o ciclo de gelo-degelo (BHATTACHARYA, LANGSTAFF e BERZONSKY, 2003). Este efeito pôde ser observado no presente estudo, uma vez que as massas estocadas em períodos superiores há 30 dias, obtiveram taxas de crescimento do fator de expansão menores ao longo do tempo de fermentação.

A figura 28 apresenta o fator de expansão ao longo do do tempo de fermentação das massas para a produção dos pães Tomate 2.

Figura 28 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Tomate 2.

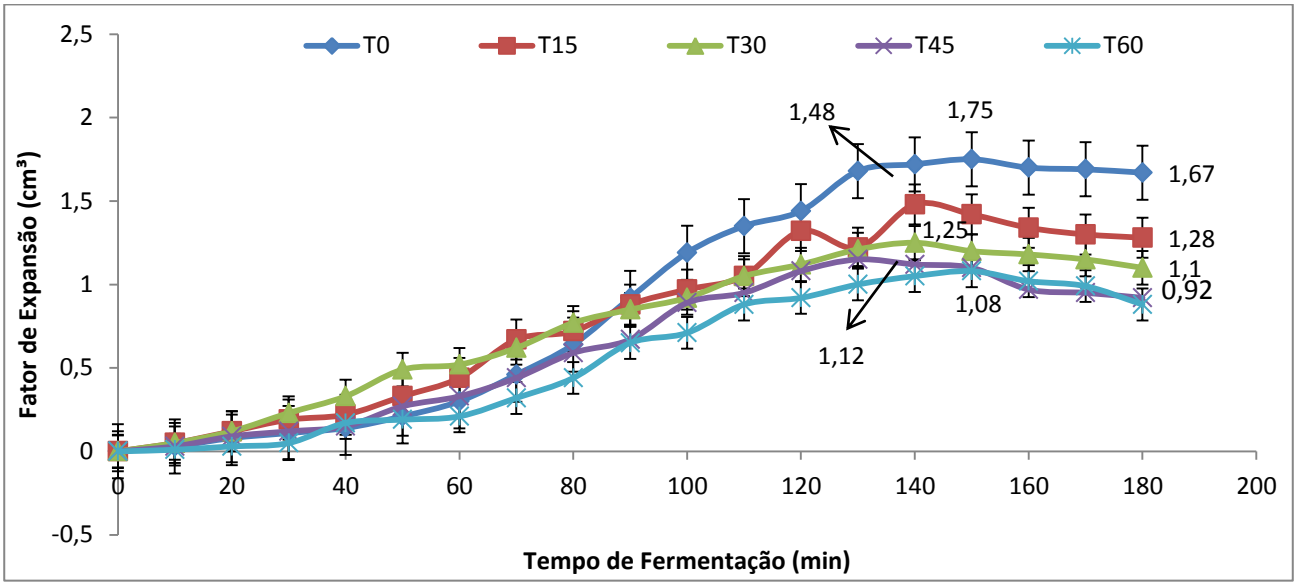


T0 = Massas sem armazenamento congelado; T15 = 15 dias de armazenamento congelado; T30 = 30 dias de armazenamento congelado; T45 = 45 dias de armazenamento congelado; T60 = 60 dias de armazenamento congelado.

Quanto maior o tempo de armazenamento congelado, menor foi o fator de expansão máximo obtido pelas massas para a produção de pães T2, com 10% de polidextrose e 10% de tomate em pó, o armazenamento congelado por 60 dias, produziu um fator de expansão máximo de 1,10 cm³; 1,55 cm³ para 45 dias, 1,72 cm³ para 30 dias; 1,82 cm³ e 1,87 cm³ para 15 e zero dias de armazenamento congelado das massas, respectivamente. O ponto de abertura da porosidade das massas ocorreu entre 130 e 150 minutos de fermentação.

A figura 29 fornece os fatores de expansão ao longo do tempo de fermentação para as massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias da formulação Brócolis 1 (B1).

Figura 29 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Brócolis 1.



T0 = Massas sem armazenamento congelado; T15 = 15 dias de armazenamento congelado; T30 = 30 dias de armazenamento congelado; T45 = 45 dias de armazenamento congelado; T60 = 60 dias de armazenamento congelado.

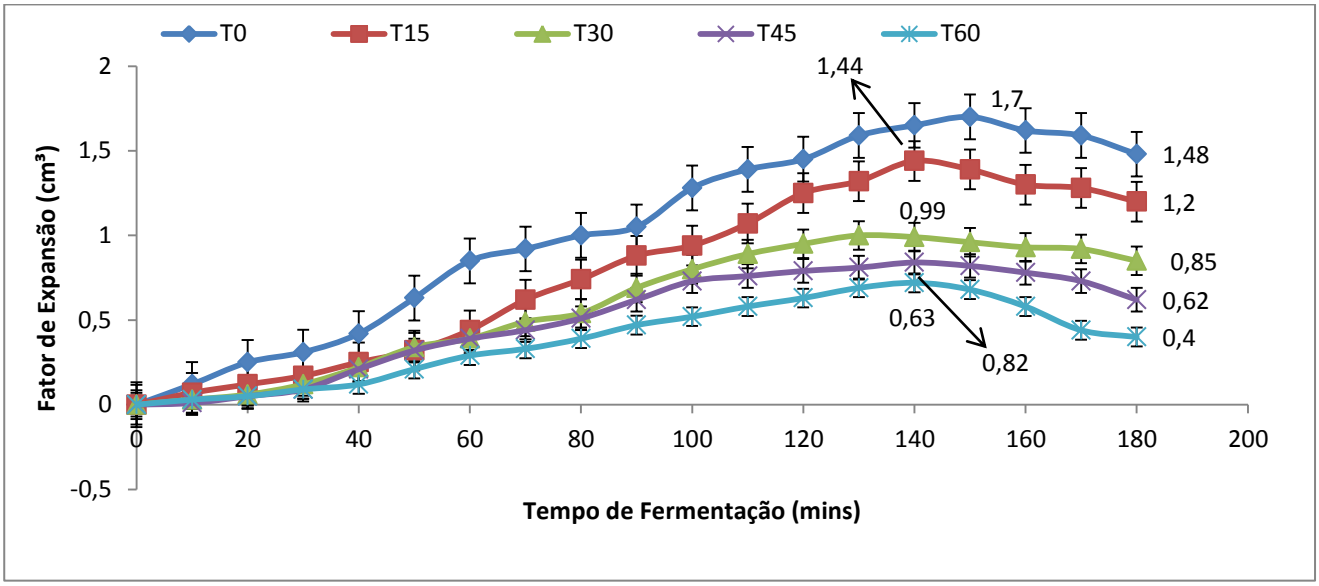
O fator de expansão máximo obtido pela formulação B1 com a massa não-congelada foi de 1,75 cm³ aos 150 minutos, onde ocorreu a abertura da porosidade da massa, descrescendo o VEF até valores de 1,67 cm³.

O comportamento observado para as formulações padrão e as adicionadas de polidextrose e tomate em pó foi semelhante para a B1, decoridos 15 dias de armazenamento congelado, o VEF máximo obtido foi de 1,48 cm³ aos 140 minutos de fermentação, a redução após a abertura da porosidade da massa foi até 1,28 cm³, inferior aos obtidos pela formulação Padrão, T1 e T2. Com 30 dias de armazenamento congelado, o VEF máximo foi de 1,25 cm³, reduzindo até 1,10 cm³, após 45 dias, foi de apenas 1,12 cm³ e passados 60 dias, o VEF máximo obtido foi de 1,08 cm³, superior aos das formulações Padrão, e T1.

De Bona (2002) avaliou que a produção de CO_2 das leveduras diminuiu em função do tempo de estocagem, sugerindo que durante este período, ocorreu maior destruição de leveduras durante o congelamento, o que reforça a queda dos valores de fator de expansão ao longo do tempo de armazenamento congelado das massas.

A figura 30 apresenta o comportamento do fator de expansão (VEF) durante o tempo de fermentação das massas para a produção de pães brócolis 2 (B2).

Figura 30 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Brócolis 2.



T0 = Massas sem armazenamento congelado; T15 = 15 dias de armazenamento congelado; T30 = 30 dias de armazenamento congelado; T45 = 45 dias de armazenamento congelado; T60 = 60 dias de armazenamento congelado.

De acordo com a figura, o armazenamento congelado prejudicou o fator de expansão das massas para a produção de pães B2, nas massas não-congeladas, o VEF máximo foi de 1,70 cm³, para 15 dias de armazenamento descresceu para 1,48 cm³, ao 30° dia, apresentou a maior redução dentre todos os tempos estudados, obtendo 0,99 cm³, para os demais tempos (45° e 60° dia) a diminuição do fator de expansão máximo obtido foi menor, com 0,82 cm³ e 0,63cm³, respectivamente.

Embora a manutenção da viabilidade celular das formulações adicionadas de polidextrose e brócolis em pó tenham sido superiores às formulações com tomate em pó e a padrão, os resultados obtido para o VEF fornece informações importantes sobre a ação negativa do brócolis em pó sobre a matriz protéica do glúten, a enfraquecendo, gerando fatores de expansão menores.

Foi verificado por microscopia eletrônica de varredura que após 24 semanas de estocagem de massa sob congelamento, a matriz de glúten ficou menos contínua, mais rompida, separada dos grânulos de amido e as fibras do glúten mais finas. Isso poderia explicar a pobre retenção de gás e o decréscimo no volume nos pães resultantes (BERGLUND, SHELTON e FREEMAN, 1991), este fato pode explicar que mesmo com a manutenção de praticamente 50% das células viáveis de levedura após 60 dias de armazenamento congelado, a formulação B1 obteve redução significativa no fator de expansão ao longo do tempo de fermentação.

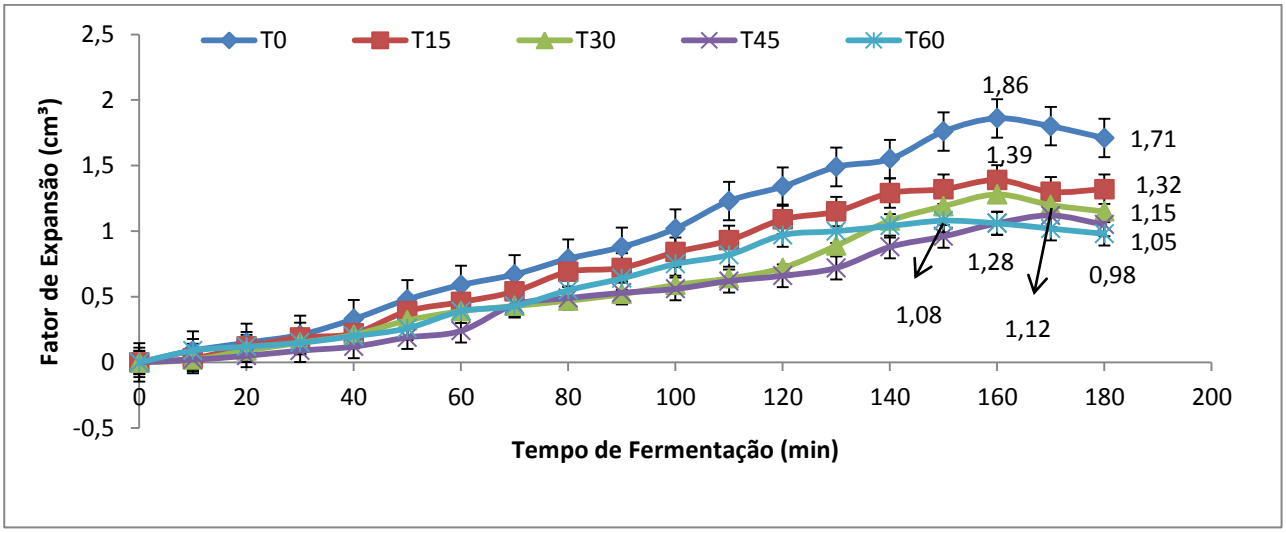
Assim como nas demais formulações estudadas anteriormente, o comportamento continuou sendo o mesmo, quanto maior o período de armazenamento congelado, menor foi a dependência do fator de expansão das massas do tempo de fermentação. Pôde-se perceber que para

a massa não-congelada o coeficiente foi de apenas 0,0080, se compararmos com a formulação padrão, T1, T2 e B1, os valores foram de 0,0293; 0,0270; 0,0219 e 0,0121, respectivamente, o que reforça a hipótese de que o brócolis promove danos de maior intensidade à rede de glúten.

A minimização destes danos pode ser feita através da utilização de alguns aditivos reforçadores de massa, o que não foi avaliado neste estudo, pois optou-se por estudar as massas sem a utilização de aditivos alimentares para uma melhor visualização dos efeitos do armazenamento congelado na qualidade dos pães.

A figura 31 apresenta o comportamento do fator de expansão das massas ao longo do tempo de fermentação para a produção de pães Açaí 1, provenientes de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.

Figura 31 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Açaí 1.

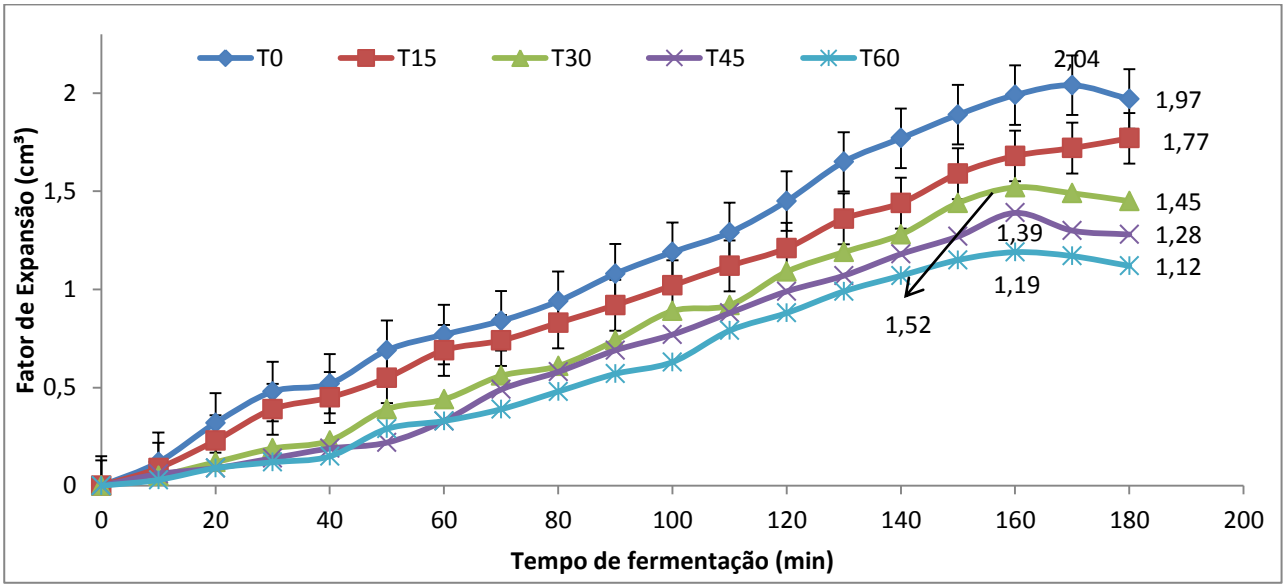


T0 = Massas sem armazenamento congelado; T15 = 15 dias de armazenamento congelado; T30 = 30 dias de armazenamento congelado; T45 = 45 dias de armazenamento congelado; T60 = 60 dias de armazenamento congelado.

O fator máximo de expansão obtido para as massas não-congeladas A1 foi de 1,86 cm³ aos 160 minutos de fermentação, seguido de 1,39 cm³ para 15 dias de armazenamento. Aos 30 dias, o VEF foi de 1,28 cm³, os resultados para os 45° e 60° dia foram semelhantes; 1,12 cm³ e 1,08cm³, este último, a porosidade da massa foi abertura com maior brevidade do que os demais, aos 130 minutos, evidenciando maiores danos ao glúten pelo congelamento.

A figura 32 apresenta o comportamento do fator de expansão das massas durante o processo de fermentação para a produção de pães A2.

Figura 32 - Fator de expansão ao longo do tempo de fermentação das massas Açaí 2.



T0 = Massas sem armazenamento congelado; T15 = 15 dias de armazenamento congelado; T30 = 30 dias de armazenamento congelado; T45 = 45 dias de armazenamento congelado; T60 = 60 dias de armazenamento congelado.

O comportamento do fator de expansão das massas A2 foi semelhante aos das massas padrão, o VEF máximo das massas não-congeladas foi de 2,04 cm³, aos 170 minutos, ao 15° dia, o VEF máximo reduziu para 1,77 cm³, entretanto, como ocorreu apenas aos 180 minutos, tempo máximo de fermentação estipulado neste estudo, não foi possível avaliar se o fator de expansão continuaria sendo elevado ou a porosidade da massa iria ser aberta.

Decorridos 30 dias de armazenamento congelado, o VEF máximo obtido foi de 1,52 cm³, seguido de 1,39 cm³ para o 45° dia, a abertura da porosidade para ambos os tempos de armazenamento ocorreram em 160 minutos, por fim, quando foram passados 60 dias, o VEF foi de 1,19 cm³, sendo o melhor resultado final dentre todas as formulações estudadas, isto se deve a grande parte pela manutenção das células de levedura, que foi de 51,07%, em contrapartida, o açaí em pó mostrou-se produzir danos menos agressivos à rede do glúten quando comparado ao brócolis e ao tomate em pó.

O fator de expansão das massas foi estudado por Meziani *et al*. (2012b), ao analisar massas congeladas pelo método de ar forçado, utilizando temperaturas de -20 ºC, -30 ºC e -40 ºC e massas congeladas através de nitrogênico líquido (-20 °C). Foram obtidos resultados semelhantes aos encontrados neste estudo, quanto menor foi a temperatura empregada, menor a viabilidade celular e consequentemente menor foi o fator de expansão das massas após 120 minutos de fermentação, a taxa de congelamento rápido, promovida pelo uso do nitrogênio líquido gerou maior redução da viabilidade celular. Os fatores máximos obtidos variaram entre 0,32 cm³, para as massas congeladas por imersão em nitrogênio líquido, a 2,10 cm³ para a massa não-congelada.

Sasano *et al*. (2012) utilizaram os crioprotetores de células de levedura prolina e trealose em massas congeladas para a produção de pães, ao avaliarem a capacidade fermentativa verificaram um aumento no fator de expansão das massas, o que reforça a ação da polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó como crioprotetores das células, uma vez que estes também promoveram o aumento do fator de expansão das massas, quando comparados à formulação padrão.

A tabela 43 fornece os fatores de expansão máximos para as massas das formulações desenvolvidas durante o período de armazenamento congelado como forma de comparação.

Tabela 43 - Valores do fator de expansão máximo das massas e resultados do teste de Tukey – Quadro Resumo.

	Tempo de armazenamento congelado das massas (dias)				
Formulação	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$2{,}12^{Ba}\pm0{,}33$	$1{,}71^{BCa}\pm0{,}06$	$1{,}59^{BCa}\pm0{,}11$	$1{,}25^{Cbc}\pm0{,}18$	$0{,}71^{Aac}\pm0{,}20$
T1	$1{,}97^{Ca}\pm0{,}12$	$1{,}82^{Ca}\pm0{,}08$	$1{,}60^{ACa}\pm0{,}19$	$1{,}33^{ABbc}\pm0{,}12$	$0{,}98^{Babc}\pm0{,}15$
T2	$1{,}87^{Ba}\pm0{,}19$	$1{,}82^{Ba}\pm0{,}13$	$1{,}72^{Ba}\pm0{,}12$	$1{,}55^{Bb}\pm0{,}17$	$1{,}10^{Abc}\pm0{,}17$
B1	$1{,}75^{Aa}\pm0{,}27$	$1{,}48^{ABa}\pm0{,}28$	$1{,}25^{ABa}\pm0{,}10$	$1{,}12^{Bac}\pm0{,}09$	$1{,}08^{Bbc}\pm0{,}13$
B2	$1{,}70^{Aa}\pm0{,}08$	$1{,}44^{Aa}\pm0{,}19$	$0{,}99^{Ba}\pm0{,}17$	$0{,}82^{Bc}\pm0{,}13$	$0{,}63^{Ba}\pm0{,}19$
A1	$1{,}86^{Aa}\pm0{,}15$	$1{,}39^{Ba}\pm0{,}21$	$1{,}28^{BCa}\pm0{,}13$	$1{,}12^{BCac}\pm0{,}11$	$0{,}98^{Cabc}\pm0{,}12$
A2	$2{,}04^{Aa}\pm0{,}28$	$1{,}77^{ABa}\pm0{,}17$	$1{,}52^{ACa}\pm0{,}18$	$1{,}39^{ACb}\pm0{,}16$	$1{,}19^{Cb}\pm0{,}08$

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0{,}05$) entre si. Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

As sete formulações de pães tipo forma desenvolvidas não apresentaram diferenças significativas, ao nível de 5% de significância entre os fatores de expansão máximos durante os trinta primeiros dias de armazenamento. A partir do 45° dia de armazenamento congelado, as formulaões padrão e T1; T2 e A2; B1 e B2 não apresentaram diferenças entre si, tendo a A1 diferido de todas elas. Ao 60° dia, as formulações T2 e A2 não diferiram entre si, e obtiveram os maiores valores para o VEF máximo, a padrão diferiu de todasas amostras, o menor valor foi observado pela formulação B2.

Ao analisarmos o fator de expansão máximo de cada formulação ao longo do tempo de armazenamento, temos que para a formulação padrão, não houve diferenças significativas entre o 15° e 30° dia. Para a T1, não houve diferenças entre os fatores de expansão até o 15° dia de armazenamento congelado. Já para T2, só houve diferença significativa após o 45° dia, indicando que a adição de 10% de polidextrose e tomate em pó promoveu menores perdas de fator de expansão ao longo do tempo.

Para as formulações adicionadas de polidextrose e brócolis em pó, onde B1 apresentou diferenças significativas entre o 15° e o 30° dia e entre o 45° e 60° dia de armazenamento, enquanto que a formulação B2, apresentou diferenças apenas até o 15° dia. A A1 não apresentou diferenças significativas entre o 30° e 45° dia de armazenamento, mesmo comportamento observado na formulação A2.

Produtos de panificação produzidos a partir de massas congeladas são de menor qualidade do que pães preparados a partir de massas frescas. Os pães possuem um volume menor e requerem maior tempo de fermentação, conforme afirmam Nilüfer *et al*. (2008), o que ficou evidenciado na avaliação dos fatores de expansão das massas.

Alterações prejudicias ocorrem durante o armazenamento congelado e podem ser contornadas em vários graus por adição de aditivos alimentares ou pela utilização de farinhas especiais ou mistas. (SIMMONS *et al*., 2012b), fato que foi comprovado pelo uso da polidextrose e dos vegetais em pó, que proporcionaram menores perdas de levedura viáveis, maior capacidade fermentativa e consequentemente produziram fatores de expansão foram maiores durante o tempo de armazenamento congelado, quando comparados às massas padrão, conforme resultados mostrados anteriormente.

A resistência das leveduras é bastante prejudicada a medida que a temperatura é reduzida. A ocorrência destes fatores geralmente são caracterizados devido as modificações nas propriedades das massas congeladas (DE BONA, 2002), de certo modo, a adição dos ingredientes funcionais agiu como crioprotetores das células de levedura, garantindo um maior fator de expansão máximo das massas após 30 dias de armazenamento congelado quando comparados à formulação padrão.

3.1.7 Efeito do armazenamento congelado de massas no volume específico

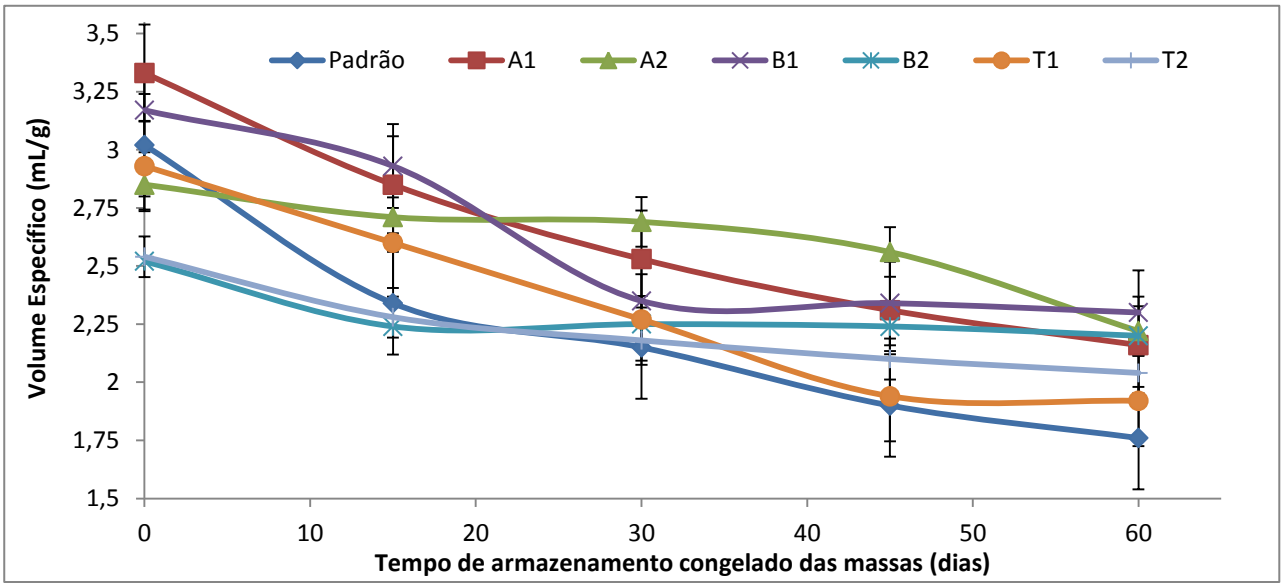
A figura 33 mostra o comportamento do volume específico dos pães desenvolvidos em função do tempo de armazenamento congelado das massas.

O tempo de armazenamento congelado das massas foi prejudicial ao volume específico dos pães para todas as formulações estudadas. A formulação padrão, sem a adição de ingredientes funcionais, obteve a maior redução do volume específico ao longo do tempo, de 1,26 mL/g, diferentemente da amostra B2 que proporcionou uma redução de apenas 0,32 mL/g no volume específico, este fato pode ser atribuído à maior manutenção da viabilidade celular das leveduras durante o tempo de estocagem congelada.

Todas as formulações adicionadas de ingredientes funcionais obtiveram volumes específicos maiores que a formulação padrão a partir do 30° dia de armazenamento congelado, apenas os volumes das formulações T2 e B2 foram menores que a padrão antes deste período.

Com exeção da formulação B2, todos os volumes específicos foram explicados em funções lineares dependentes do tempo de armazenamento congelado das massas.

Figura 33 – Volume específico dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento não-congelado e congelado das massas por até 60 dias.



Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

A redução das propriedades de fermentação e expansão das massas congeladas foi sempre atribuída a perda da atividade de leveduras (ROSELL e GOMEZ, 2007), o que tem efeito direto sobre o volume específico e a densidade dos pães.

A tabela 44 fornece os valores de volume específico dos pães tipo forma provenientes de massas congeladas por até 60 dias.

Para as massas não-congeladas, o volume específico da formulação padrão não diferiu estatisticamente de T1, também não apresentaram diferenças entre si as formulações T2 e B2, as demais apresentaram diferenças significativas, o maior volume específico foi observado pela formulação Açaí 1, com 3,33 mL/g e o menor pela Brócolis 2, com 2,52 mL/g.

Tabela 44 – Volume específico dos pães tipo forma.

Formulação[1]	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$3{,}02^{Ac}\pm0{,}06$	$2{,}34^{Bb}\pm0{,}10$	$2{,}15^{Ce}\pm0{,}04$	$1{,}90^{De}\pm0{,}06$	$1{,}76^{Ef}\pm0{,}11$
T1	$2{,}93^{Ac}\pm0{,}07$	$2{,}60^{Bc}\pm0{,}05$	$2{,}17^{Ce}\pm0{,}07$	$1{,}94^{De}\pm0{,}10$	$1{,}92^{De}\pm0{,}09$
T2	$2{,}54^{Ae}\pm0{,}06$	$2{,}28^{Bd}\pm0{,}02$	$2{,}18^{Ce}\pm0{,}02$	$2{,}10^{Dd}\pm0{,}03$	$2{,}04^{Dd}\pm0{,}04$
B1	$3{,}19^{Ab}\pm0{,}09$	$2{,}93^{Ba}\pm0{,}12$	$2{,}35^{Cc}\pm0{,}03$	$2{,}34^{Cb}\pm0{,}09$	$2{,}30^{Ca}\pm0{,}07$
B2	$2{,}52^{Ae}\pm0{,}04$	$2{,}24^{Bd}\pm0{,}07$	$2{,}25^{Bd}\pm0{,}04$	$2{,}24^{Bc}\pm0{,}07$	$2{,}20^{Bb}\pm0{,}12$
A1	$3{,}33^{Aa}\pm0{,}07$	$2{,}85^{Ba}\pm0{,}02$	$2{,}53^{Cb}\pm0{,}01$	$2{,}31^{Db}\pm0{,}08$	$2{,}16^{Ec}\pm0{,}02$
A2	$2{,}85^{Ad}\pm0{,}02$	$2{,}71^{Bb}\pm0{,}01$	$2{,}69^{Ba}\pm0{,}02$	$2{,}56^{Ca}\pm0{,}01$	$2{,}22^{Db}\pm0{,}01$

[1]Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha e com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ($p \leq 0{,}05$) entre si.

Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Após 15 dias em armazenamento congelado, apenas as amostras padrão e tomate 2 não apresentaram diferenças significativas, a formulação Açaí 1 apresentou o maior volume específico (2,85 mL/g) e Brócolis 2, o menor (2,24 mL/g)

Decorridos 30 dias de armazenamento congelado, a amostra padrão não diferiu estatisticamente ao nível de 5% de significância das amostras adicionadas de polidextrose e tomate em pó, o maior volume específico foi obtido pela amostra Açaí 2; 2,69 mL/g; e o menor para a padrão com 2,15 mL/g.

Com 45 dias de armazenamento congelado, a formulação padrão não diferiu estatisticamente da Tomate 1, bem como a Brócolis 1 da Açaí 1, o maior volume específico foi observado para a formulação Açaí 2 (2,56 mL/g) e o menor para a formulação padrão, com 1,90 mL/g. Após 60 dias de armazenamento congelado das massas, todos os valores de volume específico dos pães tipo forma diferiram entre si, ao nível de 5% de significância, onde o menor valor foi obtido pela amostra padrão (1,76 mL/g) e o maior pela amostra Brócolis 1 (2,30 mL/g).

O tempo de armazenamento para todas as formulações apresentou efeito negativo, ao nível de 5% de significância no volume específico, as menores reduções foram observadas pelas formulaçãos adicionadas de polidextrose e brócolis em pó, onde todas foram menores de 0,89 mL/g, diferindo das demais, que pelo menos apresentaram uma formulação com redução maior que 1,01 mL/g, o que sugere que o brócolis em pó e a polidextrose possuem efeito benéfico sobre a estrutura do glúten ou às células de levedura, tendo em vista que estes dois parâmetros sofrem danos com o congelamento e prejudicam as características físicas dos pães, conforme estudos desenvolvidos por Cauvain (2009); Carr e Tadini (2003); Ribotta *et al*. (2003a).

De acordo com Capriles (2011), o volume específico é uma importante propriedade física dos pães, uma vez que exerce forte influência na preferência do consumidor. A redução do volume específico de pães provenientes de massas congeladas é relatado na literatura. Wang *et al*. (2007) estudaram o efeito do extrato de chá verde na qualidade de pães provenientes de processamento de massas congeladas e não-congeladas e verificaram que o armazenamento congelado de massas por até nove semanas promoveu a redução dos volumes específicos dos pães e que a utilização do extrato de chá verde atenuou esta redução, comportamento semelhante ao observado para o uso da polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó utilizados no estudo. O mesmo efeito foi causado quando a proteína do leite e melhoradores foram adicionados em massas congeladas para a produção de pães em estudo desenvolvido por Shon et al. (2009), ao longo de oito semanas de armazenamento congelado das massas o volume específico dos pães reduziu, em média, 1,0 mL/g.

O decréscimo nos valores do volume específico ao longo do tempo de armazenamento congelado das massas também pode ser explicado pela perda de força da massa, conforme explica Bot (2003), no congelamento, dois processos podem ocasionar este fenômeno: o crescimento dos critais de gelo, que podem romper a rede do glúten mediante danos físicos e por desidratação da rede devido à imobilização da água livre, com sua transformação em gelo.

3.1.8 Efeito do armazenamento congelado de massas na densidade

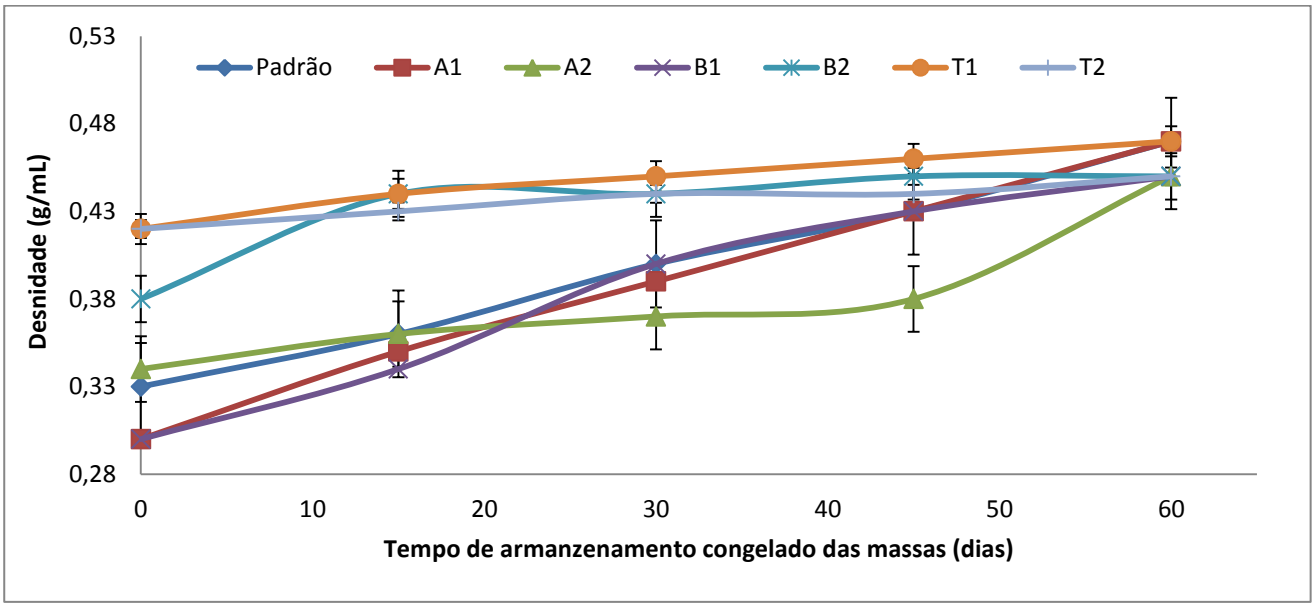
A figura 34 apresenta o comportamento dos valores de densidade das diferentes formulações de pães tipo forma durante o tempo de armazenamento congelado.

As formulações adicionadas de polidextrose e tomate em pó apresentaram a menor elevação na densidade, com 0,05 g/mL e 0,03 g/mL para T1 e T2, respectivamente. A adição de 10% de polidextrose e brócolis em pó (B2) promoveu menor elevação da densidade quando comparado à B1, havendo redução de 50% no aumento da densidade (0,07 g/mL).

A tabela 50 apresenta os valores de densidade dos pães tipo forma obtidos de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.

As densidades dos pães tipo forma provenientes de massas não-congeladas variaram de 0,30 g/mL para a A1 a 0,43 g/mL para a T2, a adição de 10% dos ingredientes funcionais para qualquer formulação promoveu densidades maiores quando a adição foi de 5%. As formulações padrão, A1 e B1 não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Figura 34 – Densidade dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento não-congelado e congelado das massas por até 60 dias.



Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

A tabela 45 apresenta os valores da densidade dos pães tipo forma provenientes de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.

Tabela 45 – Densidade dos pães tipo forma.

	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
Formulação[1]	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$0,33^{Dd}\pm0,02$	$0,36^{CDb}\pm0,01$	$0,40^{BCb}\pm0,01$	$0,43^{ABa}\pm0,02$	$0,47^{Aa}\pm0,02$
T1	$0,42^{Aa}\pm0,01$	$0,44^{ABa}\pm0,02$	$0,45^{ABa}\pm0,01$	$0,46^{Ba}\pm0,01$	$0,47^{Ba}\pm0,02$
T2	$0,43^{Aa}\pm0,02$	$0,43^{Aa}\pm0,01$	$0,44^{Aa}\pm0,02$	$0,44^{Aab}\pm0,01$	$0,45^{Aa}\pm0,01$
B1	$0,30^{Cd}\pm0,02$	$0,34^{Cb}\pm0,02$	$0,40^{Ab}\pm0,01$	$0,45^{Ba}\pm0,02$	$0,45^{Ba}\pm0,01$
B2	$0,38^{Ab}\pm0,01$	$0,44^{Ba}\pm0,02$	$0,44^{Ba}\pm0,01$	$0,45^{Ba}\pm0,01$	$0,45^{Ba}\pm0,02$
A1	$0,30^{Dd}\pm0,02$	$0,35^{CDb}\pm0,02$	$0,39^{BCb}\pm0,02$	$0,43^{ABab}\pm0,01$	$0,47^{Aa}\pm0,03$
A2	$0,34^{Bc}\pm0,01$	$0,36^{Bb}\pm0,03$	$0,37^{Bc}\pm0,00$	$0,38^{Bb}\pm0,02$	$0,45^{Aa}\pm0,02$

[1]Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha e com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si. Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Ao 15° dia de armazenamento congelado, houve elevação dos valores de densidades quando comparados às massas não congeladas, as formualções T1, T2, B2 e A2 não diferiram entre

si ao nível de 5% de significância, o maior valor de densidade foi obtido pela formulação T1 (0,45 g/mL). As formulações B1 e A1 não diferiram da amostra padrão neste período. Decorridos 30 dias de armazenamento congelado das massas, a densidade dos pães foi superior a 0,40 g/mL, com exceção das formulações adicionadas de polidextrose e açaí. Não houve diferenças entre as formulação padrão, B1 e A1, bem como entre T1 e T2.

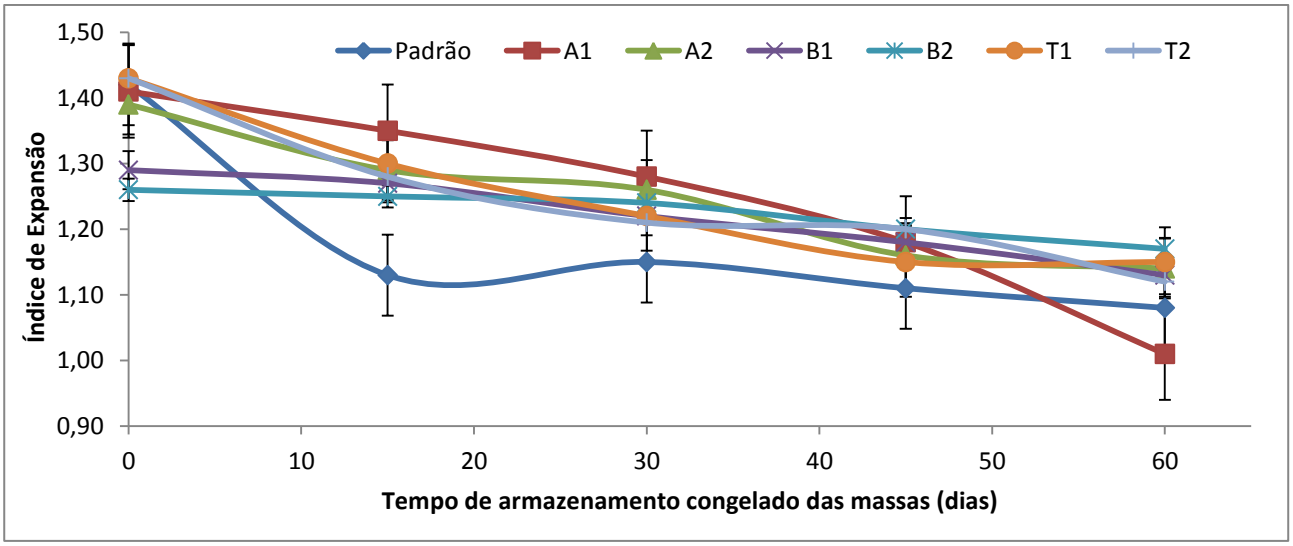
Após o 45° dia de armazenamento congelado não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si as formulações padrão, T1 e B1; e entre T2 e A1. O maior valor foi obtido pela T1, com 0,46 g/mL. No 60° dia, todas as formulações apresentaram densidades superiores a 0,45 g/mL, variando até 0,47 g/mL, não houve diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância entre as formulações com relação a densidade.

De acordo com Esteller e Lannes (2005), pães que possuam alta densidade ou baixo volume específico fornecem características desagradáveis para o consumidor, diante disto, o armazenamento congelado promoveu um decréscimo na qualidade dos produtos.

3.1.9 Efeito do armazenamento congelado de massas no índice de expansão (IE)

O Índice de expansão das massas também foi afetado de modo semelhante ao volume específico, conforme exposto na figura 35.

Figura 35 – Índice de expansão (IE) dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento não-congelado e congelado das massas por até 60 dias.



Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

O índice de expansão dos pães tipo forma seguiram a mesma tendência do volume específico dos pães, as massas não-congeladas apresentaram valores superiores aos obtidos pelas massas armazenadas sob congelamento. A maior redução observada para a formulação padrão foi nos 15 primeiros dias. Após 60 dias, a formulação A1 apresentou o menor IE, com 1,01; seguido da formulação padrão, que obteve 1,08. O maior IE apresentado ao final de 60 dias de estocagem congelada das massas foi obtido pela formulação B2, com 1,17.

A tabela 46 apresenta os valores do índice de expansão dos pães ao longo do tempo de armazenamento congelado, bem como os resultados referentes ao teste de tukey.

Tabela 46 - Índice de expansão (IE) dos pães tipo forma.

	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
Formulação[1]	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$1,42^{Aa}$±0,02	$1,13^{Bd}$±0,04	$1,15^{B}$c±0,01	$1,11^{Cc}$±0,02	$1,08^{Dc}$±0,01
T1	$1,43^{Aa}$±0,03	$1,30^{Bb}$±0,03	$1,22^{Cb}$±0,03	$1,15^{Dc}$±0,04	$1,15^{Da}$±0,02
T2	$1,43^{Aa}$±0,04	$1,28^{Bc}$±0,01	$1,21^{Cb}$±0,01	$1,20^{Ca}$±0,01	$1,12^{Dab}$±0,02
B1	$1,29^{Ab}$±0,02	$1,27^{Ac}$±0,02	$1,22^{Bb}$±0,01	$1,18^{Cab}$±0,02	$1,13^{Dab}$±0,01
B2	$1,26^{Ab}$±0,04	$1,25^{Ac}$±0,05	$1,24^{Aa}$±0,08	$1,20^{Aa}$±0,007	$1,17^{Ba}$±0,03
A1	$1,41^{Aa}$±0,02	$1,35^{Ba}$±0,01	$1,28^{Ca}$±0,01	$1,18^{Dab}$±0,01	$1,01^{Ed}$±0,01
A2	$1,39^{Aa}$±0,01	$1,29^{Bb}$±0,01	$1,26^{Ca}$±0,02	$1,16^{Db}$±0,01	$1,14^{Eab}$±0,01

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si. Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Para massas não-congeladas, o Índice de Expansão dos pães foram estatisticamente semelhantes para as formulações padrão, adicionadas polidextrose em conjunto com tomate e açaí em pó, variando de 1,43 (T1 e T2) a 1,39 (A2). As formulações contendo polidextrose e brócolis em pó apresentaram os menores valores para este parâmetro (1,29 a 1,26) para B1 e B2, respectivamente, não diferindo entre si. O efeito da formulação, pela presença do brócolis em pó, prejudicou o índice de expansão dos pães, o que comprova o efeito danoso à rede do glúten, proporcionando menor expansão das massas durante a fermentação e forneamento dos pães.

Ao final de 60 dias de armazenamento congelado, as formulações B1 e B2 obtiveram os maiores resultados para o IE, com 1,13 e 1,17; respectivamente.

Para a formulação padrão, os IE's diferiram estatisticamente entre si em cada tempo de armazenamento congelado avaliado. Para a T1, não houve diferenças após o 45° dia de armazenamento, já para T2 ficou entre o 30° e 45° dia, os resultados sugerem que a polidextrose tomate em pó são eficazes na redução do decréscimo do índice de expansão. A formulação B1

apresentou diferenças estatisticas após o 15° dia, a B2 somente apresentou diferenças significativas no IE a partir do 45° dia, portanto, a adição de 10% de polidextrose e brócolis em pó minimizaram a redução do índice de expansão dos pães. O uso combinado de polidextrose e açaí em pó promoveram diferenças estatisticas significativas, ao nível de 5% de significância, para todos os tempos estudados, para as formulações A1 e A2.

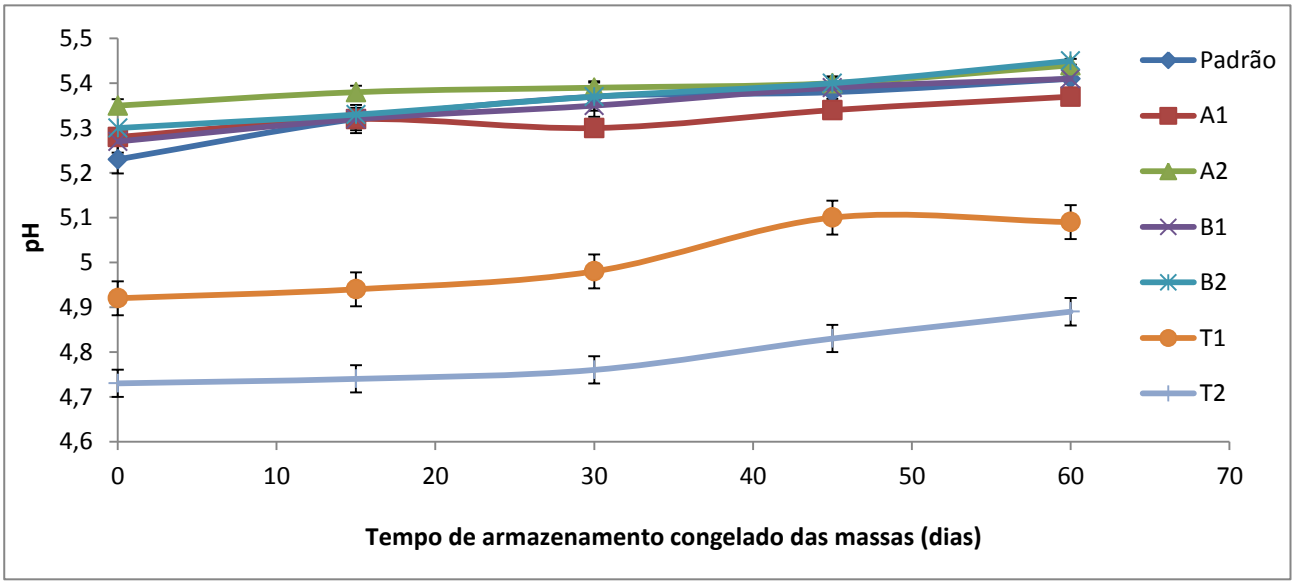
O Índice de expansão como parâmetro físico é comumente utilizado para massas de pães de queijo e biscoitos, neste estudo foi adaptado para sua avaliação em pães de forma, mostrando-se satisfatório e com aplicabilidade para este tipo de produto.

Silva *et al*., (2003) avaliou o índice de expansão em massas pães de queijo de baixo valor energético, obtendo valores variando de 1,22 a 1,34; inferiores aos encontrados para as massas no tempo zero de armazenamento congelado. Valores superiores de índice de expansão foram encontrados por Machado *et al*. (2010) quando avaliaram o efeito do escaldamento na qualidade de pães de queijo, quando foi realizado utilizando leite, óleo e sal, bem como água, óleo e sal, obtiveram valores de 1,65 e 1,75, respectivamente.

3.1.10 Efeito do armazenamento congelado de massas no pH dos pães tipo forma

A figura 36 apresenta o comportamento do pH dos pães tipo forma com ingredientes funcionais produzidos a partir de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.

Figura 36 – pH dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento congelado das massas.



Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

O pH do tomate em pó foi determinado, obtendo o valor de 4,32±0,02; a sua adição em conjunto com a polidextrose gerou pães de pH mais ácido, com 4,92 para T1 e 4,73 para T2 para massas não-congeladas. O efeito do tempo de armazenamento congelado das massas foi semelhante para todas as formulações: o pH se aproximou da faixa de neutralidade ao longo do período estudado.

Pereira *et al*. (2006) avaliaram os valores de pH de tomate em pó durante 60 dias, onde elevou-se conforme o avanço do tempo de estocagem, variou de 3,96 a 4,02; sendo semelheante com os dados obtidos neste estudo, onde o pH dos pães foi elevado ao longo do tempo de armazenamento. Liu *et al*., (2010) encontraram valores de pH próximos a 4,10 para tomates em pó, inferiores ao obtido neste estudo.

A tabela 47 apresenta os valores de pH dos pães ao longo do tempo de armazenamento congelado, bem como os resultados referentes ao teste de tukey.

Tabela 47 - pH dos pães tipo forma.

	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
Formulação[1]	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$5,23^{Ac}$±0,01	$5,32^{Bb}$±0,01	$5,37^{Ca}$±0,01	$5,38^{Cab}$±0,02	$5,41^{Cb}$±0,01
T1	$4,92^{Ad}$±0,01	$4,94^{Ac}$±0,01	$4,98^{Bd}$±0,02	$5,10^{Cb}$±0,01	$5,09^{Cc}$±0,01
T2	$4,73^{Ae}$±0,01	$4,74^{Ad}$±0,01	$4,76^{ABe}$±0,02	$4,83^{Bc}$±0,01	$4,89^{Cd}$±0,01
B1	$5,27^{Ab}$±0,01	$5,32^{Bb}$±0,02	$5,35^{Bb}$±0,01	$5,39^{Ca}$±0,01	$5,41^{Cb}$±0,01
B2	$5,30^{Ab}$±0,02	$5,33^{Ab}$±0,02	$5,37^{Ba}$±0,01	$5,40^{Ca}$±0,02	$5,45^{Da}$±0,01
A1	$5,28^{Ab}$±0,01	$5,32^{Bb}$±0,01	$5,30^{Bc}$±0,02	$5,34^{Bab}$±0,02	$5,37^{Cbc}$±0,02
A2	$5,35^{Aa}$±0,02	$5,38^{Ba}$±0,01	$5,39^{Ba}$±0,01	$5,40^{Ba}$±0,01	$5,44^{Ca}$±0,02

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si. Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

O armazenamento congelado das massas promoveu variações significativas, ao nível de 5% de significância para o pH dos pães tipo forma desenvolvidos. Para a formulação padrão, não houve diferenças estatísticas a partir do 30° dia de armazenamento. O pH da T1 foi estatisticamente semelhante entre o tempo 0 e 15 dias, bem como entre o 30° e 45° dia. Para T2, apenas os 15 primeiros dias não influenciaram significativamente o pH.

Em B1 entre o 15° e 30 dia, além do intervalo entre 45° e 60 dia de armazenamento, não apresentaram diferenças nestes intervalos, quando a adição dos ingredientes funcionais foi elevada, não apresentou diferenças significativas no pH apenas nos quinze dias iniciais de armazenamento.

Para A1, não houve diferenças entre o 15° e o 45° dia de armazenamento, para a formulação A2 os resultados observados foram semelhantes. Após 60 dias de armazenamento

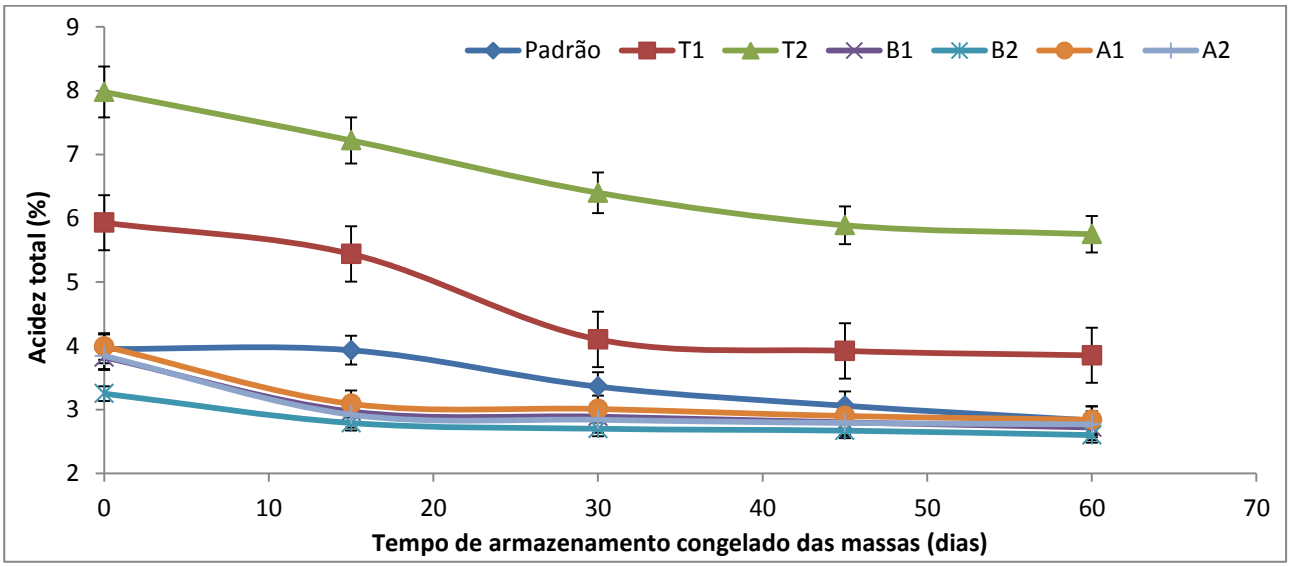
congelado, os pH's variaram de 4,89 (T2) a 5,44 (A2), não havendo diferenças significativas entre a padrão e B1.

O crescimento das leveduras é favorecido pelo pH ácido (FRANCO e LANDGRAF, 2008). Adams e Moss (1997) afirmam que as leveduras crescem com maior rapidez nos valores de pH entre 4,5 e 6,0. O pH encontrado para as formulações de pães tipo forma durante o período de armazenamento congelado encontrou-se dentro desta faixa ótima, o que pode ter favorecido a maior manutenção e crescimento das células viáveis de levedura no período estudado.

3.1.11 Acidez total dos pães tipo forma obtidos a partir de massas não-congeladas e congeladas

A figura 50 apresenta o comportamento da acidez dos pães em função do tempo de armazenamento não-congelado e congelado das massas por até 60 dias.

Figura 37 – Acidez total (%) dos pães tipo forma em função do tempo de armazenamento congelado das massas.



Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

A acidez dos pães foi decrescente ao longo do tempo de armazenamento congelado, a adição de 10% de polidextrose e tomate em pó promoveu maior teor de acidez total durante todos os tempos estudados. Para as massas não-congeladas, a acidez total variou de 7,98% (T2) a 2,60% (B2). Pereira *et al.*, (2006) encontraram redução na acidez de tomate em pó durante 60 dias de armazenamento, variando de de 6,81% a 6,71%.

Os valores da acidez total (%) dos pães tipo forma produzidos a partir de massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias, está expressa na tabela 48.

Tabela 48 - Acidez total (%) dos pães tipo forma.

	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
Formulação[1]	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$3,95^{Ac}$±0,08	$3,93^{Ac}$±0,04	$3,36^{Bc}$±0,04	$3,06^{Cc}$±0,07	$2,83^{Db}$±0,09
T1	$5,93^{Ab}$±0,04	$5,44^{Bb}$±0,03	$4,10^{Cb}$±0,03	$3,92^{Db}$±0,05	$3,85^{Db}$±0,06
T2	$7,98^{Aa}$±0,07	$7,22^{Ba}$±0,09	$6,40^{Ca}$±0,07	$5,89^{Da}$±0,03	$5,75^{Ea}$±0,02
B1	$3,82^{Ac}$±0,09	$2,97^{Be}$±0,06	$2,89^{Bef}$±0,03	$2,80^{BC}$±0,09	$2,72^{Cbc}$±0,06
B2	$3,25^{Ad}$±0,04	$2,79^{Bf}$±0,08	$2,70^{Bf}$±0,08	$2,67^{Bd}$±0,04	$2,60^{Cd}$±0,03
A1	$3,99^{Ac}$±0,03	$3,09^{Bd}$±0,03	$3,01^{Cd}$±0,03	$2,90^{Dc}$±0,04	$2,84^{Db}$±0,05
A2	$3,84^{Ac}$±0,04	$2,92^{Be}$±0,07	$2,84^{Be}$±0,04	$2,79^{Ce}$±0,03	$2,77^{Cb}$±0,05

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si. Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Para a formulação padrão, não houve diferenças significativas até o 15° dia de armazenamento, para os demais tempos avaliados a acidez teve seus valores reduzidos significativamente. Para T1, não apresentaram diferenças estatísticas os teores de acidez obtidos entre o 45° e 60° dia, já para T2 houve diferenças em todos os tempos estudados.

Para B1 e B2 o mesmo comportamento foi observado, as diferenças de acidez não forma significativas a partir do 15° dia até o 45° dia. Para as formulações adicionadas de polidextrose e açaí em pó, não houve diferenças entre o 45° e 60° dia, para A1 e entre o 15° e 30° dia, bem como entre o 45° e 60° para a A2.

Feitosa *et al*. (2013) determinaram a acidez de pães tipo francês, obtendo valores de 4,28% a 6,40%, superiores à todos os valores de acidez encontrados para os pães tipo forma com ingredientes funcionais, com exceção do pão formulado com 10% de polidextrose e tomate em pó, (T2).

3.1.12 Efeito do armazenamento congelado de massas nos parâmetros colorimétricos de pães tipo forma

As tabela 49 fornece os resultados da análise de colorimetria dos pães tipo forma padrão obtidos por massa não-congelada e congelada por até 60 dias.

Tabela 49 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães padrão

Formulação Padrão	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
L*	77,38^{a}±0,37	73,91^{ab}±0,57	73,22^{ab}±0,07	70,77^{b}±0,42	69,43^{b}±2,70
a*	-7,96^{a}±0,05	-7,71^{a}±0,04	-6,97^{b}±0,10	-6,89^{b}±0,03	-6,65^{b}±0,12
b*	20,16^{a}±0,27	23,11^{c}±0,05	23,59^{c}±0,85	24,50^{bc}±0,15	26,42^{b}±0,56
C*	21,41^{c}±0,43	23,87^{bc}±0,28	24,08^{bc}±1,03	24,81^{ab}±0,81	27,69^{a}±0,81
hº	111,56^{a}±0,16	108,37^{b}±0,34	106,41^{c}±0,45	104,51^{d}±0,21	103,44^{d}±0,39

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

A luminosidade dos pães padrão foi influenciada pelo tempo de armazenamento congelado das massas, quanto maior o tempo, menor a luminosidade dos pães que variou 77,38 no tempo zero a 69,43 após 60 dias. Os valores do parâmetro diferiram estatisticamente do tempo zero, não houve diferenças entre o 15º e 30º dia, que diferiram do 45º e 60º.

As células de gás finas uniformemente distribuídas produzidas durante o final da fermentação e início do forneamento, tendem a refletir a luz ao invés de absorvê-la e fornecer ao miolo uma aparência mais branca, em contraste com as poucas células grandes de gases, devido ao enfraquecimento da matriz de glúten, que fornecem aparência mais escura para o miolo (ROSELL e GOMEZ, (2007); SHI *et al*. (2013), isto explica a redução da luminosidade, tendo em vista que através da análise de imagem dos miolos pode-se notar o aumento das células de expansão de gás.

Segundo Purlis (2011), pães padrão com luminosidade em torno de 70 apresentam boa aceitação sensorial. Entretanto, valores abaixo de 60 resultam em escurecimento excessivo e acima de 78, em coloração muito clara, indicativa de cozimento insuficiente, dentro desta hipótese, apenas após 60 dias dias de armazenamento congelado a luminosidade dos pães não foi adequada, obtendo o valor de 69,43.

Comportamento semelhante foi observado para o parâmetro cromaticidade a* que variou de -7,96 nos pães sem armazenamento congelado a -6,65 para pães obtidos a partir de massas congeladas por 60 dias, no espaço correspondente à cor verde. Não houve diferenças significativas do tempo zero ao 15º, porém diferiram estatisticamente dos demais tempos estudados.

Os valores de cromaticidade b* foram elevados conforme o tempo de armazenamento aumentou, de 20,16 a 26,42, apresentando diferenças significativas em todos os tempos avaliados. O croma (C) aumentou com o armazenamento congelado, houve diferenças estatistica entre todas as medidas, variando de 21,41 para o tempo zero a 27,69 para o dia 60, dentro do espaço correspondente ao amarelo.

Houve diferenças significativas para o ângulo de tonalidade (hº), com exeção dos tempos 45 e 60. Os valores diminuíram ao longo do período de armazenamento, de 111,56 para o tempo zero e 103,44 para o 60º dia.

A adição de farinha de arroz extrusada em estudo desenvolvido por Evangelho *et al*. (2013) promoveu valores de luminosidade variando de 70,37 para 10% de incorporação a 68,20 quando foi de 50%, também alterando as cromaticidades a* e b*, variando de - 6,64 (padrão) a - 2,66 (50% de farinha de arroz extrusada) e de 20,45 (padrão) a 14,54 para a incorporação de 50% de farinha de arroz extrusada.

A tabela 50 fornece os resultados da colorimetria para os pães "Tomate 1 – T1" obtidos por massa não-congelada e congelada até 60 dias.

Tabela 50 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães Tomate 1.

Formulação Tomate 1	**Dias de armazenamento congelado das massas[1]**				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
L*	$55,74^{a}$±0,48	$59,37^{b}$±0,68	$61,50^{bc}$±0,12	$63,42^{c}$±0,46	$63,46^{c}$±0,70
a*	$9,54^{a}$±0,41	$9,34^{a}$±0,13	$8,66^{a}$±0,56	$6,61^{b}$±0,14	$5,19^{c}$±0,05
b*	$47,30^{b}$±0,34	$46,80^{b}$±0,65	$48,23^{b}$±0,58	$48,71^{ab}$±0,03	$50,59^{a}$±0,45
C*	$48,42^{a}$±0,04	$48,79^{a}$±0,71	$49,42^{a}$±0,12	$50,01^{a}$±0,56	$50,89^{a}$±0,12
hº	$82,56^{a}$±0,19	$80,51^{ab}$±0,13	$79,09^{bc}$±1,12	$78,79^{bc}$ ±0,13	$77,58^{c}$±0,20

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

A luminosidade dos pães adicionados de 10 g de polidextrose e tomate em pó variou entre 55,74 para o tempo zero a 63,46 para o 60° dia de estocagem congelada, o aumento deste parâmetro pode estar relacionado com a possível perda dos teores de licopeno ao longo do armazenamento, tornando a amostra mais esbranquiçada, conforme estudado por Silva *et al*., (2010b), onde avaliaram a vida de prateleira de tomate seco através do teor total de carotenóides e foi constatado que há redução em seus níveis durante, pelo menos, 45 dias.

Os autores observaram redução nos valores da cromaticidade a*, fato similar ocorrido neste estudo, no tempo zero, a cromaticidade a* dos pães "tomate 1" foi de 9,54; valor que não foi estatisticamente diferente até o 30º dia de armazenamento, entretanto, a partir deste período houve maior redução no parâmetro colorimétrico, obtendo o valor de 5,19 ao 60º dia. A relação entre a L* e a* neste caso podem fornecer indícios que quantidades de licopeno nos pães foram perdidas com o armazenamento congelado das massas.

De acordo com Davoodi *et al*. (2007), a qualidade do tomate em pó é influenciada pela condição de armazenamento à longo prazo, fatores como a luz, oxigênio e umidade aceleram as alterações na qualidade do tomate em pó durante a estocagem, o que pode ser observado neste estudo.

Os valores da cromaticidade b* foram elevados à medida que o tempo de armazenamento congelado das massas foi avançando, variando de 47,30 a 50,59; não houve diferenças estatistísticas, ao nível de 5% de significância para os trinta primeiros dias do estudo, no

espaço amarelo, o que era esperado, pois em processos de degradação os componentes de coloração vermelha e alaranjada que constitutem os pigmentos carotenóides transformam-se em um grupo de compostos amarelos, segundo relatam Scotter *et al*. (1994). Pereira *et al*. (2006) observaram a redução da cromaticidade b* após 60 dias de armazenamento de tomate em pó.

O Croma obteve o mesmo comportamento, porém não houve diferenças estatísticas entre os tempos de armazenamento. O decréscimo da quantidade de pigmentos leva a uma perda da saturação da cor, conforme foi observado pela redução da coordenada C*.

Para o ângulo de tonalidade, houve redução dos valores ao longo do armazenamento das massas variando de 82,56 a 77,58; todos os valores diferiram estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância.

Os resultados dos parâmetros colorimétricos para a formulação "tomate 2" de pão tipo forma são apresentados na tabela 51.

Tabela 51 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães Tomate 2.

Formulação Tomate 2	**Dias de armazenamento congelado das massas[1]**				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
L*	$50,37^{a}$±0,88	$53,95^{ab}$±0,38	$54,20^{ab}$±0,69	$56,20^{b}$±1,17	$56,42^{b}$±1,23
a*	$14,96^{c}$±0,04	$14,17^{c}$±0,07	$13,39^{ab}$±0,29	$12,23^{b}$±0,20	$11,69^{a}$±0,32
b*	$43,75^{a}$±0,75	$48,64^{b}$±0,44	$52,45^{bc}$±0,20	$52,99^{c}$±0,26	$53,07^{c}$±0,44
C*	$40,78^{b}$±3,64	$50,32^{b}$±0,64	$53,68^{c}$±0,25	$54,46^{c}$±2,17	$56,32^{a}$±0,28
hº	$77,11^{b}$±0,09	$75,65^{b}$±0,16	$70,56^{c}$±0,36	$69,77^{c}$±0,28	$66,29^{a}$±0,96

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

Houve diferenças significativas entre os tempos de armazenamento congelado com relação a luminosidade, variando de 50,37 (tempo zero) a 56,42 (tempo 60), devido ao enbranquecimento da amostra como resultado da possível perda de pigmentos carotenóides durante a estocagem, ocorrendo de modo semelhante à T1.

Liu *et al*. (2010) estudaram os parâmetros de qualidade do tomate em pó ao longo de 5 dias de armazenamento em temperaturas de 0° C, 25° C e 37 ° C, os autores concluíram que para a temperatura de 0 °C à velocidade das reduções nos parâmetros de luminosidade, cromaticidade a* e b* foram menores, quando comparados às demais temperaturas, entretanto, em todas elas, houve a reudção deste parâmetros, como justificativa, os autores alertam para a redução do teor de licopeno no mesmo período.

A cromaticidade a* teve seus valores reduzidos ao longo do tempo de estocagem e variaram de 14,96 a 11,69, não apresentando diferenças signficativas entre os 45º e 60º dia de. Os valores de b* foram de 43,75 no tempo zero a 53,07 após 60 dias de armazenamento congelado, alterando a coloração do miolo dos pães tipo forma adicionados de tomate em pó e polidextrose.

Nia *et al*. (2013) ao avaliarem o uso de farinha de soja para a produção de pães obtiveram valores de luminosidade variando de 57,50 para a formulação sem a adição de farinha de soja e este parâmetro foi diminuindo à medida em que a farinha de soja foi incorporada. O mesmo ocorreu para os parâmetros a* e b*, que obtiveram médias entre 5,0 a 4,0 e 8,0 a 6,0, respectivamente, valores inferiores obtidos quando comparados com a adição do tomate em pó e polidextrose e os resultados do parâmetro b*.

O croma e o ângulo de tonalidade apresentaram o mesmo comportamento para os diferentes tempos de armazenamento congelado das massas, sendo menor nas massas não-congeladas e tendo seus valores elevados nos tempos posteriores. Nos primeiros 15 dias de armazenamento não houve diferenças estatisticas significativas para estes parâmetros. O armazenamento entre o 30º e 45º dia não apresentou diferenças entre si para o croma e o ângulo de tonalidade.

A adição de filmes de nucleação de gelo à base de zeína para a preservação de leveduras foi estudada por Shi *et al*. (2013) e em pães proporcionou valores de luminosidade variando de 59,0 a 74,0 (pão fresco), a cromaticidade a* tendeu para o amarelo e a b* para o verde, com valor médio de 14,8.

A tabela 52 fornece os valores dos parâmetros colorimétricos da formulação B1 ao longo do tempo de armazenamento congelado das massas.

Tabela 52 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães Brócolis 1.

Formulação Brócolis 1	**Dias de armazenamento congelado das massas[1]**				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
L*	$66,12^{b}$±0,09	$67,20^{c}$±0,07	$68,95^{d}$±0,11	$69,39^{d}$±0,10	$70,18^{a}$±0,07
a*	$-4,68^{b}$±0,05	$-4,02^{a}$±0,12	$-3,68^{d}$±0,03	$-3,54^{cd}$±0,02	$-3,22^{c}$±0,01
b*	$16,68^{e}$±0,05	$15,72^{d}$±0,09	$15,19^{c}$±0,02	$14,28^{b}$±0,05	$13,93^{a}$±0,04
C*	$17,15^{a}$±0,05	$16,23^{b}$±0,06	$15,89^{c}$±0,06	$15,01^{d}$±0,05	$14,83^{d}$±0,02
hº	$103,44^{b}$±0,14	$104,27^{b}$±0,07	$104,93^{d}$±0,02	$105,15^{d}$±0,02	$106,04^{a}$±0,01

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

A luminosidade dos pães B1 foi elevada com o tempo de armazenamento congelado das massas, variando de 66,12 a 70,18; não houve diferenças significativas para os tempos entre o 30° e 45° dia, durante todo o tempo avaliado, ocorreu um leve descoloramento dos pães, que está relacionado com os valores obtidos pela cromaticidade a*, que mede os níveis entre verde e vermelho, os valores obtidos foram negativos, portanto, no espaço correspondente ao verde, pôde-se avaliar que ocorreu uma diminuição na tonalidade verde dos pães, que variou de -4,68 a -3,22. Ao avaliarmos a cromaticidade b*, a tendência ao vermelho diminuiu ao longo do tempo de armazenamento congelado das massas. Para as cromaticidades, todas os valores das medições foram estatisticamente diferentes.

O comportamento das cromaticidades, refletiram nos valores do croma (C*) e do ângulo de tonalidade (h°), onde o primeiro obteve uma tendência decrescente à medida do tempo de armazenamento congelado, e o segundo, apresentou valores crescentes, variando de 103,44 para as massas não-congeladas e 106,04 para as massas congeladas por 60 dias. O Croma foi significativamente igual entre o 45° e 60 dia de armazenamento, para o ângulo de tonalidade, não houve diferença entre os quinze primeiros dias e entre o 30° e 45° dia.

A avaliação do croma e do ângulo de tonalidade foram avaliados em pães adicionados de frutooligosacarídeos por Silva *et al*. (2010a) e obtiveram valores variando de 24,10, para o pão padrão, a 25,71 para os pães adicionados de 6%, seguindo a mesma tendência observada, já para o ângulo de tonalidade, este reduziu à medida em que a adição do ingrediente foi elevada, diferentemente do ocorrido com o tempo de estocagem avaliado neste presente estudo, onde o parâmetro teve elevação de seus valores.

A tabela 53 apresenta os valores dos parâmetros de cor instrumental obtidos para a formulação B2.

Tabela 53 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães Brócolis 2.

Formulação Brócolis 2	**Dias de armazenamento congelado das massas[1]**				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
L*	$56,15^{a}$±0,05	$58,24^{b}$±0,09	$59,32^{c}$±0,09	$60,94^{d}$±0,18	$62,17^{e}$±0,07
a*	$-8,12^{c}$±0,01	$-7,59^{b}$±0,10	$-6,82^{d}$±0,06	$-6,55^{d}$±0,11	$-5,93^{a}$±0,04
b*	$24,23^{b}$±0,09	$25,45^{c}$±0,15	$26,15^{a}$±0,05	$26,99^{d}$±0,01	$27,18^{d}$±0,02
C*	$25,19^{e}$±0,04	$26,57^{d}$±0,02	$27,11^{c}$±0,02	$28,28^{b}$±0,02	$29,59^{a}$±0,12
hº	$158,33^{e}$±0,06	$159,91^{d}$±0,04	$160,87^{c}$±0,05	$161,18^{b}$±0,02	$162,02^{a}$±0,01

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

A cor do miolo dos pães de forma constitui um fator muito importante para a sua comercialização, sendo diretamente influenciada pelas matérias-primas que compôem sua formulação e pelas condições de forneamento (SILVA, 2009).

Os pães B2 apresentaram valores de luminosidade inferiores à B1, devido à maior adição dos ingredientes funcionais, variando de 56,15 para o tempo zero, até 62,17 para 60 dias de armazenamento, houve uma tendência de aumento deste parâmetro. O parâmetro cromaticidade a* foi mais intenso do que os pães B1, variou de -8,12 a -5,93, decrescendo à medida em que o tempo de armazenamento congelado das massas foi elevado, compreendendo ao espaço de coloração verde, a diminuição desta coloração nos produtos pode ser relacionado com o aumento da luminosidade. Não houve diferenças significativas entre o 30° e 45 dia. Para a cromaticidade b* os valores variaram de 24,23 para os pães provenientes de massas não-congeladas a 27,18 para 60 dias de armazenamento congelado, verificando um aumento na coloração vermelha dos produtos, os valores de b* entre os dias 45 e 60 não variaram estatisticamente, a nível de 5% significância.

Segundo Esteller e Lannes (2005), valores elevados de b* são traduzidos para amostras com forte coloração amarela ou dourada, que embora "diluída" na coloração castanha, característica de produtos que sofrem cozedura, pode ser "filtrada" e aparece em pães ricos em proteínas, açúcares redutores e ovos (carotenóides). No presente estudo todos os valores de b* foram positivos (amarelo).

O mesmo comportamento foi observado para os parâmetros C* e h°, onde tiveram seus valores elevados com o tempo de armazenamento congelado das massas, para o croma, os valores variaram de 25,19 a 29,59 e para o ângulo de tonalidade, de 158,33 a 162,02; todos os valores diferiram estatisticamente.

O croma variou de 18,56 a 26,67 em pães adicionados de farinha de soja e glúten vital, em estudo desenvolvido por Silva (2009) e o ângulo de tonalidade de 81,08 a 89,24.

Pajak *et al*. (2012) observaram aumento no valor da luminosidade de pães armazenados em até 5 dias, bem como o aumento da cromaticidade a*, o que ocorreu nos pães B2, e redução da cromaticidade b*.

A tabela 54 apresenta os valores dos parâmetros de cor instrumentais das formulações A1 obtidos a partir de masas não-congeladas e congelada durante o período de 60 dias.

Para os pães A1, a luminosidade variou de 68,18 a 72,98; elevando-se ao longo do tempo de estocagem, todos os valores obtidos diferiram entre si ao nível de 5% de significância. A cromaticidade a* ficou situada no espaço correspondente à cor verde, diminuindo a sua intensidade, os valores variaram de -3,87 a -2,70, não havendo diferenças significativas ao longo do armazenamento. Já a cromaticidade b*, os valores compreenderam aos espaço de coloração vermelha, decrescendo à medida em que o tempo de armazenamento foi elevado, não apresentaram diferenças estatísticas os valores que compreenderam entre o 15° e 30 dia de armazenamento. O croma diminuiu com o tempo de estocagem, variando de 19,72 a 17,95; o mesmo comportamento foi obtido para o ângulo de tonalidade, seu valor variou de 103,34 a 100,93; onde não houve diferenças estatistícas dos valores obtidos entre o 45° e 60° dia.

Tabela 54 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães Açaí 1.

Formulação	**Dias de armazenamento congelado das massas[1]**				
Açaí 1	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**
L*	$68,18^{e}\pm0,04$	$70,40^{d}\pm0,06$	$71,12^{c}\pm0,06$	$72,32^{b}\pm0,02$	$72,98^{a}\pm0,03$
a*	$-3,87^{e}\pm0,04$	$-3,75^{d}\pm0,01$	$-3,30^{c}\pm0,04$	$-2,98^{b}\pm0,02$	$-2,70^{a}\pm0,03$
b*	$19,88^{a}\pm0,08$	$19,03^{d}\pm0,12$	$18,74^{d}\pm0,06$	$17,91^{b}\pm0,07$	$17,15^{c}\pm0,03$
C*	$19,72^{a}\pm0,05$	$19,16^{b}\pm0,03$	$18,98^{c}\pm0,02$	$18,36^{d}\pm0,03$	$17,95^{e}\pm0,02$
h°	$103,34^{a}\pm0,06$	$102,93^{b}\pm0,06$	$101,45^{c}\pm0,02$	$101,01^{d}\pm0,04$	$100,93^{d}\pm0,06$

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

Sousa (2012) avaliou a utilização de diferentes aditivos para a melhoria da qualidade de pão pré-cozido congelado, a luminosidade obtida variou de 79,60 para a formulação padrão a 72,71 para o ensaio 10, correspondente a 200 ppm de ácido ascórbico, 6000 ppm de carbonato de cálcio, 2000 ppm de lecitina de soja e 5000 ppm de farinha de soja.

O uso de aditivos também foi estudado por Karimi *et al*. (2012) e promoveu o aumento da luminosidade dos pães, variando de 59,64 a 65,40; não alterou significativamente a cromaticidade a* e elevou os valores de b*.

A tabela 55 apresenta os resultados dos parâmetros de cor instrumentais avaliados ao longo do tempo de armazenamento congelado das massas para a produção de pães tipo forma com 10% de polidextrose e açaí em pó (A2).

Tabela 55 – Análise colorimétrica dos miolos dos pães Açaí 2.

	Dias de armazenamento congelado das massas[1]				
Formulação Açaí 2	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**
L*	$58,74^{a}$±0,48	$59,37^{b}$±0,68	$61,50^{bc}$±0,12	$63,42^{c}$±0,46	$63,46^{c}$±0,70
a*	$-7,71^{a}$±0,41	$-6,34^{b}$±0,13	$-5,66^{c}$±0,56	$-4,61^{d}$±0,14	$-3,19^{e}$±0,05
b*	$25,30^{b}$±0,34	$24,80^{b}$±0,65	$22,23^{c}$±0,58	$21,71^{cd}$±0,03	$20,90^{d}$±0,45
C*	$28,42^{a}$±0,04	$27,79^{a}$±0,71	$26,42^{b}$±0,12	$24,01^{c}$±0,56	$21,89^{d}$±0,12
hº	$106,56^{a}$±0,19	$105,51^{ab}$±0,13	$104,79^{ab}$±1,12	$103,09^{ab}$±0,13	$101,58^{b}$±0,20

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

A luminosidade dos pães A2 variou de 58,74 a 63,46; obtendo o mesmo comportamento para os demais pães avaliados, onde a tendência foi o aumento deste parâmetro conforme o tempo de armazenamento congelado das massas foi elevado, não houve diferenças significativas entre as luminosidades mensuradas nos tempos 45 e 60 dias. A cromaticidade a* correspondeu ao espaço de coloração verde, variando de -7,71 a -3,19; diminuindo ao longo do período estudado, todos os valores diferiam estatisticamente. A cromaticidade b* variou de 25,30 a 20,90; diminuindo a intensidade do vermelho, não houve diferenças entre os quinze primeiros dias de estocagem. Resultados semelhantes foram obtidos para o croma, onde não houve diferenças entre o tempo zero (28,42) e o 15° dia (27,79), decorridos 60 dias de estocagem, o valor obtido foi de 21,89. O ângulo de tonalidade variou de 106,56 a 101,58; não houve diferenças estatisticas significativas entre o 15° e 45° dia de armazenamento.

STOLL (2012) estudou a adição de fibra de laranja e enzima em formulações de pães tipo forma, à medida em que a quantidade desta fibra e da enzima foram elevadas, descresceram os valores de luminosidade, que variou de 76,93 para a formulação com 5% de fibra de laranja e 10 ppm de enzima a 67,34 para a adição de 2,5%, com 30 ppm de enzima, comportamento semelhante

foi obtido neste estudo onde a adição dos ingredientes funcionais, sobretudo do açaí em pó, também promoveu redução na luminosidade inicial dos pães.

Fieli *et al*. (2013) avaliaram a incorporação de fruta-pão em formulações de pães tipo forma, obteve valores de luminosidade variando de 52,80; para 15% de incorporação a 62,85 para o pão padrão. A cromaticidade a* foi positiva quando houve incorporação de fibra, diferente do observado para os pães de açaí. Para o croma, os valores variaram de 11,18 (padrão) a 16,01 (15% de incorporação) e o ângulo de tonalidade foi maior para o pão padrão, com 89,80 reduzindo à medida que a incorporação foi maior, os pães adicionados de polidextrose e açaí obtiveram o mesmo comportamento.

3.1.13 Efeito do congelamento e armazenamento congelado por até 60 dias no teor de umidade total das massas

Na tabela 56 são mostrados os resultados referentes ao conteúdo de água total das massas contendo ingredientes funcionais.

Para as massas não-congeladas, os teores de umidade das massas variaram de 42,28% (A2) para 46,1% (B1), percebeu-se que quanto maior a adição dos ingredientes funcionais, que estão em pó, menor foi o teor de umidade observado. Outra hipótese para a variação nos teores de umidade é devido à variação nos teores de absorção de água (%), uma vez que a adição destes ingredientes modificou este parâmetro, necessitando de quantidades diferentes desta, diferenciando a umidade das massas. Não houve diferenças significativas entre os teores de umidade de B2 e A2, bem como entre T1 e A1.

Tabela 56 – Teores de umidade total (%UT) das massas em função do tempo de armazenamento congelado.

Umidade total (%)	**Dias de armazenamento congelado das massas[1]**				
	0	**15**	**30**	**45**	**60**
Padrão	$44{,}29^{Aad}\pm0{,}13$	$42{,}49^{Bac}\pm0{,}23$	$41{,}27^{BCac}\pm0{,}10$	$40{,}87^{Cb}\pm0{,}08$	$40{,}27^{Cb}\pm0{,}48$
T1	$45{,}58^{Abc}\pm0{,}16$	$44{,}94^{Ab}\pm0{,}24$	$42{,}56^{Bab}\pm0{,}21$	$41{,}01^{BCb}\pm0{,}13$	$40{,}91^{Cb}\pm0{,}83$
T2	$43{,}45^{Aae}\pm0{,}29$	$41{,}76^{Bc}\pm0{,}71$	$40{,}72^{BCc}\pm0{,}34$	$39{,}37^{Ca}\pm0{,}20$	$37{,}34^{Ba}\pm0{,}27$
B1	$46{,}11^{Bb}\pm0{,}18$	$45{,}31^{Bb}\pm0{,}31$	$43{,}88^{Cb}\pm0{,}17$	$42{,}49^{Cb}\pm0{,}11$	$40{,}01^{Ab}\pm0{,}25$
B2	$42{,}77^{Be}\pm0{,}19$	$41{,}15^{BCc}\pm0{,}09$	$40{,}87^{CDc}\pm0{,}15$	$39{,}44^{Da}\pm0{,}06$	$37{,}27^{Aa}\pm0{,}21$
A1	$45{,}32^{Abc}\pm0{,}29$	$44{,}19^{ABab}\pm0{,}15$	$43{,}99^{BCb}\pm0{,}18$	$42{,}17^{CDb}\pm0{,}05$	$41{,}39^{Db}\pm0{,}13$
A2	$42{,}28^{Ae}\pm0{,}09$	$41{,}99^{ABc}\pm0{,}18$	$40{,}35^{BCc}\pm0{,}13$	$39{,}80^{CDa}\pm0{,}07$	$38{,}44^{Da}\pm0{,}17$

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0{,}05$) entre si. Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Moraga *et al*. (2012) afirmam que a perda de peso dos alimentos durante o processo de congelamento é um fator imporante a ser considerado, esta perda, ou redução da umidade total é devida a evaporação da água contida nos produtos, principalmente a partir da superfície.

Ao 15° dia, observou-se uma redução nos valores de umidade iniciais, variando de 41,76% (T2) a 45,31% (B1), não apresentaram diferenças estatísticas as formulações T2, A2 e B2, além de T1 e B1. Decorridos 30 dias de estocagem congelada das massas, os teores de umidade continuaram a decrescer, o maior valor foi observado para a formulação A2 (43,99%), seguido de B2, com 43,88%, o menor teor de umidade para o período em estudo foi obtido por T2, com 40,72%. Não apresentaram diferenças significativas as formulações T2, B2 e A2, conforme observado no 15° dia.

Para o 45° dia de armazenamento, as formulações T2, B2 e A2 obtiveram níveis inferiores a 40,00% de umidade, a adição dos ingredientes funcionais em proporções de 10%, com relação ao peso total de farinha de trigo, pôde ter diminuído a capacide de retenção de água das massas, fazendo com que elas tenham maior redução devido à ação do freezer. O maior teor de umidade observado foi para a formulação B2 (42,49%) e o menor, 39,37% para T2, não apresentaram diferenças significativas as formulações acrescidas de 5% de polidextrose e os vegetais em pó (T1, B1 e A1) da padrão, bem como T2, B2 e A2 também não diferiram entre si, o que mostra uma relação entre o teor de umidade total e a quantidade dos ingredientes incorporados.

Com 60 dias, as massas para a produção de pães A1 manteve o maior teor de umidade dentre todas estudadas, com 41,39%; seguida de T2, com 40,91%, o menor valor observado foi para B2, com 37,27%. O mesmo comportamento que foi observado para o 45° dia também ocorreu para o 60°, não havendo diferenças entre as formulações padrão, T1, A1 e B2, bem como para T2, B2 e A2.

De acordo com Phimolsiripol *et al*., (2011), a perda de peso por evaporação em alimentos leva à perda de qualidade e por isso precisa ser minimizada. Durante o armazenamento congelado, esta característica pode ser importante, em termos de redução da qualidade e peso de venda.

O conteúdo total de água inicial das massas está de acordo com Baier-Schenk et al. (2005), que afirma que os valores de umidade total de massas variam de 40% a 45%, sendo este o limite de absorção dos polímeros da massa, entretanto, durante o tempo de armazenamento utilizado neste estudo, as formulações adicionadas de 10% de polidextrose e vegetais em pó apresentaram valores de umidade inferiores a 40%.

Para a formulação padrão, não houve diferenças significativa entre os teores de umidade obtidos entre o 45° e 60° dia de armazenamento, que variou de 40,87% a 40,27%. Já para T1, não

houve diferenças entre os teores de umidade até o 15° dia, bem como entre o 30° e 45° dia. Para T2, não ocorreram diferenças entre o 15° e 30° dia de estocagem.

A formulação processada com 5% de polidextrose e brócolis em pó, B1, não apresentaram diferenças significativas, ao nível de 5% de significância, os teores de umidades compreendidos entre o tempo zero e 15 dias de armazenamento, bem como entre o 30° e 45 dia. As umidades totais foram significativas idênticas para os tempos zero e 15° dia para a formulação B2.

As formulações adicionadas de açaí não apresentaram diferenças significativas entre os teores de umidades totais das massas ao longo do tempo de armazenamento congelado.

Os resultados são diferentes para as formulações padrão, adicionadas de polidextrose e vegetais em pó dos obtidos por Matuda (2004) e Resende (2011) quando estudaram a incorporação de gomas em massas congeladas, onde não houve redução significativa do teor de umidade das massas durante o armazenamento congelado.

Reid (2008) relata que a migração da umidade das massas em alimentos congelados aumenta com a elevação da temperatura e suas flutuações, oscilações de temperatura podem ter ocorrido ao longo do período de armazenamento estudado e provocado a perda de umidade das massas para a produção de pães tipo forma processados com ingredientes funcionais.

Giannou e Tzia (2007) verificaram redução da umidade de 11% a 13% em massas congeladas para armazenamento até 270 dias, valores próximos obtidos pelos pães tipo forma adicionados de componentes funcionais.

Foi observado a perda de 2,5% de umidade total em pães pré-assados estocados congelados por até 120 dias em estudo desenvolvido por Majzoobi *et al*. (2011). Leray *et al*. (2010) observaram redução da umidade total em massas enriquecidas com fibras armazenadas por até 28 dias.

3.1.14 Efeito do congelamento e armazenamento congelado na estrutura do miolo

A tabela 57 apresenta os parâmetros estruturais dos miolos de pães tipo forma com ingredientes funcionais obtidos por massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias, os parâmetros foram obtidos a partir de imagens digitalizadas e transformadas para tons de cinza (32 bit) e posteriormente limiarizadas pelo algorítimo de Otsu.

De modo geral, o armazenamento congelado das massas diminuiu o número de alvéolos presentes nos pães, a formulação padrão apresentou 838 alvéolos para os pães produzidos sem armazenamento congelado e 452 aos 60 dias de estocagem. A adição de 5% de polidextrose e tomate em pó promoveu maior número de alvéolos, se comparados ao padrão, com 1025 para massas não-congeladas, ao 60° dia, este número foi de 544, reduzindo quase que pela metade.

Percebeu-se que a adição de 30 g de polidextrose e tomate em pó reduz o número de alvéolos, provavelmente este fenômeno pode ser explicado pelos danos à rede do glúten devido à maior quantidade de ingredientes incorporados, bem como pela fermentação mais lenta, conforme informações obtidas através do gráfico do fator de expansão.

Tabela 57 – Parâmetros estruturais do miolo de pães tipo forma.

Formulação	Dias	Número de alvéolos (cel)	Área média dos alvéolos (mm²)	Perímetro médio dos alvéolos (mm²)	Circularidade dos alvéolos
Padrão	**0**	838^{a}±17	396,19^{e}±1,15	456,22^{e}±7,36	0,849^{a}±0,01
	15	747^{b}±22	411,84^{d}±2,08	475,56^{d}±5,18	0,745^{b}±0,03
	30	601^{d}±38	429,00^{c}±0,79	501,69^{c}±3,88	0,738^{c}±0,02
	45	565^{d}±15	442,27^{b}±1,38	538,32^{b}±5,02	0,721^{d}±0,04
	60	452^{c}±10	500,18^{a}±1,53	626,53^{a}±4,94	0,712^{e}±0,02
T1	**0**	1025^{a}±21	413,22^{e}±2,43	497,33^{e}±3,11	0,855^{a}±0,03
	15	838^{b}±19	466,70^{d}±1,08	541,92^{d}±5,46	0,837^{b}±0,03
	30	711^{c}±15	507,32c±3,15	624,11^{c}±3,72	0,814^{c}±0,03
	45	603^{d}±13	748,90^{b}±1,99	841,92^{b}±5,46	0,784^{e}±0,02
	60	544^{e}±20	837,08^{a}±2,77	954,33^{a}±3,11	0,769^{e}±0,04
T2	**0**	638^{a}±17	361,46^{e}±2,25	527,47^{e}±2,19	0,803^{a}±0,03
	15	530^{b}±21	505,59^{d}±2,77	648,96^{d}±3,66	0,751^{b}±0,07
	30	444^{c}±12	621,78^{c}±3,18	700,42^{c}±2,82	0,748^{c}±0,02
	45	401^{d}±10	739,14^{b}±2,49	845,70^{b}±2,56	0,733^{d}±0,01
	60	383^{d}±19	861,05^{a}±1,73	944,31^{a}±2,14	0,728^{e}±0,05
B1	**0**	1102^{a}±11	355,10^{e}±2,84	435,31^{e}±3,11	0,865^{a}±0,02
	15	1001^{b}±08	487,55^{d}±3,93	521,10^{d}±2,08	0,846^{b}±0,02
	30	837^{c}±16	619,34^{c}±3,56	728,29^{c}±1,98	0,824^{c}±0,07
	45	759^{d}±22	796,32^{b}±3,18	824,69^{b}±2,35	0,809^{d}±0,02
	60	615^{e}±13	863,04^{a}±2,99	947,01^{a}±2,61	0,774^{e}±0,05
B2	**0**	636^{a}±11	369,23^{e}±2,02	437,09^{e}±3,57	0,811^{a}±0,03
	15	511^{b}±13	491,20^{d}±3,85	635,09^{d}±2,19	0,782^{b}±0,02
	30	415^{c}±25	687,25^{c}±2,91	739,42^{c}±2,46	0,769^{c}±0,05
	45	353^{d}±17	773,96^{b}±3,10	899,45^{b}±2,94	0,742^{d}±0,03
	60	228^{e}±15	890,37^{a}±2,32	915,29^{a}±2,17	0,727^{e}±0,04
A1	**0**	845^{a}±12	399,15^{e}±2,11	474,22^{e}±2,73	0,894^{a}±0,01
	15	701^{b}±17	463,39^{d}±2,73	571,20^{d}±3,15	0,874^{b}±0,06
	30	612^{c}±09	617,52^{c}±2,15	693,28^{c}±3,21	0,839^{c}±0,03
	45	516^{d}±15	548,51^{b}±2,84	759,12^{b}±2,17	0,813^{d}±0,05
	60	491^{d}±26	858,90^{a}±2,39	844,29^{a}±2,98	0,770^{e}±0,02
A2	**0**	618^{a}±19	511,73^{e}±2,21	648,27^{e}±1,73	0,832^{a}±0,03
	15	545^{b}±20	626,31^{d}±2,74	721,42^{d}±2,32	0,809^{b}±0,02
	30	418^{c}±26	706,38^{c}±1,92	820,19^{c}±3,58	0,770^{c}±0,07
	45	364^{d}±21	816,51^{b}±2,38	921,67^{b}±2,46	0,741^{d}±0,04
	60	310^{e}±18	906,48^{a}±2,13	1.108,33^{a}±2,37	0,729^{e}±0,05

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

A formulação B1 apresentou o maior número inicial de alvéolos, com 1102, obtendo ao final de 60 dias de armazenamento congelado o valor de 615 alvéolos. A formulação B2 obteve valores inferiores de número de alvéolos, quando comparado à B1, o mesmo comportamento obtido pelas formulações adicionadas de polidextrose e tomate em pó, o número variou de 636 a 228, ao 60° dia de estocagem congelada das massas. Os pães processados com polidextrose e açaí em pó apresentaram os menores valores iniciais de alvéolos, com 701 e 618 para as massas não-congeladas, o que mostra que o açaí em pó prejudicou a expansão dos alvéolos durante a fermentação e na etapa de forneamento dos pães.

Segundo Almeida (2012), a formação das células de gás, cerca de 8%, se forma durante a etapa de mistura da massa, onde ocorre a incorporação de ar, que, possue uma composição de 79% de nitrogênio e 21% de oxigênio, durante a fermentação este oxigênio é consumido pelas leveduras e o CO_2 é difundido na massa através de um equilíbrio de fases entre a fase líquida e gasosa, posteriormente ocorre uma elevação da pressão e o CO_2 passa totalmente para o estado gasoso, elevando o volume dos pães e fornecendo pressão às células de gás, futuros alvéolos, que serão preenchidos com o gás carbônico e expandidos durante o forneamento, levando à sua formação.

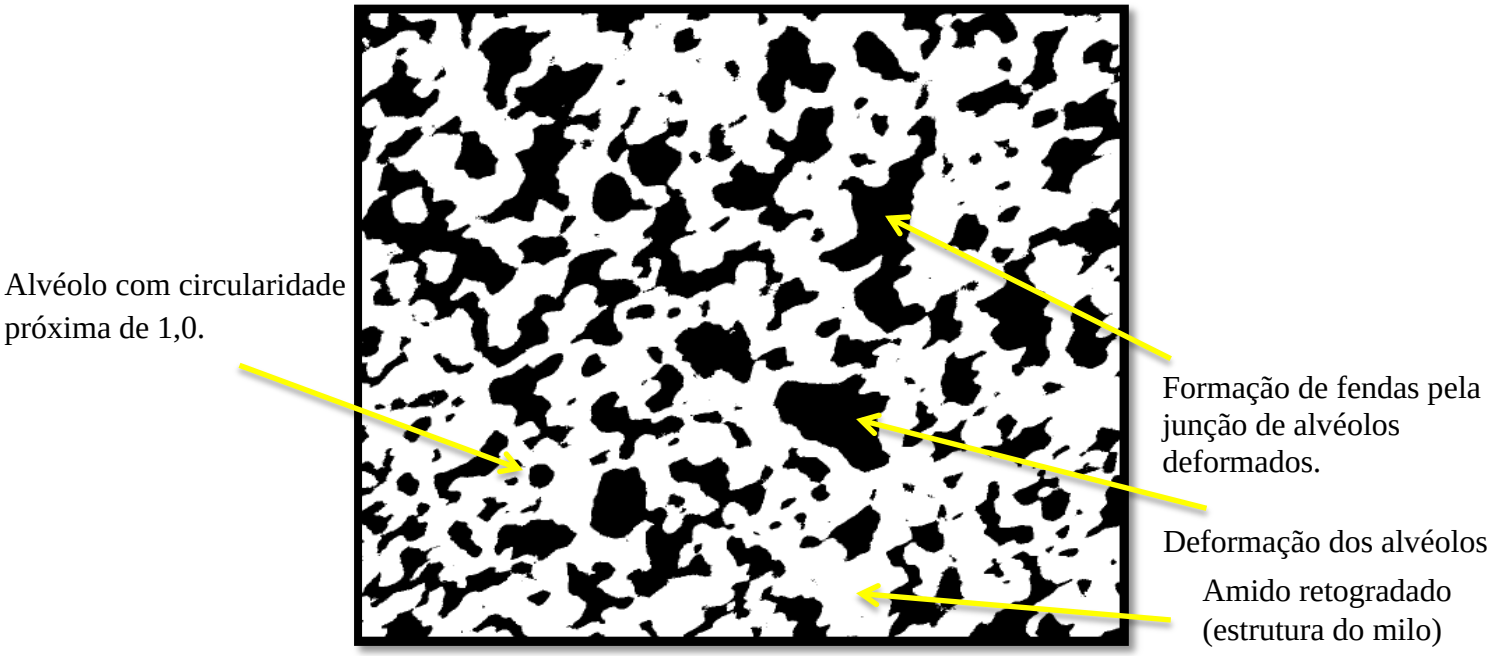
A incorporação de fibras ou de minerais permitem uma má formação ou enfraquecimento da rede do glúten, permitindo que este gás carbônico escape, não formando alvéolos, por isto, neste estudo, atribuiu-se ao elevado conteúdo mineral e de fibras do açaí a formação do menor número de alvéolos.

O tempo de estocagem congelada das massas promoveu a elevação da área e do perímetro médio dos alvéolos. O menor valor de área inicial média dos alvéolos, para massas não-congeladas, foi apresentado pela formulação 369,23 mm², provavelmente pelo fato desta formulação ter apresentado o maior número de alvéolos, caracterizando um miolo com distribuição uniforme e boa porosidade, consequentemente a B2 apresentou o menor perímetro inicial médio dos alvéolos, obtendo 435,09 mm² seguido da formulação padrão, com 456,22 mm².

Decorridos 60 dias de armazenamento congelado das massas, a maior área média dos alvéolos foi apresentada por A2, com 906,48 mm², obtendo também o maior perímetro médio, 1.108,33 mm², relacionando com o baixo número de alvéolos obtidos, 310; pode-se dizer que a qualidade dos pães A2, após 60 dias estocagem congelada das massas decresceu, com a diminuição da porosidade do miolo, onde os alvéolos se transformaram em fendas, conforme ilustra a figura 38.

Shi *et al*. (2013) observaram aumento na área e no perímetro de alvéolos de pães adicionados de filmes de zeína para diminuição da nucleação de gelo, o que foi observado neste estudo, onde o tempo de estocagem congeladas das massas, para todas as formulações estudadas, promoveu a elevação da área média e o perimetro dos alvéolos.

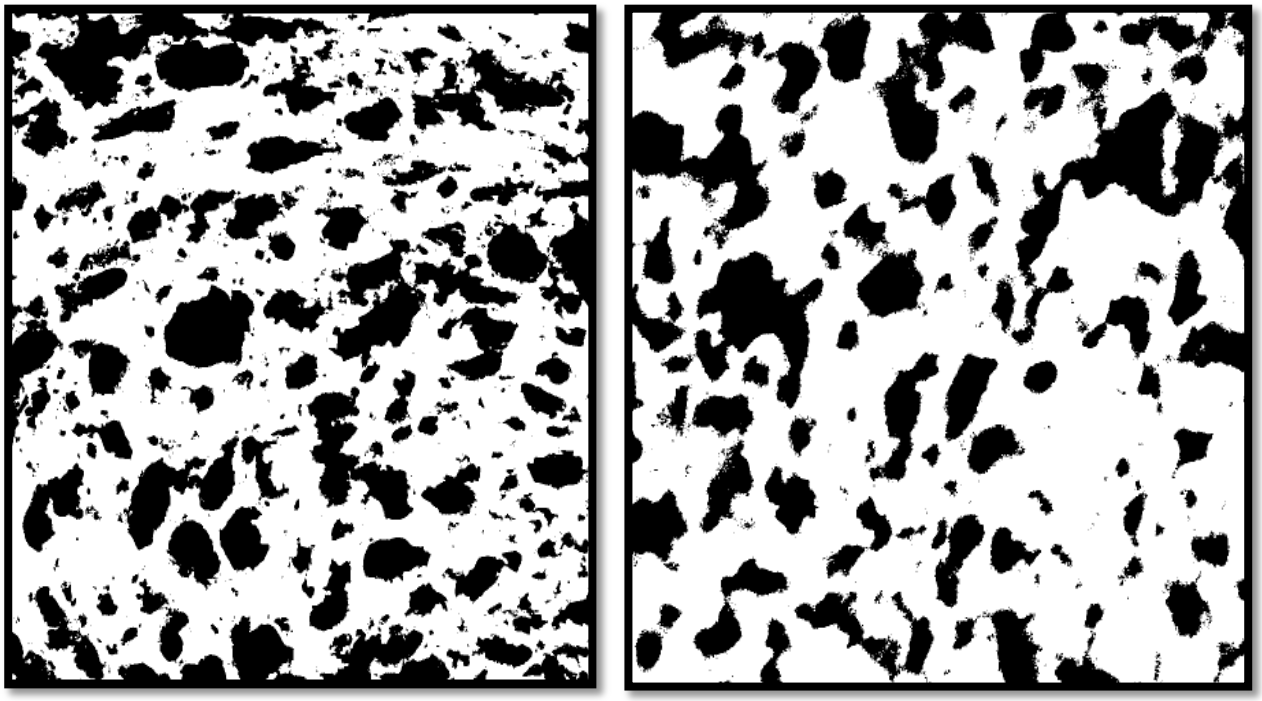
Figura 38 – Imagem digital limiarizada (900x900 mm) de amostras do miolo de pão tipo forma A2 após 60 dias de armazenamento congelado das massas.



A circularidade é o parâmetro que mede o quanto os alvéolos se aproximam ou não de um círculo, seus valores a variam de 0 a 1, onde representa o valor de um círculo perfeito (ROSELL e GOMEZ, 2007). O grau de circularidade dos alvéolos foi reduzindo em função do tempo de estocagem congelada das massas, os valores variaram de 0,803 (T2) a 0,874 (A2) para os pães produzidos a partir de massas não-congeladas, percebeu-se que a circularidade dos pães adicionados de polidextrose e tomate em pó obtiveram formato menos circulares, quando comparados às formulações adicionadas de polidextrose e açaí, bem como polidextrose e brócolis em pó e a formulação padrão, que obteve circularidade de 0,849.

Ao 60° dia de armazenamento congelado das massas, todas as circularidades obtidas foram abaixo de 0,80. O menor valor foi observado pela formulação padrão, com 0,712. De acordo com a figura 39, que mostra o comparativo entre as imagens digitalizadas limiarizadas dos pães padrão proveniente de massa não-congelada e congelada por 60 dias, foi possível observar que praticamente não há alvéolos com circularidade bem definida, após 60 dias de estocagem, indicando a perda da uniformidade do miolo. O maior valor de circularidade média dos alvéolos foi obtido pela formulação A1, com 0,774.

Figura 39 – Imagens digitalizadas (900x900 mm) e limiarizadas dos pães padrão provenientes de massas não-congeladas (a) e congelada por 60 dias (b).



(a) (b)

Uma consequência direta da perda de viabilidade celular de levedura é a redução do número, aumento da área total, do perímetro total e da densidade das células de gás (ROSELL e GOMEZ, 2007), o que foi observado no presente estudo.

Em estudo desenvolvido por Hager *et al*. (2012), investigando a estrutura do miolo de pães processados com diferentes matérias-primas sem glúten, como milho, amido, quinoa, arroz e etc, observaram que as formulações sem glúten apresentaram número de alvéolos inferior ao aos pães processados somente com farinha de trigo, diferentemente do que foi observado no estudo com a adição de polidextrose e vegetais em pó, onde as formulações T1 e B1 obtiveram maior número de alvéolos do que a padrão.

Matos e Rosell (2012) encontraram valores de circularidade de pães sem glúten variando de 0,64 a 0,81; valores próximos aos obtidos neste estudo com a adição de polidextrose e vegetais em pó.

No anexo D deste estudo, são apresentadas as demais imagens digitalizadas e limiarizadas dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais e obtidos através da tecnologia de massas congeladas.

3.1.15 Efeito do congelamento e armazenamento congelado nos parâmetros de textura

A textura pode ser definida como um conjunto de características físicas que provém dos elementos estruturais dos alimentos (SZCZESNIAK, 2002). É um importante atributo físico dos alimentos, que além de dar satisfação ao cosumidor, ajuda no exercício mastigatório (DUTCOSKY, 2007). Ela representa um importante indicador de frescura e qualidade para o consumidor, sendo um factor imprescindível para a aceitabilidade do produto no mercado (KOWALSKI, *et al*., 2002).

Estes produtos, como o pão de forma, apresentam alterações na textura durante o período de estocagem em consequência do fenômeno conhecido como envelhecimento do pão, sendo a avalição das textura dos produtos importante, conforme explica Munhoz (2003).

A textura do pão pode ser avaliada de acordo com a firmeza, elasticidade e outros parâmetros físicos. O miolo do pão é um sólido celular ou uma esponja, em nível macroscópico, é um sistema de duas fases com um volume elevado de fração gasosa disperso em uma protéica com paredes celulares de espessura variando de 20 a 200 mm, que podem ser mais abertas ou fechadas, dependendo da força da farinha (KEETELS *et al*., 1996).

A tabela 58 apresenta os resultados com relação aos parâmetros de textura do miolo de pães tipo forma com ingredientes funcionais e obtidos por massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.

De acordo com Esteller e Lannes (2005) a dureza ou firmeza dos pães está relacionada com a força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra, e pode ser correlacionada com a mastigação humana. A força máxima avaliada para produtos de panificação é dependente da formulação (qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsionantes e enzimas) e umidade da massa.

De modo geral, o armazenamento congelado das massas por até 60 dias promoveu o aumento da dureza do miolo dos pães, os maiores valores de dureza foram observados no tempo 60 e os menores no tempo inicial, este comportamento ocorreu para todas as formulações estudadas.

A dureza dos pães padrão variaram de 677,00 a 947,43 g, houve diferenças significativas entre a dureza em todos os tempos estudados. A adição de polidextrose e tomate em pó na proporção de 5% promoveu pães de menor dureza inicial, 348,10 g; fato que pode estar relacionado ao conteúdo lipídico presente no tomate em pó, tendo em vista que uma das funções da gordura é promover maciez aos produtos de panificação. A dureza máxima apresentada pela formulação T1 ocorreu ao 60° dia, obtendo o valor de 689,13 g. Para T2, onde a adição de polidextrose e tomate em pó foi de 10%, a dureza apresentada no tempo zero foi de 417,00 g, superior a T1, a maior dureza apresentada por T2 foi ao 60° dia, com 610,52 g.

Tabela 58 – Dureza, elasticidade e gomosidade dos miolos de pães tipo forma.

Amostras	Dias	Dureza (g)	Elasticidade (mm)	Gomosidade (g)
Padrão	**0**	677,00^{e}±3,75	5,45^{a}±0,12	581,70^{e}±2,11
	15	728,32^{d}±1,15	5,30^{b}±0,04	608,05^{d}±1,38
	30	833,01^{c}±4,89	4,92^{c}±0,15	658,23^{c}±3,84
	45	897,49^{b}±2,35	4,84^{d}±0,07	701,38^{b}±2,99
	60	947,43^{a}±1,77	4,71^{e}±0,03	755,63^{a}±0,93
T1	**0**	348,10^{e}±1,59	5,26^{a}±0,03	284,60^{e}±2,08
	15	415,73^{d}±2,12	5,03^{b}±0,07	290,34^{d}±1,52
	30	482,30^{c}±2,49	4,83^{c}±0,09	308,66^{c}±3,17
	45	535,44^{b}±2,01	4,62^{d}±0,01	333,41^{b}±2,63
	60	689,13^{a}±1,84	4,31^{e}±0,04	398,93^{a}±1,15
T2	**0**	417,00^{e}±1,55	5,70^{a}±0,02	365,10^{e}±1,49
	15	469,28^{d}±0,94	5,45^{b}±0,03	404,53^{d}±2,11
	30	515,35^{c}±1,32	5,10^{c}±0,01	439,82^{c}±0,99
	45	578,04^{b}±2,18	4,85^{d}±0,02	487,61^{b}±1,04
	60	610,52^{a}±1,10	4,68^{e}±0,04	505,83^{a}±1,99
B1	**0**	851,50^{e}±2,19	5,44^{a}±0,02	725,00±1,42
	15	915,67^{d}±1,88	5,30^{b}±0,01	748,23±2,15
	30	998,40^{c}±2,15	5,19^{c}±0,03	794,11±1,66
	45	1.048,38^{b}±4,15	5,01^{d}±0,01	838,48±1,82
	60	1.115,59^{a}±3,12	4,98^{d}±0,05	914,92±2,15
B2	**0**	1.140,12^{e}±2,97	5,51^{a}±0,02	971,80^{e}±1,47
	15	1.258,39^{d}±3,64	5,38^{b}±0,04	1.019,17^{d}±0,97
	30	1.494,66^{c}±3,12	5,10^{c}±0,02	1.144,02^{c}±1,35
	45	1.658,49^{b}±1,89	4,89^{d}±0,03	1.328,10^{b}±2,18
	60	1.732,16^{a}±3,17	4,61^{e}±0,01	1.639,32^{a}±1,75
A1	**0**	814,00^{e}±2,11	4,83^{a}±0,02	580,70^{e}±1,25
	15	897,28^{d}±1,93	4,73^{b}±0,01	599,32^{d}±2,10
	30	921,39^{c}±2,83	4,58^{c}±0,02	604,44^{c}±0,97
	45	954,37^{b}±2,17	4,45^{d}±0,02	615,28^{b}±0,44
	60	988,53^{a}±3,96	4,22^{e}±0,01	619,44^{a}±0,17
A2	**0**	852,50^{e}±1,15	5,05^{a}±0,02	619,00^{e}±1,72
	15	921,43^{d}±2,19	4,94^{b}±0,01	715,28^{d}±1,06
	30	989,84^{c}±1,77	4,73^{c}±0,03	744,54^{c}±2,15
	45	1.061,31^{b}±2,53	4,55^{d}±0,01	779,33^{b}±0,93
	60	1.144,73^{a}±4,11	4,31^{e}±0,02	839,11^{a}±1,39

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

As formulações adicionadas de polidextrose e brócolis em pó apresentaram os maiores valores de dureza para o tempo zero, com 851,50 g para B1 e 1.140,12 g para B2. Houve diferenças significativas em todos os tempos avaliados, a formulação B2 apresentou a maior dureza dentre todas as amostras após 60 dias, obtendo 1.732,16 g.

As durezas obtidas para a formulação A1 variaram de 814,00 g a 852,50 g, para o tempo zero e 60 dias respectivamente, quando a adição dos ingredientes funcionais foi maior, em A2, as durezas foram superiores em todos os tempos avaliados, os resultados situaram-se entre 988,53 N a 1.144,73 g.

Bárcenas *et al*. (2003) afirmam que a velocidade de endurecimento do pão é maior em produtos provenientes de massas congeladas ou pré-assados e congelados, o que ocorreu neste estudo, onde o tempo de estocagem congelada produziu pães tipo forma com maior dureza, quando comparado aos obtidos por massas não-congeladas.

Munhoz (2003) estudou a incorporação de goma xantana e guar em formulações de pães tipo forma para minimizar o envelhecimento dos produtos, percebeu-se que a utilização das gomas em altas dosagens produziu pães com maior dureza. Este fato também foi observado neste estudo onde, quanto maior a adição dos ingredientes funcionais, maior foi a dureza inicial dos produtos, quando comparados à padrão, porém, o uso conjunto de polidextrose e tomate em pó promoveu durezas menores.

O aumento da dureza dos pães ao longo do tempo de armazenamento, foi observado por Schleißinger *et al*. (2013), quando avaliou a dureza de pães padrão e adicionados de fibras durante três dias, os autores observaram que as fibras aumentaram a firmeza dos pães de modo significativo, bem como o tempo de armazenamento, este comportamento também se aplica aos pães adicionados de polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó.

A redução do teor de umidade ao longo do tempo de estocagem, que foi observado neste estudo, deve ser avaliada, pois, a redução do teor abaixo do ponto crítico para a rede de glúten ser totalmente plastificada promove o aumento da rigidez da rede, contribuindo para o aumento da firmeza do miolo durante o armazenamento, conforme explica Bosmans *et al.* (2013).

Embora o papel das proteínas do glúten na firmeza dos miolos de pães ainda esteja sob debate, a taxa de extensão do amido e sua recristalização têm sido relacionadas com a textura e aceitabilidade de pães (LAGRAIN *et al*., 2012).

O'Brien *et al*. (2003) relataram um maior aumento na dureza do miolo dos pães quando a inulina foi adicionada como um pó, em vez de gel. Os ingredientes funcionais utilizados neste estudo foram na forma de pós, o que pode ter proporcionado maiores valores de dureza se utilizados na forma de polpa, por exemplo.

Em estudo desenvolvido por Sousa (2012), no que concerne aos resultados de firmeza dos pães, os valores médios de dureza observados foram todos mais elevados do que o valor obtido para o ensaio padrão (946,10 g), oscilando entre 1.204,69 g e 2.451,71 g, apenas a formulação adicionada de 10% de polidextrose e brócolis em pó apresentou resultados semelhantes.

Ribotta *et al*. (2008) afirmam que um maior valor de dureza está associado a pão de pior qualidade, diante disto, a qualidade dos pães à medida que o tempo de estocagem congelada das massas foi aumentando, decresceu.

A farinha de arroz promoveu efeito inverso ao da polidextrose, tomate, brócolis e açaí em pó, onde reduziu a dureza dos pães quanto maior foi a sua incorporação, entretanto, o efeito do tempo de armazenamento foi semelhante, elevando-se os valores de dureza à medida em que o tempo aumentou, conforme estudo desenvolvido por Evangelho *et al*. (2013), os valores variaram de 404,08 para a formulação padrão após 2 horas de forneamento a 2.869,37 após 120 horas.

Lodi e Vodovotz (2008) avaliaram as alterações ocorridas durante a estocagem por 10 dias de pães de forma com soja e observaram um aumento na firmeza de 56% após 10 dias de armazenamento, atribuindo este fato ao menor volume inicial e à estrutura mais densa do miolo dos pães. Carr e Tadini (2003) verificaram aumento da dureza em pães frances ao longo de 28 dias de armazenamento pré-assado congelado. Pães processados com farinha de alfarroba, desenvolvidos por Tsatsaragkou *et al*. (2012) apresentaram valores de firmeza menor, quanto maior foi a adição da alfarroba, em conjunto com maiores conteúdos de água dos produtos.

Noronha (2013) define elasticidade como a porcentagem de recuperação do material, como a razão entre duas deformações.

O aumento na velocidade de congelamento reduz a elasticidade da massa, provavelmente devido à ruptura de certas ligações do sistema de glúten pela ação mecânica dos cristais de gelo. Velocidade de congelamento mais alta (3 m/s) produz maior dano (HAVET, MANKAI e LE BAIL, 2000), fato que pode ter ocasionado à redução da elasticidade dos pães com ingredientes funcionais ao longo do tempo de armazenamento congelado das massas. Ribotta *et al.* (2004) comentam que o congelamento da massa e sua estocagem provocam redução na elasticidade da massa, o que indica o enfraquecimento do glúten.

A estocagem congelada das massas produziu pães com menor elasticidade, quando comparados aos produzidos por massas não-congeladas. A formulação padrão obteve valores variando de 5,45 mm a 4,17 mm ao 60° dia, havendo diferenças estatísticas em todos os tempos estudados. O uso de 5% de polidextrose e tomate em pó produziu pães de menor elasticidade; 5,26 mm para massas não-congeladas e 4,31 mm após 60 dias de estocagem, nenhum valor obtido apresentou semelhança estatística ao nível de 5% de significância. Quando a adição destes ingredientes foi de 10%, a elasticidade inicial elevou-se para 5,70 mm e foi reduzida à medida do tempo de armazenamento, para 4,68 quando decorridos 60 dias, todos os valores diferiram entre si estatisticamente.

Às formulações B1 e B2 apresentaram elasticidade inferior à T2, com 5,44 mm e 5,51 mm respectivamente, o comportamento deste parâmetro foi semelhante, decrescendo ao longo do

tempo de estocagem, com valores da ordem de 4,98 mm e 4,61 mm, respectivamente. Os pães produzidos com polidextrose e açaí em pó apresentaram os menores valores de elasticidade inicial dentre as formulações estudadas, com 4,83 mm para A1 e 5,05 mm para A2, ao final de 60 dias de estocagem, o valor obtido por A1 (4,22) foi o menor comparado às demais e A2 obteve o mesmo valor de T1, com 4,31 mm. Para as formulações processadas com polidextrose, brócolis em pó e açaí em pó, todos os valores de elasticidade obtidos ao longo do tempo de estocagem apresentaram diferenças significativas, ao nível de 5% de significância.

Silva *et al*. (2010a) estudaram a incorporação de frutooligossacarídeos em pães de forma sem açúcar e verificaram que a incorporação de diferentes quantidades deste ingrediente não proporcionou diferenças significativas para a elasticidade, resultado diferente do encontrado para o uso da polidextrose e dos vegetais em pó, um dos fatores que pode justificar a não diferença foi a variação de apenas um ingrediente, bem como a quantidade máxima empregada, que foi de apenas 6%.

Silva *et al*. (2013b) definem gomosidade como a energia requerida para desintegrar um alimento semi-sólido, tornando-o apto a ser deglutido. A gomosidade, assim como a dureza, aumentou conforme o tempo de estocagem congelada das massas foi elevado. As formulações adicionadas de polidextrose e tomate em pó, no tempo zero, proporcionaram menores valores de gomosidade, quando comparados à padrão, onde T1 obteve 284,60 g; T2 com 365,10 g e a Padrão, 581,70 g. Segundo Ulziijargal *et al*. (2013), a inserção de outros componentes na panificação tende a alterar características de textura, dentre elas a gomosidade. Feili *et al*. (2013) observaram aumento na gomosidade de pães com a adição de *jackfruit* (*Artocapus heterophyllus*) em níveis de até 15%, o que foi observado para a combinação de ingredientes polidextrose/brócolis em pó e polidextrose/açaí em pó, as formulações B1 e B2 obtiveram 720,00 g e 971,80 g, respectivamente, enquanto que A1 e A2 tiveram valores de gomosidade de 570,80 g e 619,00 g. Após 60 dias de armazenamento congelado, os maiores valores de gomosidade foram obtidos pelas formulações B1 e B2, com 914,92 g e 1.639,32, respectivamente. As formulações adicionados de polidextrose e tomate em pó apresentaram os menores valores de gomosidade. Pajak *et al*. (2012) avaliaram as mudanças físicas em pães durante a estocagem, percebeu-se que para os pães armazenamentos até o 3° dia houve aumento da gomosidade.

A tabela 59 apresenta outros parâmetros de textura, como a mastigabilidade e a coesividade dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais e obtidos por massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.

O processamento oral de alimentos sólidos é essencialmente governado pela mastigação e salivação, sua ação conjunta induz a progressiva desagregação dos alimentos e a aderência de particulas formadas pela saliva, resultado na formação do bolo alimentar (CHEM, 2009). Este bolo

é, eventualmente, engolido, quando suas características estruturais tornam-se adequadas para esta ação, variando de indivíduo para indivíduo. O limiar da deglutição tem sido descrito em função do tamanho da partícula e da força de coesão, conforme explica Peyron et al. (2004).

Tabela 59 – Mastigabilidade, coesividade do miolo de pães tipo forma.

Formulação	Dias de Armazenamento Congelado	Mastigabilidade (N)	Coesividade (g)
Padrão	**0**	10,03^{e}±0,21	0,66^{c}±0,04
	15	13,99^{d}±0,09	0,69^{c}±0,01
	30	15,31^{c}±0,12	0,74^{b}±0,01
	45	17,48^{b}±0,16	0,79^{a}±0,02
	60	19,30^{a}±0,13	0,81^{a}±0,05
T1	**0**	6,85^{e}±0,09	0,71^{c}±0,02
	15	7,27^{d}±0,11	0,75^{b}±0,01
	30	10,44^{c}±0,19	0,78^{b}±0,02
	45	11,18^{b}±0,15	0,82^{a}±0,04
	60	15,25^{a}±0,11	0,85^{a}±0,02
T2	**0**	9,33^{e}±0,22	0,74^{d}±0,01
	15	10,18^{d}±0,05	0,78^{cd}±0,02
	30	12,68^{c}±0,09	0,83^{b}±0,03
	45	13,52^{b}±0,15	0,86^{b}±0,01
	60	16,22^{a}±0,04	0,90^{a}±0,02
B1	**0**	15,01^{e}±0,12	0,74^{d}±0,02
	15	16,99^{d}±0,07	0,79^{c}±0,02
	30	18,01^{c}±0,15	0,83^{b}±0,03
	45	19,43^{b}±0,12	0,86^{b}±0,01
	60	20,19^{a}±0,08	0,90^{a}±0,02
B2	**0**	17,75^{e}±0,06	0,75^{d}±0,03
	15	18,27^{d}±0,12	0,79^{d}±0,01
	30	19,76^{c}±0,19	0,84^{c}±0,02
	45	21,53^{b}±0,05	0,88^{b}±0,01
	60	26,40^{a}±0,09	0,94^{a}±0,03
A1	**0**	14,33^{e}±0,08	0,75^{c}±0,03
	15	15,94^{d}±0,12	0,81^{b}±0,01
	30	16,58^{c}±0,05	0,84^{b}±0,02
	45	17,28^{b}±0,13	0,89^{a}±0,01
	60	18,85^{a}±0,21	0,90^{a}±0,03
A2	**0**	16,94^{e}±0,31	0,79^{e}±0,02
	15	17,69^{d}±0,06	0,82^{d}±0,01
	30	18,33^{c}±0,12	0,88^{c}±0,03
	45	19,41^{b}±0,08	0,91^{b}±0,02
	60	21,77^{a}±0,15	0,95^{a}±0,01

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

A formação do bolo alimentar durante a mastigação tem sido investigada em uma ampla gama de produtos (TARREGA *et al*., 2011), os métodos normalmente utilizados para esta medição são a determinação do grau de absorção de água, medição das partículas e parâmetros de textura, de acordo com Tournier *et al*. (2012).

A mastigabildade é definida por a energia requerida para mastigar o alimento ou o número de mastigações necessárias antes da deglutição, conforme exposto por Batocchio *et al*. (2006).

Para os pães produzidos a partir de massas não-congeladas, o que apresentou a maior mastigabilidade foi B2, com 17,75 N, seguido de A2, com 16,94 N, quanto maior a incorporação dos ingredientes funcionais, maior foram os valores de mastigabilidade, este resultado assemelha-se aos obtidos por Gokmen *et al*. (2011), Waters *et al*. (2012) e Simmons *et al.* (2012b), que estudaram a adiição de transglutaminase em pães, a fortificação com proteínas, fibras e minerais e óleo de soja. A medida que a incorporação destes constituintes foi elevada nos pães, observou-se o aumento da mastigabilidade. Por outro lado, em estudo desenvolvido por Sankhon et al. (2013) a substituição parcial da farinha de trigo por farinha de feijão africano (*Parkia biglobosa*), promoveu menor mastigabilidade.

À medida em que o tempo de estocagem das massas foi elevado, a mastigabilidade teve o mesmo comportamento, o maior valor em todos os tempos estudados foi obtido pela formulação B2 e T1 os menores, o que pode ser explicado pelos valores de dureza e gomosidade apresentado por ambas as formulações anteriormente. Os pães B2, por apresentarem elevada dureza e gomosidade, acaba por dificultar a mastigabilidade do produto.

A influência do tempo de estocagem sobre a mastigabilidade de pães também foi observada por Simmons *et al*. (2012a), onde houve aumento após 14 dias, Fik *et al*. (2012), encontraram aumento na mastigabilidade de pães enriquecido com cálcio após 17 dias.

Todos os valores de mastigabilidade obtidos ao longo do tempo de armazenamento congelado das massas, para uma mesma formulação, diferiram estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância. O teste de tukey foi aplicado para todas as formulações, em cada tempo estudado, verificou-se que não houve diferenças significativas para a mastigabilidade de Padrão e T2, no tempo zero, entre B1 e A2, ao 30° dia, e entre B1 e A2 e Padrão e A1 ao 45° dia.

A coesividade é a extensão até onde um material pode ser deformado antes da ruptura. (SILVA *et al*. 2009).

O tempo de armazenamento congelado das massas promoveu a elevação do parâmetro de coesividade dos pães estudados, para a formulação padrão os valores variaram de 0,69 a 0,81; não houve diferenças significativas entre as coesividades apresentadas ao 15° e 30° dia de armazenamento e entre o 45° e 60° diia.

Para T1, os valores iniciais de coesividade foram superiores ao padrão, obtendo 0,71 para o tempo zero, não houve diferenças significativas entre os valores obtidos no 15° e 30° dia (0,75 e 0,78, respectivamente), o maior valor foi ao 60° dia, com 0,85; não diferindo do resultado do 45° dia, 0,83. A formulação adicionada de 10% de polidextrose e tomate em pó, T2, apresentou valores de coesividade superiores ao de T1 e padrão em todos os tempos de armazenamento congelado das massas estudados, para o tempo zero, a coesividade foi de 0,74. Não houve diferenças significativas para os valores obtidos entre o 30° e 45° dia. Os valores de coesividade obtidos para as formulações T1 e T2 foram superiores ao padrão devido à utilização da polidextrose em suas formulações, quanto maior a proporção, maior foi a coesividade inicial, isto se deve ao fato de que, segundo Esteller *et al.* (2004), a utilização da polidextrose aumenta a coesividade.

Para a formulação B1, a coesividade inicial foi de 0,74; entre o 30 e 45° dia de estocagem congelada das massas não houve diferenças significativas, ao nível de 5% de significância, com 0,83 e 0,86; respectvamente. O maior valor foi obtido para o 60° dia (0,90). Já B2, por ter maior adição de polidextrose e brócolis em pó, apresentou coesividade superior, entretanto, não houve diferença estatística para o valor de coesividade inicial de B1. A coesividade máxima foi no 60° dia, com 0,94. Os valores obtidos para o tempo zero e 15° dia não diferiram entre si.

As formulações contendo polidextrose e açaí em pó apresentaram coesividade variando de 0,75 (A1) a 0,79 (A2) para as massas não-congeladas, à medida em que o tempo de estocagem congeladas das massas foi aumentado, a coesividade dos pães também aumentou. Para as duas formulações, os maiores valores foram ao 60° dia, com 0,90 e 0,94; respectivamente.

Botelho (2006) avaliou a incorporação de amaranto em formulações de pães tipo forma, obteve valores de coesividade variando de 0,98 a 1,02; não havendo diferenças significativas entre a amostra adicionada de 20% de farinha de amaranto e a padrão, respectivamente.

Tsai *et al*. (2012) obtiveram redução na coesividade ao longo do tempo de armazenamento de três dias, variando de valores próximos a 0,75 a 0,65; comportamento inverso ao obtido pelos pães processados com polidextrose e os vegetais em pó. Para a firmeza, os resultados foram semelhantes, ocorreu o aumento em função do tempo de estocagem congelada.

3.1.16 Efeito do tempo de armazenamento congelado nos atributos sensoriais

Na Tabela 60 encontram-se as médias das notas obtidas no teste de aceitação dos pães de forma em relação aos atributos sensoriais: cor, aroma, sabor e textura.

Tabela 60 – Valores médios dos atributos sensoriais dos pães tipo forma.

Formulação	Dias[1]	Cor	Aroma	Sabor	Textura
Padrão	**0**	7,89^{a}±0,23	7,39^{a}±0,23	7,43^{ab}±0,17	7,38^{ab}±0,19
	15	7,60^{a}±0,25	7,10^{a}±0,21	7,04^{ab}±0,21	7,33^{ab}±0,21
	30	7,29^{ab}±0,31	7,02^{b}±0,16	7,02^{a}±0,19	7,31^{c}±0,12
	45	7,12^{ab}±0,20	6,57^{a}±0,27	6,54^{b}±0,25	6,58^{a}±0,27
	60	6,55^{a}±0,25	6,56^{a}±0,19	6,37^{b}±0,26	6,25^{a}±0,18
T1	**0**	7,31^{a}±0,26	7,29^{b}±0,17	7,08^{ab}±0,22	7,20^{b}±0,20
	15	7,16^{a}±0,14	7,08^{b}±0,23	6,89^{ab}±0,23	7,00^{b}±0,27
	30	6,91^{a}±0,24	6,95^{b}±0,19	6,54^{a}±0,29	6,91^{b}±0,15
	45	6,85^{a}±0,28	6,77^{b}±0,13	6,31^{ab}±0,29	6,68^{ab}±0,25
	60	6,81^{a}±0,22	5,93^{a}±0,18	5,77^{b}±0,16	5,97^{a}±0,10
T2	**0**	6,85^{b}±0,18	7,60^{a}±0,21	7,14^{b}±0,26	7,27^{a}±0,23
	15	6,70^{ab}±0,31	6,95^{ab}±0,23	7,10^{b}±0,23	7,18^{a}±0,18
	30	6,55^{ab}±0,18	6,60^{b}±0,26	6,35^{ab}±0,17	6,83^{a}±0,28
	45	6,43^{b}±0,16	6,46^{b}±0,24	6,12^{ab}±0,35	6,68^{a}±0,25
	60	5,70^{a}±0,24	6,43^{b}±0,29	5,77^{a}±0,21	6,47^{a}±0,27
B1	**0**	7,37^{a}±0,22	7,27^{a}±0,20	7,70^{a}±0,16	7,25^{a}±0,22
	15	7,14^{ab}±0,24	7,02^{a}±0,26	7,14^{ab}±0,28	6,81^{ab}±0,33
	30	6,97^{ab}±0,18	6,58^{ab}±0,22	7,08^{ab}±0,24	6,64^{ab}±0,26
	45	6,52^{b}±0,19	6,47^{ab}±0,26	6,85^{ab}±0,27	6,12^{b}±0,23
	60	6,50^{b}±0,25	6,16^{b}±0,24	6,58^{b}±0,23	5,87^{b}±0,30
B2	**0**	7,54^{a}±0,29	7,52^{a}±0,21	7,54^{a}±0,21	7,08^{a}±0,28
	15	6,50^{ab}±0,27	6,81^{ac}±0,23	7,10^{ab}±0,29	6,58^{b}±0,30
	30	6,25^{bc}±0,21	6,27^{c}±0,20	6,62^{abc}±0,23	6,12^{b}±0,30
	45	6,12^{bc}±0,23	6,20^{bc}±0,24	6,14^{bc}±0,24	6,04^{b}±0,20
	60	5,31^{b}±0,31	5,31^{b}±0,32	5,66^{c}±0,36	5,75^{b}±0,33
A1	**0**	6,33^{a}±0,26	7,10^{b}±0,16	7,12^{b}±0,22	7,25^{a}±0,24
	15	6,29^{a}±0,25	6,93^{b}±0,17	6,97^{b}±0,23	6,64^{ab}±0,26
	30	6,25^{a}±0,22	6,45^{ab}±0,26	6,70^{ab}±0,30	6,45^{ab}±0,19
	45	5,70^{a}±0,18	6,27^{ab}±0,23	6,22^{ab}±0,29	6,22^{ab}±0,31
	60	4,56^{b}±0,29	5,97^{a}±0,28	5,87^{a}±0,24	5,75^{b}±0,25
A2	**0**	6,08^{a}±0,28	6,57^{a}±0,19	6,56^{a}±0,26	5,97^{a}±0,28
	15	5,19^{ab}±0,27	6,06^{a}±0,26	6,55^{ab}±0,21	5,95^{a}±0,33
	30	4,66^{bc}±0,30	6,04^{a}±0,25	6,43^{ab}±0,28	5,87^{a}±0,28
	45	4,17^{bc}±0,21	6,00^{a}±0,28	6,14^{ab}±0,31	5,68^{a}±0,21
	60	3,64^{c}±0,28	5,81^{a}±0,30	5,45^{b}±0,19	5,50^{a}±0,31

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.
Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

As características sensoriais dos pães de forma são de fundamental importância para a sua aceitação pelos consumidores e, consequentemente, para a sua comercialização (HEENAN et al., 2008).

Muitos produtos são fabricados empregando a tecnologia de massas congeladas, como croissants, pães, pizza e pães doces que oferece produtos frescos, com excelente propriedades organolépticas e de textura (DECOCK e CAPELLE, 2005).

Além disso, a fim de compensar a deterioração efeito de congelamento, muitos pesquisadores se concentraram em desenvolver outros melhoradores, tais como emulsionantes, enzimas, hidrocolóides e proteínas estruturantes do gelo para estabilizar a rede de glúten e garantir produtos com qualidade aceitável para o consumidor (SILVA *et al*., 2009).

A adição dos ingredientes funcionais promoveu decréscimo significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de aceitação dos atributos sensoriais de cor, aroma, sabor e textura. A formulação padrão obteve o maior valor do atributo cor, com 7,89; para o aroma, T2 obteve a maior média hedônica, com 7,60; para o sabor, o maior valor foi obtido pela formulação B1, com 7,70. A textura da formulação padrão foi a melhor, para os pães produzidos a partir de massas não-congeladas, obtendo a média de 7,38. A estocagem congelada das massas proporcionou redução gradual e significativa, ao nível de 5% de significância dos valores hedônicos referentes a estes atributos estudados.

A formulação padrão não apresentou diferenças significativas para o atributo cor entre o tempo zero e 15° dia, bem como entre o 30° e 45° dia, os valores variaram de 7,89 a 6,55 após 60 dias, posicionando-se dentro da faixa de aceitabilidade positiva. O aroma apresentou valores variando de 7,39 a 6,36, não havendo diferenças significativas entre os quinze primeiros dias e entre o 45° e 60° dia, fato ocorrido também para o sabor e para a textura, onde as médias finais após após 60 dias de estocagem congelada das massas foi de 6,37 e 6,25; respectivamente, compreendendo na faixa de gostei ligeiramente e gostei moderadamente.

As médias do atributo cor para a formulação T1 decresceu ao longo do tempo de estocagem das massas, provavelmente por ter ocorrido o esbranquiçamento das amostras, como resultante da diminuição do teor de licopeno dos pães, o que ficou demonstrado através da análise dos parâmetros de luminosidade e cromaticidade a* e b*. As médias variaram de 7,31 a 6,81; entretanto, não houve diferenças significativas na aceitação para todos os tempos avaliados. Para o aroma, após 60 dias de estocagem, o valor foi de 5,93 diferindo estatisticamente dos demais. A redução do atributo sabor não foi significativa entre o tempo zero e 15° dia, bem como entre o 30° e 45° dia, ao 60° dia, a média de 5,77; diferiu das demais. O atributo textura dos pães T1, na opinião dos provadores, não foi influenciado, de modo significativo, pela estocagem congelada das massas até o 30° dia, variando de 7,20 a 5,97 após 60 dias.

Não houve diferenças significativas para o atributo cor entre o 15° e 30° dia de estocagem congelada para os pães T2, para o atributo aroma, as médias obtidas entre o 30° e 60° dia foram estatisticamente semelhantes, variando de 6,60 a 6,43. A estocagem não promoveu diferenças significativas para o sabor dos pães T2 até o 15° dia, bem como entre o 30° e 45° dia, após 60 dias, a média do atributo foi de 5,77 compreendendo entre nem gostei/desgostei e gostei ligeiramente do produto. O tempo de armazenamento congelado das massas não prejudicou, de modo significativo, a textura dos pães T2, não havendo diferença entre todos os tempos avaliados, as médias variaram de 7,47; para as massas não-congeladas a 6,47; após 60 dias de estocagem congelada.

A coloração dos pães B1 foi prejudicada pelo tempo de estocagem congelada das massas, variando de 7,37 para o tempo zero a 6,50 após 60 dias, não houve diferenças significativas entre o 15° e 30° dia e 45°/60° dia. Para o aroma, até o 15° dia de armazenamento não promoveu diferenças significativas, entre o 30° e 45° dia o comportamento foi semelhante, ao 60° dia de estocagem, a média do atributo foi de 6,16 dentro da faixa de aceitabilidade. O sabor dos pães não foi prejudicado estatisticamente pelo congelamento das massas entre o 15° e 45° dia, após 60 dias o valor obtido para o atributo foi de 6,58. O atributo textura, para o tempo zero, obteve média de 7,25; não houve diferenças significativas entre os tempos de estocagem 15 e 30, bem como para o 45° e 60° dia, onde as médias foram de 6,12 e 5,87 respectivamente.

Para as massas não-congeladas, a formulação B2 obteve médias superiores a 7,08 para todos os atributos avaliados, sendo o maior valor para a cor e sabor, com 7,54. Á medida em que o tempo de estocagem congelada das massas foi elevado, houve decréscimo dos valores hedônicos para os atributos, para a cor, não houve diferenças significativas entre o 30° e 45° dia. O aroma dos pães B2 foi influenciado negativamente pela estocagem congelada das massas, todos as médias obtidas para cada tempo de estocagem diferiram estatisticamente entre si, ao final de 60 dias, a média obtida foi de 5,31. Para o sabor o comportamento foi semelhante onde a média final do atributo foi de 5,66. Para a textura, não houveram diferenças entre o 15° e 60° dia de estocagem congelada, não houve influência negativa do congelamento de modo significativo neste período, o que é interessante do ponto de vista da qualidade do produto.

O congelamento das massas não prejudicou a aceitação da coloração dos pães até o 45° dia de estocagem para o atributo cor dos pães A1, as médias obtidas variaram de 6,33 a 5,70; contudo, ao final de 60 dias a média foi de 4,56; dentro da faixa de rejeição do produto. Para o aroma, não apresentaram diferenças significativas as médias entre o tempo zero e 15° dia e entre o 30° e 45° dia, o mesmo ocorreu para o sabor, o que sugere que estes dois atributos são relacionados entre si. A textura não foi influenciada pelo armazenamento congelado de modo significativo entre o 15° e 45° dia, comportamento semelhante ao apresentado pela formulação A1, o que sugere que o

açaí em pó pode promover uma manutenção da textura do produto por mais tempo, provavelmente devido ao maior conteúdo lipídico apresentado, quando comparado ao tomate e brócolis em pó.

O uso das enzimas glucolipase, hemicelulase e hexose oxidase em pães pré-assados congelados foi estudado por Almeida e Chang (2012), onde avaliaram sensorialmente, através da escala hedônica de 09 pontos atributos sensoriais dos produtos, os pães pré-assados foram estocados por até 65 dias, os atributos de cor, aroma, sabor e textura não apresentaram diferenças significativas, diferindo dos resultados obtidos neste estudo. O fato dos referidos autores terem utilizados pães pré-assados pode minimizar os danos decorrrentes da estocagem congelada, uma vez que a estrutura do miolo já está formada neste tipo de produto, o que evita alguns problemas encontrados no estudo dos pães com ingredientes funcionais provenientes de massas cruas congeladas, como a redução do volume específico, do conteúdo de umidade total das massas, o aumento da dureza do miolo e mudanças no aroma e sabor dos produtos, conforme explicam Bárcenas *et al*. (2004), Vulicevic *et al*. (2004) e Bárcenas e Rosell (2006).

Redução dos valores de aceitação dos atributos sensoriais também foi observado em estudo desenvolvido por Carr *et al*. (2006) com pães pré-assados congelados com estocagem de 7 dias, já Punturug e Neitiwaragon (2013), após 90 dias de estocagem congelada de massas para a produção de pães contendo os melhoradores trehalose, éster de sucralose e hidroximetil celulose, obtiveram médias sensoriais para o aroma e o sabor superiores a 7,60.

Ayodele *et al*. (2013) verificaram a redução dos valores hedônicos conforme foi elevada a concentração de farinha de fruta-pão em substituição à farinha de trigo em formulações de pães tipo forma, quando a adição foi superior a 50%, todos os atributos sensoriais apresentaram-se dentro da faixa de rejeição.

A tabela 61 apresenta os valores médios da impressão global e a atitude de compra dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais e obtidos por massas não-congeladas e congeladas por até 60 dias.

Para as massas não congeladas, a impressão global dos pães variou de 7,60 (B1) a 6,47 (A1), a menor média apresentada por esta formulação foi resultante da coloração apresentada pelo produto, em tons de cinza, bem como pelo atributo textura, o qual apresentou a menor média para esta formulação no tempo zero, com 5,97. Entre as amostras, neste tempo estudado, não houve diferenças entre as formulações Padrão, T1, T2, B1 e B2, indicando que a adição dos ingredientes funcionais não prejudicou a impressão global dos pães tipo forma.

Tabela 61 – Valores médios da impressão global e atitude de compra dos pães tipo forma.

Formulação	Dias[1]	Impressão Global	Atitude de Compra
Padrão	**0**	7,52^{a}±0,19	1,37^{b}±0,10
	15	7,35^{ab}±0,18	1,45^{b}±0,14
	30	7,08^{ab}±0,20	2,08^{ab}±0,10
	45	6,68^{b}±0,23	2,93^{ab}±0,14
	60	6,66^{b}±0,19	3,65^{a}±0,16
T1	**0**	7,45^{b}±0,18	1,62^{a}±0,11
	15	7,08^{b}±0,26	2,14^{ab}±0,17
	30	7,04^{b}±0,19	3,08^{b}±0,11
	45	6,85^{b}±0,21	3,85^{b}±0,15
	60	5,95^{a}±0,09	3,93^{b}±0,07
T2	**0**	7,45^{a}±0,29	2,29^{a}±0,20
	15	7,16^{ab}±0,25	2,66^{ab}±0,15
	30	6,70^{ab}±0,27	3,15^{ab}±0,19
	45	6,43^{b}±0,25	3,39^{b}±0,08
	60	6,20^{b}±0,17	3,54^{b}±0,18
B1	**0**	7,60^{a}±0,17	1,97^{a}±0,16
	15	7,08^{ab}±0,25	1,97^{a}±0,19
	30	6,97^{ab}±0,18	2,35^{ab}±0,16
	45	6,64^{b}±0,20	2,39^{ab}±0,11
	60	6,45^{b}±0,23	2,62^{b}±0,15
B2	**0**	7,47^{a}±0,21	2,14^{b}±0,13
	15	6,72^{ac}±0,23	2,31^{b}±0,18
	30	6,50^{c}±0,21	2,72^{ab}±0,17
	45	6,31^{bc}±0,17	3,04^{a}±0,17
	60	5,47^{b}±0,29	3,31^{a}±0,18
A1	**0**	6,95^{a}±0,22	2,12^{a}±0,14
	15	6,81^{ab}±0,20	2,41^{a}±0,21
	30	6,47^{ab}±0,26	2,68^{a}±0,16
	45	5,95^{b}±0,28	2,77^{a}±0,11
	60	5,93^{b}±0,24	2,79^{a}±0,13
A2	**0**	6,47^{a}±0,24	2,64^{a}±0,17
	15	6,16^{ab}±0,26	2,95^{a}±0,18
	30	6,08^{ab}±0,23	2,97^{a}±0,17
	45	6,02^{ab}±0,27	2,97^{a}±0,15
	60	5,81^{b}±0,21	3,22^{b}±0,17

[1]Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna para mesma formulação não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre si.

Padrão: formulação sem a adição dos ingredientes funcionais; Açaí 1 (A1): 5% de açaí em pó e polidextrose; Açaí 2 (A2): 10% de açaí em pó e polidextrose; Brócolis 1 (B1): 5% de brócolis e polidextrose; Brócolis 2 (B2): 10% de brócolis em pó e polidextrose; Tomate 1 (T1): 5% de tomate em pó e polidextrose; Tomate 2 (T2): 10% de tomate em pó e polidextrose.

Ao 15° dia de estocagem congelada das massas, todos os valores médios de impressão global obtidos foram superiores a 7,00; com exeção das amostras A1 e A2, que obtiveram 6,81 e 6,16; respectivamente.

Após 60 dias, as formulações T2, B2, A1, A2 apresentaram valores médios abaixo de entre 6,00 e 5,00; correspondendo à faixa de gostei ligeiramente e nem gostei/desgostei das amostras, indicando que o tempo de estocagem congelada proporcionou prejuízos à qualidade sensorial dos pães.

Para a formulação padrão, não houve diferenças significativas entre o 15° e 30° dia de armanzemento congelado, com as médias variando de 7,35 e 7,08; bem como entre o 45° e 60° dia, onde as médias para a impressão global foram de 6,68 e 6,66; respectivamente. Já com relação a atitude de compra, as diferenças não foram observadas entre a obtenção dos pães por massa não-congelada, tempo zero, e o 15° dia de estocagem congelada, também não houve diferença entre o 30° e 45° dia. Decorrido 60 dias, a atitude de compra da formulação foi de 3,65.

O efeito do tempo de estocagem congelada das massas não apresentou efeito e diferenças significativas, ao nível de 5% de significância para a impressão global dos pães até o 45° dia. O que para a atitude de compra, ocorreu apenas a partir do 30° dia, portanto, houve diferenças significativas para o tempo zero e 15° dia com relação aos demais tempos estudados.

As formulações T2 e B1 não apresentaram diferenças significativas para o período entre o 15° e 30° dia, bem como entre o 45° e 60° dia, variando de 7,16 a 6,70 e 6,43 e 6,20 para T1 respectivamente. Para a atitude de compra, o comportamento de T2 foi semelhante, ao final do 60° dia de estocagem, o valor médio obtido foi de 3,54; entre talvez comprasse/não comprasse e possivelmente compraria. Já para B1, não houve diferenças significativas entre as atitudes de compra dos pães compreendidas entre o tempo zero e 15° dia, bem como entre o 30° e 45° dia. B2 apresentou diferenças significativas entre todos os tempos estudados, entretanto, para a atitude de compra o comportamento foi semelhante à B1, os valores variaram de 2,14 para o tempo zero e 3,31 após 60 dias de estocagem congelada das massas.

A formulação A1 não apresentou diferenças significativas na impressão global entre o 15° e 30° dia e 45° e 60° dia. Para a atitude de compra, os valores variaram de 2,12 a 2,79; dentro da faixa de compra entre possivelmente e certamente compraria os produtos, não apresentaram diferenças entre si, ao nível de 5% de significância entre todos os tempos de estocagem estudados. Para A2 a impressão global variou de 6,47 para as massas não-congeladas a 5,81 após 60 dias, não havendo diferenças significativas entre as médias obtidas entre o 15° e 45° dia de estocagem congelada das massas. Para a atitude de compra os valores variaram entre 2,64 e 3,22; ao 60° dia, a atitude de compra dos pães A2 diferiu estatisticamente dos demais tempos estudados.

Simmons *et al*. (2012b) avaliaram a aceitabilidade de pães processados com farinha de trigo e soja e a sua obtenção por massas não-congeladas e congeladas, verificou-se que os pães produzidos somente com farinha de trigo e provenientes de massas não-congeladas tiveram aceitabilidade superior do que os pães processados com farinha de soja e obtidos por massas congeladas, 95% contra 70%, semelhante aos resultados obtidos neste estudo, onde a formulação padrão obteve a maior média para a impressão global, juntamente com a formulação B1, quando os pães foram obtidos por massas não congeladas, quando a tecnologia de massas congeladas foi empregada, a formulação padrão obteve as melhores médias para a impressão global até o 60° dia.

A impressão global e atitude de compra não foram prejudicadas pelo armazenamento congelado em pães pré-assados em estudo desenvolvido por Almeida e Chang (2012), o que ocorreu também após 90 dias de estocagem congelada para pães adicionados de óleos vegetais e melhoradores (PUNTURUG e NEITIWARANON, 2013).

A aceitabilidade geral de pães armazenados por até 96 horas decresceu de 6,10 a 2,0; a partir de 48 horas, os pães já se encontravam na zona de rejeição, com média de 4,0 em estudo desenvolvido por Majzoobi *et al*. (20111).

A tabela 62 apresenta os resultados referentes ao teste pareado-preferência das amostras de pães tipo forma processadas com ingredientes funcionais.

As formulações padrão e T1 diferiram estatisticamente entre si quanto à preferência dos provadores apenas no tempo zero, onde os pães foram obtidos por massas não-congeladas. Quando a comparação foi entre a padrão e T2, houve diferenças significativas entre as preferências no 45° e 60° dia de estocagem congelada das massas, sendo a padrão a mais preferida. Entre T1 e T2, esta foi mais preferida nos tempos zero e 15 dias, após este período não houve diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Não houve diferenças significativas com relação à preferência das formulações padrão e B1 em todos os tempos de estocagem de massas congeladas, quando a comparação foi entre padrão e B2, a diferença significativa ocorreu apenas no 60° dia de estocagem, sendo a padrão a mais preferida, comportamento semelhante entre B1 e B2, onde a primeira foi a mais preferida.

O tempo de estocagem congelada das massas não proporcionou diferenças significativas entre as formulações padrão e A1, onde esta foi a mais preferida no tempo zero e 30 dias, por ter obtido maior pontuação no teste. Já para A2, a formulação padrão foi a mais preferida em todos os tempos avaliados, havendo diferença estatística entre elas.

Tabela 62 – Resultados do teste de ordenação-preferência das amostras de pães tipo forma.

Comparação	Dias	Soma de ordens			Diferenças significativas*
P; T1; T2	**0**	95	128	89	|P-T1| = diferem entre si |P-T2| = não diferem entre si |T1-T2| = diferem entre si
	15	98	115	92	|P-T1| = não diferem entre si |P-T2| = não diferem entre si |T1-T2| = diferem entre si.
	30	101	108	91	|P-T1| = não diferem entre si. |P-T2| = não diferem entre si. |T1-T2| = não diferem entre si.
	45	115	103	90	|P-T1| = não diferem entre si. |P-T2| = diferem entre si. |T1-T2| = não diferem entre si.
	60	118	102	88	|P-T1| = não diferem entre si. |P-T2| = diferem entre si. |T1-T2| = não diferem entre si.
P; B1; B2	**0**	93	99	105	|P-B1| = não diferem entre si. |P-B2| = não diferem entre si. |B2-B1| = não diferem entre si.
	15	95	101	103	|P-B1| = não diferem entre si. |P-B2| = não diferem entre si. |B1-B2| = não diferem entre si.
	30	90	94	107	|P-B1| = não diferem entre si. |P-B2| = não diferem entre si. |B1-B2| = não diferem entre si.
	45	98	112	90	|P-B1| = não diferem entre si. |P-B2| = não diferem entre si. |B1-B2| = não diferem entre si.
	60	112	104	72	|P-B1| = não diferem entre si. |P-B2| = diferem entre si. |B1-B2| = diferem entre si.
P; A1; A2	**0**	105	107	71	|P-A1| = não diferem entre si. |P-A2| = diferem entre si. |A1-A2| = diferem entre si.
	15	111	106	69	|P-A1| = não diferem entre si, |P-A2| = diferem entre si. |A1-A2| = diferem entre si.
	30	103	111	72	|P-A1| = não diferem entre si. |P-A2| = diferem entre si. |A1-A2| = diferem entre si.
	45	110	104	72	|P-A1| = não diferem entre si. |P-A2| = diferem entre si. |A1-A2| = diferem entre si.
	60	114	96	77	|P-A1| = não diferem entre si. |P-A2| = diferem entre si. |A1-A2| = não diferem entre si.

*De acordo com a tabela para teste de ordenação, Tabela Newell e Mcfarlane, a diferença mínima de respostas (DMS) para estabelecer diferença significativa, ao nível de 5% de significância, para três amostras e 48 julgadores é de: 23 respostas .

O enriquecimento de pão com proteínas de pescado foi estudado por Centenaro *et al*. (2007), não foram observados diferenças significativas entre o pão padrão e os adicionados com polpa úmida e seca de pescado. Diferentemente do que foi observado para as adições de polidextrose, brócolis e açaí em pó, onde também não houve diferenças significativas entre as formulações obtidas por massas não-congeladas.

Peres (2010) também não observou diferenças significativas na preferência de formulações de biscoito tipo cookies enriquecidas com cálcio e vitamina D. Resultado semelhante ao obtido por Zavareze *et al*. (2010), ao estudar bolos com adição de soro de leite *in natura*, desidratado e concentrado.

Pierkarski (2009) ao estudar a incorporação de farinha de folha de abóbora não encontrou diferenças significativas para incorporações entre 1,5 e 2,2 g, para 3,5 g, houve diferenças entre a preferência dos pães tipo forma.

4.0 CONCLUSÃO

A incorporação dos ingredientes funcionais reduziu os pontos de congelamento das massas, quando comparados à formulação padrão, o que provocou a não completa formação dos critais de gelo dentro da matriz do alimento, auxiliando na manutenção das células viáveis de levedura. Esta manutenção foi maior nos pães adicionados de 10% de polidextrose e açaí em pó (A2), com 51,07% de células viáveis após 60 dias de escotagem congelada e B2, com 50,00%; a menor viabilidade foi apresentada pela formulação padrão, com apenas 11,27%.

Este fenômeno modificou as propriedades físicas das massas e dos pães. O volume produzido durante a fermentação foi maior nas formulações incorporadas de polidextrose, brócolis e açaí em pó. O fator de expansão decresceu ao longo do tempo de estocagem congelada das massas, entretanto, os ingredientes funcionais proporcionaram fatores de expansão maiores do que à formulação padrão, após 60 dias de estocagem, melhorando a qualidade das massas.

O uso de ingredientes funcionais em formulações de pães tipo forma não alterou o volume específico dos produtos em massas não-congeladas. As formulações adicionadas de polidextrose/brócolis em pó e polidextrose/açaí em pó obtiveram volumes específicos superiores a 2,00 mL/g após 60 dias de estocagem congelada, produzindo pães com qualidade superior ao padrão. Os ingredientes promoveram benefícios à qualidade das massas e dos pães tipo forma no que diz respeito aos parâmetros físicos de expansão durante a estocagem congelada.

Houve redução na luminosidade dos pães contendo ingredientes funcionais, houve modificações nos parâmetros de cromaticidade a* e b*, devido ao fato da degradação de pigmentos

presentes no tomate, brócolis e açaí em pó, o que pode ser relacionado com o decréscimo dos valores hedônicos para o atributo cor na análise sensorial dos pães.

A utilização dos ingredientes funcionais proporcionou o aumento da quantidade e melhor distribuição dos alvéolos do miolo dos pães. O armazenamento congelado promoveu alterações na estrutura do miolo, como a redução no número de alvéolos, aumento da área e perímetro médio, resultado da união dos alvéolos com a formação de fendas e compactação do miolo, o que também foi evidenciado pela diminuição da circularidade dos alvéolos.

A incorporação de polidextrose/tomate em pó reduziu a dureza, gomosidade e mastigabilidade dos pães e o uso do açaí e brócolis em pó proporcionou o aumento destes parâmetros. A estocagem congelada também promoveu comportamento semelhante, o que refletiu diretamente nos parâmetros sensoriais dos pães tipo forma.

Para as massas não-congeladas nenhum atributo, de todas as formulações estudas, obteve médias dentro da faixa de aceitabilidade, com médias superiores a 5,97; ou seja, os ingredientes funcionais, além de proporcionar melhoria do valor nutricional dos produtos, não os prejudicou sensorialmente. Com a estocagem congelada houve o decréscimo dos valores dos atributos sensoriais de cor, aroma, sabor e textura, após 60 dias, com exeção do atributo cor para as formulações adicionadas de polidextrose/açaí em pó, os valores hedônicos foram superiores a 5,31 (B2 – aroma); compreendendo entre nem gostei/desgostei e gostei ligeiramente.

A atitude de compra para os pães provenientes de massas não-congeladas foi maior do que as estocadas congeladas, após 60 dias, os valores ficaram entre a faixa tenho dúvidas se compraria/não compraria e possivelmente compraria, a formulação padrão obteve atitude de compra positiva até o 45° dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M. R.; MOSS, M. O. **Microbiología de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1997. 464p.

ADAMS, L. S.; SEERAM, N. P.; AGGARWAL, B. B.; TAKADA, Y.; SAND, D.; HEBER, D. Pomegranate Juice, Total Pomegranate Ellagitannins, and Punicalagin Suppress Inflammatory Cell Signaling in Colon Cancer Cells. **J. Agric. Food Chem**. v. 54, n. 3, p. 980-985, 2006.

AFOAKWA, E. O.; PATERSON, A; FOWLER, M. Factors influencing rheological and textural qualitys in chocolate – a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 18, n. 6, p. 290-298, 2007.

ALMEIDA, O. P. **Fermentação de pães**. 2006. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/servicos/materias/tp184/Fermentacao.pdf>. Acesso: 15 ago. 2013.

ALMEIDA, O. P. **Pão de forma sem glúten a base de farinha de arroz**. 289 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

ALMEIDA, E. L.; CHANG, Y. K. Influence of different enzymes during the frozen storage of pre-baked French bread elaborated with whole-wheat flour. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 67, n. 2, p. 38-45, 2012.

ALMEIDA, E. L.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Dietary fibre sources in bread: influence on technological quality. **Food Science and Technology**, v. 50, n. 3, p. 545-553, 2013.

ALSHATWI, A. A.; OBAAID, M. A. A.; SEDAIRY, S. A. A.; AL-ASSAF, A. H.; ZHANG, J. J.; LEI, K. Y. Tomato powder is more protective than lycopene supplement against lipid peroxidation in rats. **Nutrition Research**, v. 30, n. 2, p. 66-73, 2010.

AMAYA, D. A D.; GOES, T. S.; PINHEIRO, G. K.; BRASIL, D. L.; ZAMBELLI, R. A. Influência do suco de goiaba na capacidade de expansão das massas para a produção de pães tipo forma. **Magistra**, v. 25, n. 1, p. 193-197, 2013a.

AMAYA, D. A. D.; PINHEIRO, G. K.; BRASIL, D. L.; MELO, P. E. F.; ZAMBELLI, R. A. Incorporação de suco de manga em formulações de pães tipo forma: avaliação das características físicas. **Magistra**, v. 25, n. 1, p. 436-441, 2013b.

AMAYA, D. A. D.; PINHEIRO, G. K.; BRASIL, D. L.; MELO, P. E. F.; ZAMBELLI, R. A. Efeito do suco de caju sob a capacidade de expansão das massas durante o processo de fermentação. **Magisra**, v. 25, n. 1, p. 524-528, 2013c.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – A. A. C. C. **Approved methods of American Association of Cereal Chemists**. 9 ed. St. Paul: 1995.

ASGHAR, A.; ANJUM, F. M.; JONATHAN, C. A.; RASOOL, G.; SHEIKH, M. A. Effect of modified whey protein concentrates on instrumental texture analysis of froze dough. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 2, p. 189-193, 2009.

ÁVILA, E. R. L. G. **Utilização de amêndoas de frutos do cerrado na produção de pães sem glúten**. 86 f. Dissertação. (Mestrado em saúde e desenvolvimento na região centro-oeste), Universidade Federal do Mato Grosso, Campo Grande, 2012.

AYODELE, I. F.; ALADESANMI, O. A. The proximate composition and sensory evaluation of the flours of breadfruit (*artocapus altilus*), benth seed (*adenopus breviflours*) and their composite bread. **Chemistry and Materials Research**, v. 3, n. 9, p. 79-84, 2013.

BAHADORAN, Z.; MIRMIRAN, P.; HOSSEINPANAH, F.; HEDAYATI, M.; HOSSEINPOUR-NIAZI, S.; AZIZI, F. Broccoli sprouts reduce oxidative stress in type 2 diabetes: a randomized double-blind clinical trial. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 65, n. 1, p. 972-977, 2011.

BAIER-SCHIENK, A.; HANDSCHIN, S.; CONDE-PETIT, B. Ice in prefermented frozen bread dough-an investigation based on calorimetry and microscopy. Cereal Chemistry, v. 82, n. 1, p. 251-255, 2005.

BÁRCENAS, M. E.; HAROS, M.; ROSELL, C. M. An approach to studying the effect ofdifferent bread improvers on the staling of pre-baked frozen bread. **European Food Research and Technology** v. 218, n. 2, p. 56-61, 2003.

BÁRCENAS, M. E.; HAROS, M.; BENEDITO, C.; ROSELL, C. M. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. **Food Research International**, v. 36, n. 2, p. 863-869, 2004.

BÁRCENAS, M. E.; ROSELL, C. M. Different approaches for improving the quality and the extending the shelf-life of partially baked bread: low temperature and HPMC additions. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 92-99, 2006.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos.** Campinas: Editora da UNICAMP, 2003. 299 p.

BATOCCHIO, J. R.; CARDOSO, J. M. P.; KIKUCHI, M.; MACCHIONE, M.; MODOLO, J. S.; PAIXÃO, A. L.; PINCHELLI, A. M.; SILVA, A. R.; SOUSA, V. C.; WADA, J. K. A.; WADA, J. K. A.; BOLINI, H. M. A. Perfil sensorial de pão de forma integral. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 428-433, 2006.

BEYER-SEHLMEYER, G.; GLEI, M.; HARTMANN, E.; HUGHES, R.; PERSIN, C.; BÖHM, V.; ROWLAND, I.; SCHUBERT, R.; JAHREIS, G.; POOL-ZOBEL, B. L. Butyrate is only one of severeal growth inhibitors produced during gut flora-mediated fermentation of dietary fibre sources. **The British Journal of Nutrition**, v. 90, n. 3, p. 1057-1070, 2003.

BERGLUND, P. T.; SHELTON, D. R. Effect of frozen storage duration on firming properties of breads baked from frozen doughs. **Cereal Foods World**, v.38, n. 3, p. 89-93, 1993.

BERNAUD, F. S. R; FUNCHAL, C. Atividade antioxidante do açaí. **Nutrição Brasil**, v. 10, n. 5, p. 38-45, 2011.

BHATTACHARYA, M.; LANGSTAFF, T.M.; BERZONSKY, W.A. Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen doughs. **Food Research International**, v.36, p. 365-372, 2003.

BONNESEN, C.; EGGLESTON, I. M.; HAYES, J. D. Dietary indoles and isothiocyanates that are generated from cruciferous vegetables can both stimulate apoptosis and confer protection DNA damage in human colon cell lines. **Cancer Research**, v. 61, n. 16, p. 6120-6130, 2001.

BORGES, J. T. S.; PAULA, C. D.; PIROZI, M. R.; OLIVEIRA, K. Qualidade nutricional de pão de forma enriquecido com farinha de quinoa. **Alimentos hoy**, v. 21, n. 7, p. 55-67, 2012.

BORRÁS, H. D.; OSELLA, C. A.; ROBUTTI, J.; SÁNCHEZ, H. D.; BORRÁS, F.; TORRE, M. A. **Dough Properties Related to Baking Quality Using Principal Component Analysis**. Argentina, 2007. Disponível em: <http://redalyc.uaemex/redalyc/sec/enicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=7241191002>. Acesso: 05 jan 2013.

BOSMANS, G. M.; LAGRAIN, B.; OOMS, N. FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Biopolymer interactions, water dynamics and bread crumb firming. Journal of **Agriculture and Food Chemistry**, v. 61, n. 19, p. 4646-4654, 2013.

BOT, A. Differencial scanning calorimetric study on the effects of frozen storage on gluten and dough. **Cereal Chemistry**, v.80, p. 366-370, 2003.

BOTELHO, F. **Caracterização do amaranto cultivado em Santa Catarina e sua utilização na produção de pães**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

BRASIL . Portaria RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000. Aprova regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade do pão. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm >. Acesso: 07 de Agosto de 2012.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO E CONFEITA RIA. In____. **Análise do mercado de pães, 2002/2003**. Disponível em: <*http://www.abip.org.br*>. Acesso: 01 de Agosto de 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução n. 16,* de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico de Procedimentos para Registro de Alimentos e ou Novos Ingredientes. Brasília, 1999a.
BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. *Resolução n. 17*, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Avaliação de Risco e Segurança dos Alimentos. Brasília, 1999b.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. *Resolução n. 18*, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. Brasília, 1999c.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. *Resolução n. 19*, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico de Procedimentos para Registro de Alimento com Alegação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde em sua Rotulagem. Brasília, 1999d.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CAMPAS-BAYPOLI, A.; OLGA, N.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; GUITÉRREZ-CONRADO, M. A.; ESTRADA-ALVARADO, SANCHEZ-MACHADO, D. I. **Caracterización bioquímica y cuantificación de sulforafanoen resíduos delbrócoli: Investigación de CA**. Disponível em: <http://antiguo.itson.mx/CDA/sextarada/documentos/Ejemplo_de_extenso.pdf> - Acesso: 15 Mar. de 2012.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão: arte e ciência**. 5ª ed. São Paulo: Editora Senac, 2012. 323p;

CAPELLARI, J. B. **Biossíntese de ácido lático por Lactobacillus amylovorus a partir de resíduos agroindustriais**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2010.

CAPRILES, V. D.; AREAS, J. A. G. Avanços na produção de pães sem glúten: aspectos tecnológicos e nutricionais. **Boletim CEPPA**, v. 29, n. 1, p. 15-21, 2011.

CARR, L. G.; TADINI, C. C. Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread. **Lebensmitell Wissencraft und-Technologie**., v. 36, n. 6, p. 609-614, 2003.

CARR, L. G.; RODAS, M. A. B.; TORRE, J. C. M. D.; TADINI, C. C. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 5, p. 540-547, 2006.

CARVALHO, W; FONSECA, M. E. N.; BOITEUX, L. S.; GIORDANO, L. B. Estimativa indireta dos teores de licopeno em frutos genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, v. 232 n. 3, p. 819-825, 2005.

CASTELO-BRANCO, J. D. C. P. **Myrosinase stability in broccoli (*Brassica olearacea var. Italica*)**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da Panificação**. Barueri, São Paulo: Ed. Manole, 2009. 418 p.

CENTENARO, G. S.; FEDDERN, V.; BONOW, E. T.; SALAS-MELLADO, M. Enriquecimento de pão com proteínas de pescado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 663-668, 2007.

CHEN, C.; ÖHGREN, C.; LANGTON, M.; LUSTRUP, K. F.; NYDÉN, M.; SWENSON, J. Impact of long-term frozen storage on the dynamics of water and ice in wheat bread. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 2, p. 120-124, 2013.

CHEM, J. Food oral processing – a review. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 1, p. 1–25, 2009.

CHEVALIER, D.; LE BAIL, A.; GHOUL, M. Freezing and ice crystals formed in a cylindrical food model: part I. Freezing at atmospheric pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 4, p. 277-285, 2000.

CHUA, K. J.; CHOU, S. K. On the study of the freeze-thaw thermal process of a biological system. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, n. 17, p. 3696-3709, 2009.

CLARKE, J. D.; CLARKE, R. H.; HO, E. D. Multi-targeted prevention of cancer by sulforaphane. **Cancer Letters**, v. 269, n. 2, p. 291-304, 2008.

COLLAR, C.; SANTOS, E.; ROSELL, C. M. Assessment of the rheological profile of fiber enriched bread doughs by response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 820-826, 2007.

CONAWAY, C. C.; GETAHUM, S. M.; LIEBES, L. L.; PUSATERI, D. J.; TOPHAM, D. K. W.; BOTERO-OMARY, M. et al. Disposition of glucosinolates and sulforaphane in humans after ingestion of steamed and fresh broccoli. **Nutrition and Cancer-an International Journal**, v. 38, n. 2, p. 168-178, 2000.

CRAVEIRO, A.C.; CRAVEIRO, A. A. **Alimentos Funcionais:** A Nova Revolução. Fortaleza: PADETEC, 2003.

CURIC, D.; DUGUM, J.; BAUMAN, I.The influence of fungal alpha-amylase supplementation on amylolytic activity and baking quality of flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 673- 680, 2002.

DAVOODI, M. G.; VIJAYANAND, P.; KULKARNI, S. G.; RAMANA, K. V. R. Effect of different pretreatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 1832-1840, 2007.

DE BONA, S. **Estudos de viabilidade da produção de pão francês a partir de massa congelada**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DECOCK, P.; CAPELLES, S. Bread Technology and sourdough technology. **Trends in Food Science Technology**, v. 16, n. 1, p. 133-120, 2005.

DEWETTINK, K.; VAN BOCKSTAELE, F.; KÜHNE, B.; VAN DE WALLE, D.; COURTENS, T.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 1, p. 243-257, 2008.

DHINGRA, S.; JOOD, S. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour. **Food Chemistry**, v. 77, n. 4, p. 479-488, 2002.

DOS SANTOS, H. F. M. **Livro de Panificação**. 2ª ed. Lisboa: Editora Sauvage, 2006. 134 p.

DOSZ, E. B.; JEFFERY, E. H. Commercially produced frozen broccoli lacks the ability to form sulforaphane. **Journal of Functionals Foods**, v. 5, n. 2, p. 987-990, 2013.

DOWNES, F. P.; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: American Public Heath Association, 2001. 676 p.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 2ª ed. Curitiba: Champagnat, 2007.

ENGELS, G. Açai – Euterpe oleracea (herb profile). **Herbalgram.** v. 86 n. 2, p. 1–2, 2010.

EL-DASH, A. A. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. 1ª ed. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 350 p.

ESSELINK, E. F. J.; VAN ALAST, H.; MALIEPAARD, M.; VAN DUYNHOVEN, J. P. M. Long-term storage effect in frozen dough spectroscopy and microscopy. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 1, p. 396-403, 2003.

ESTELLER, M. S.; OLIVEIRA, R. M. O.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** v. 24, n. 4, p. 602 - 607, 2004.

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.

EVANGELHO, J. A.; PINTO, V. Z.; ZAVAREZE, E. R.; VANIER, N. L.; DIAS, A. R. G.; BARBOSA, L. M. P. Propriedades tecnológicas e nutricionais de pães preparados com diferentes proporções de farinha de arroz e farinha de arroz extrusada. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 4, p. 264-282, 2012.

EYILER, E.; OZTAN, A. Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. **Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 307-311, 2011.

FAHEY, J. W.; ZALCMANN, A. T.; TALALAY, P. The chemical diversity and distribuition of glucosinolates and isothiocyanates among plants. **Phytochemistry**, v. 56, n. 2, p. 5-51, 2001.

FAHEY, J. W. Brassicas. In: CABELLERO, B.; TRUGO, L.; FINGLA, S. P. (ed). **Encyclopedia of Food Science and Nutrition**. Academic, St. Louis, p. 606-615, 2003.

FEILI, R.; ZZAMAN, W.; ABDULLAH, W. N. W.; YANG, T. A. Physical and sensory analysis of high fiber bread incorporate with Jackfruit rind flour. **Food Science and Technology**, v. 1, n. 2, p. 30-36, 2013.

FENWICK, R.; GRIFFITHS, N. M.; HEANEY, R. K. Bitterness in brussels sprouts (Brassica oleracea L. var. gemmifera): The role of glucosinolates and their breakdown products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 34, n. 1, p. 73-80, 1983.

FILIPOVIC, J.; FILIPOVIC, N.; FILIPOVIC, V. The effects of commercial fibres on frozen bread dough. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 75, n. 2, p. 195-207, 2010.

FIK, M.; SURÓWKA, K.; MACIEJASZEK, I.; MACURA, M.; MICHALCZKYK, M. Quality and shelf-life of calcium-enriched wholemeal bread stored in a modified atmosphere. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 418-424, 2012.

FEITOSA, L. R. G. F.; MACIEL, J. F.; BARRETO, T. A.; MOREIRA, R. T. Avaliação da qualidade do pão tipo francês por métodos instrumentais e sensoriais, **Semina Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 693-704, 2013.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed-Bookman, 2006. 608 p.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A. Interações sinérgicas entre polpa de fruta e polissacarídeos em cisalhamento estacionário e dinâmico. In: ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 9, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Editora TecArt,. p. 654-660, 2007.

FLOOD, M. T.; AUERBACH, M. H.; CRAIG, S. A. S. A review of the clinical toleration studies of polydextrose in food. **Food Chemistry Toxicology**, v. 42, n. 2, p. 1531-1542, 2004.

FONTES, L. C. B.; SIVI, T. C.; RAMOS, K. K.; QUEIROZ, F. P. C. Efeito das condições operacionais no processo de desidratação de batata-doce. **Revista brasileira de produtos agroindustriais**. v. 14, n. 1, p. 1-13, 2012.

FRAGOSO, M. F.; ROMUALDO, G. R.; RIBIERO, D. A.; BARBISA, L. F. Açai (Euterpe oleracea Mart.) feeding attenuates dimethylhydrazine-in-duced rat colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, v. 58, n. 1, p. 68-76, 2012.

FRANCISCHI, M.L.P.; ORMENESE, R.C.S.C.; PIZZINATTO, A. Tecnologia de produção de pães a partir de massas congeladas. **Boletim da SBCTA**, v.32, p. 209-214, 1998.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008. 182p.

FUNCK, L. G.; FRANCISCO, A. Efeitos do congelamento e dos ciclos de gelo-degelo em massas de pão. **Boletim CEPPA**, v. 24, n. 1, p. 163-190, 2006.

GABRIC, D.; BEN-AISSA, F.; LE-BAIL, A.; MONTEAU, J. Y.; CURIC, D. Impact of process conditions on the structure of pre-fermented frozen dough**. Journal of Food Engineering.** n.105, p. 361–366, 2011.

GHAWI, S. K.; METHVEN, L.; NIRANJAN, K. The potential to intensify sulforaphane formation in cookie broccoli (Brassica olearacea var. Italica) using mustard seeds (Sinapis alba). **Food Chemistry**, v. 138, n. 2, p. 1734-1741, 2012.

GIANNOU, V.; KESSOGLOU, V.; TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. **Trens in food science and technology**. v. 14, n. 1, p. 99-108, 2003.

GIANNOU, V.; TZIA, C. Frozen dough bread: quality and textural behavior during prolonged storage – prediction of final product characteristics. **Journal of Food Engineering**. n.79, p. 929–934, 2007.

GIOVANELLI, G.; ZANONI, B.; LAVELLI, V.; NANI, R. Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 2, p. 135-141, 2003.

GÖKMEN, V.; MOGOL, B. A.; LUMAGA R. B.; FOGLIANO, V.; KAPLUN, Z.; SHIMONI, E. Development of functional bread containing nanoencapsuled omega-3 fatty acids. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 4, p. 585-591, 2011.

GONZALES-BARRÓN, U.; BUTLER, F. A comparison of seven thresolding techniques with the k-means clustering altorithm for measurement of bread-crumb features by digital image analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 268-278, 2006.

GRAGNANI, M. A. L. **Produção e avaliação de pão de forma com triticale e enzima transglutaminase microbiana**. 180 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

GUERREIRO, L. **Dossiê Técnico – Panificação**. 1ª ed. Rio de Janeiro: REDETEC, 2006.

HAGER, A.; WOLTER, A.; CZERNY, M.; BENZ, J.; ZANINI, B.; ARENDT, E. K.; CZERNY, M. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours to their wheat counterparts. **European Food Research Technology**, v. 235, n. 1, p. 333-444, 2012.

HAVET, M.; MANKAI, M.; LE BAIL, A. Influence of the freezing condition on the baking performances of french frozen dough. **Journal of Food Engineering.** v. 45, n. 2, p.139-145, 2000.

HEBER, D.; LU, Q. Y. Overview of mechanisms of action of lycopene. **Experimental Biology and Medicine**, v. 227, n. 2, p. 920-923.

HEENAN, S. P.; DUFOUR, J. P.; HAMID, N.; HARVEY, W; DELAHUNTY, C. M. The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions. **Food Research International, Oxford**, v. 41, n.10, p. 989-997, 2008.

HEISS, E.; HERHAUS, C.; KILMO, K.; BARTSCH, H.; GERHÄUSER, C. Nuclear factor kappa B is a molecular target for sulforaphane-mediated anti-inflamatory mechanisms. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 276, n. 1, p. 32008-32015, 2001.

HENGST, C.; PTOK, S.; ROESSLER, A.; FECHNER, A.; JAHREIS, G. Effects of polydextrose supplemention on different faecal parameters in healthy volunteers. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 5, p. 96-105, 2008.

HENNIG, K.; VERKERK, R.; BONNEMA, A. B.; DEKKER, M. Pitfalls in the desulphation of glucosinolates in a high-throughput assay. **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 2355-2361, 2012.

HINDMARSH, J. P.; RUSSELL, A. B.; CHEN, X. D. Experimental and numerical analysis of the temperature transition of a freezing food solution droplet **Chemical Engineering Science**, v. 59, n. 12, p. 2503-2515, 2004.

HINO, A.; TAKANO, H.; TANAKA, Y. New freeze-tolerant yeast from frozen dough preparations. **Cereal chemistry**, v. 64, n. 4, p. 269-275, 1987.

HOGAN, S.; CHUNG, H.; ZHANG, L.; LI, J.; LEE, Y.; DAI, Y.; ZHOU, K. Antoproliferative and antioxidant properties of anthocyanin-rich extract from acai. **Food Chemistry**, v. 118, n. 1, p. 208-214, 2010.

HOSSEINIAN, F. S.; LI, W.; HYDAMAKA, A. W.; TSOPMO, A.; LOWRY, L.; FRIEL, J. et al. Proanthocyanidin profile and ORAC values of manitoba berries, chokecherries, and Seabuckthorn. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 17, p. 6970-6976, 2007.

HU, S.; LIU, G.; LI, L.; LI, Z.; HOU, Y. An improvement in the immersion freezing process for frozen dough via ultrasound irradiation. **Journal of Food Engineering**, v. 114, n. 1, p. 22-28, 2013.

HYOGAN, S., CHUNG, H., ZHANG, L., LI, J., LEE, Y., DAI, Y., ZHOU, K., Antiproliferative and antioxidant properties of anthocyanin-rich exctract from açaí. **Food Chemistry**, v. 118, n. 2, p. 208-214, 2010.

IADEROZA, M.; BALDINI, I. S. D.; BOVI, M. L. A. Anthocyanins from Fruits of Açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.). **Tropical Science**, 32: 41-46, 1992.

INOUE, Y.; BUSHUK, W. Effects of freezing, frozen storage and thawing of dough and baked goods. **Food Science and Technology**, v. 72, n. 2, p. 367-400, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ**. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 2005. v. 1. 533p.

IZCO, A. S. **Botánica**. 2ª Edição: McGraw Hill, Londres, 2004. 167 p.

JACKEL, S. S. Frozen dough opportunities keep heating up. **Cereal Foods World**, v. 36, n. 1, p. 529-435, 1991.

JEFFERY, E. H.; ARAYA, M. Physiological effects of broccoli consumption. **Phytochemical Reviews**, v. 8, n. 1, p. 283-298, 2009.

JIA, C.; HUANG, W.; WU, C.; LV, X.; RAYAS-DUARTE, P.; ZHANG, L. Characterization and yeast crioprotective performance for thermostable ice-structuring proteins from Chinese Privet (Ligustrum vulgare) leaves. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 280-284, 2012.

JIE, Z.; BANG-YAO, L.; MING-JIE, X.; HAI-WEI, L. ZU-KANG, Z.; TING-SONG, W.; CRAIG, S. A. S. Studies on the effect of polydextrose intake on physiologic functions in Chinese people. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 72, n. 2, p. 1503-1509, 2000.

KARIMI, M.; FATHI, M.; SHEYKHOLESLAM, Z.; SAHRAYAN, B. NAGHIPOOR, F. Effect of different processing parameters on quality factors and image texture features of bread. **Biprocessing and biotechniques,** v. 2, n. 5, p. 2-7, 2012.

KECHINSKI, C. P.; CASTRO, M. G.; FLECK, R. J.; NOREÑA, C. Z. Viabilidade de células de levedura em massas congeladas de pão francês**. Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1193-1198, 2010.

KEETELS, C. J. A. M.; VLIET, T. V.; WALSTRA, J. **Journal of Cereal Science**, v. 24, n. 1, p. 27-32, 1996.

KEUM, Y. S.; JEONG, W. S.; KONG, A. N. T. Chemprevention by isothiocyanates and their underlying molecular signaling mechanisms. **Mutatition-Research-Fundamental and Molecular Mechamisms of Mutagenesis**, v. 555, n. 1-2, p. 191-202, 2004.

KISKINI, A.; KAPSOKEFALOU, M.; YANNIOTIS, S.; MANDALA, I. Effect of iron fortification on physical and sensory quality of gluten-free bread. **Food Bioprocess Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 385-390, 2012.

KISSEN, R.; ROSSITER, J.; BONES, A. The ‘mustard oil bomb’: not so easy to assemble?! Localization, expression and distribuition of the components of the myrosinase enzyme system. **Phytochemistry Reviews**, v. 8, n. 1, p. 69-86, 2009.

KOBORI, C. N., HUBER, L. S., KIMURA, M., RODRIGUEZ-AMAYA, D. B., Teores de carotenoides em produtos de tomate. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 69, n. 1, p. 384-392, 2010.

KOWALSKI, M. B.;. CARR, L. G.; TADINI, C. C. **Parâmetros físicos e de textura de pão francês produzido na cidade de São Paulo**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre: SBCTA. p. 3133-3136, 2002.

KRUPA-KOZAK, U.; BACZEK, N.; ROSELL, C. M. Apllication of dairy products as technological and nutritional improvers of calcium-supllemented gluten-free bread. **Nutrients**, v. 5, n. 1, p. 4503-4520, 2013.

KUSKOSKI, E. M.; FETT, P.; ASUERO, A. G. Antocianos: un grupos de pigmentos naturales. Aislameiento, identificación y propriedades. ***Alimentaria***, v. 61, v. 2, p. 61-74, 2002. 61-74.

LAAKSONEN, T. J.; ROSS, Y. H. **Effect of ingredients on phase and state transitions of frozen wheat doughs**. Academic Dissertation. Helsink, 2001.

LAI, H. M.; LIN, T. C. Bakery products: Science and Technology. In: HUI, Y. H. **Bakery Products: Science and Technology**, Oxford: Blackwell Publishing, 2006, p. 3-68.

LAGRAIN, B.; WILDERJANS, E.; GLORIEUX, C.; DELCOUR, J. A. Importance of gluten and starch for structural and textural properties of crumb from fresh and stored bread. **Food Biophysics**, v. 7, n. 1, p. 173-181, 2012.

LAMACCHIA, C.; BAIANO, A.; LAMPARELLI, S.; PALADINO, L.; LA NOTTE, E.; LUCCIA, A. D. Study on the interactions between soy and semolina proteins during pasta making. **Food Research International**, v. 43, n. 4, p. 1049,1056, 2010.

LEE, J.; CHO, H.; JEONG, J.; LEE, M.; JEONG, Y.; SHIM, K; SEO, K. New vinegar produced by tomato suppresses adipocyte differentiation and fat accumulation in 3T3-L1 cells and obese rat model. **Food Chemistry**, v. 141, n. 3, p. 3241-3249, 2013.

LE BAIL, A.; CHERVALIER, D.; GHOUL, M. Freezing and ice crystals formed in a cylindrical food model: part I. Freezing at atmospheric pressure. **Journal of Food Engineering.** v. 16, n. 3, p. 277-285, 2000.

LE BAIL, A.; NICOLITCH, C.; VUILLOD, C. Fermented frozen dough: impact of prefermentation time and of freezing rate for a pre-fermented frozen dough on final volume of the bread. **Food and Bioprocess Technology.** v. 3, n. 2, p. 197–203, 2010.

LERAY, G.; OLIETE, B.; MEZAIZE, S.; CHEVALLIER, S.; LAMBALLERIE, M. Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of differents formulations of non-yeasted wheat and gluten free bread dough. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 2, p. 70-76, 2010.

LIU, A. G.; VOLKER, S. E.; JEFFERY, E. H.; JÚNIOR, J. W. E. Feeding tomato and broccoli powders enriched with bioactive improves bioactivity markers in rats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 1, p. 7304-7310, 2009.

LIU, F.; CAO, X.; WANG, H.; LIAO, X. Changes of tomato powder qualities during storage. **Powder Technology**, v. 204, n. 3, p. 159-166, 2010.

LODI, A.; VODOVOTZ, Y. Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. **Food Chemistry**, v. 110, n. 3, p.554-561, 2008.

LORENZ, K.; KULP, K. Frozen and refrigerated doughs and batter. **American Association of Cereal Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 135-153, 1995.

MACHADO, A. V.; PEREIRA, J. Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas e reológicas da massa e do pão de queijo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 33-38, 2010.

MAJZOOBI, M.; FARAHNAKY, A.; AGAH, S. Properties and shelf-life of part-and full-baked flat bread (Barbari) at ambient and frozen storage. **Journal of Agricultural, Science and Technology**, v. 13, n. 2, p. 1077-1090, 2011.

MAJZOOBI, M.; OSTOVAN, R.; FARAHNKY, A. Effect of gluten powder on the quality of fresh spaghetti made with farina. International **Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2012.

MANDALA, I.; POLAKI, A.; YANNIOTIS, S. Influence of frozen storage on bread enriched with differents ingredients. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 137-145, 2009.

MARTIN, P. Controlling the breadmaking process: the role of bubbles in bread. **Cereal Foods World**, v.49, p. 72-75, 2004.

MARTINEZ, C. S.; RIBOTTA, P. D.; AÑON, M. C.; LÉON, A. E. Effect of amaranth flour (Amaranthus mantegazzianus) on the technological and sensory quality of bread wheat pasta**. Food Science and Technology Internationa**l, 2013. Disponível em: < http://fst.sagepub.com/content/early/2013/05/31/1082013213476072.full.pdf+html>. Acesso: 18 set. 2013.

MASSAGUER, P.R. **Microbiologia dos Processos Alimentares**. São Paulo: Varela, 2006, 258p.

MATOS, M. E.; ROSELL, C. M. Relationship between instrumental parameters and sensory characteristcs in gluten-free breads. **European Food Research Technology**, v. 235, n. 1, p. 107-117, 2012.

MATUDA, T. G. **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento: otimização do uso de aditivos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MELE, S.; BATISTA, M. GUINÉ, R. P. F.; CORREIA, P. R. **Desenvolvimento de um pão biológico**. In: VII Congreso Ibérico de Agroingenieria y Ciencias Hortículas. Disponível em: <http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/1781/1/2013_08_Madrid_Ata_P%C3%A3o%20biol%C3%B3gico%20C0049.pdf>. Acesso: 11 jul. 2013.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (Euterpe olerace Mart) liofilizada. **Acta amazonia**, v. 38, n. 2, p. 38-45, 2008.

MENEZES, E. M. S. **Efeito da alta pressão hidrostática em polpa de açaí pré-congelada (Euterpe oleracea, Mart.).** Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2005. 83p.

MENEZES, J. M. B. **Efeito da adição de colágeno hidrolisado na elaboração de pão tipo forma.** Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2006. 95p.

MERCADANTE, A. Z; NUNES, I. L. Obtenção de cristais de licopeno a partir de descartes de tomate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p.440-447, 2004.

MEZIANI, S.; JASNIEWSKI, J.; GAIANI, C.; IOANNOU, I.; GHOUL, J. M. M.; DESOBRY, S. Effects of freezing treatments on viscoelastic and structural behavior of frozen sweet dough. **Journal of Food Engineering**. n. 107, n. 2, p. 358–365, 2011.

MEZIANI, S.; JASNIEWSKI, J.; RIBOTTA, P. D.; ARAB-TEHRANY, E.; GHOUL, J. M. M.; DESOBRY, S. Influence of yeast and frozen storage on rheological, structural and microbial quality of frozen sweet dough. **Journal of Food Engineering.** n.109, p. 538–544, 2012a.

MEZIANI, S.; IOANNOU, I.; JASNIEWSKI, J.; BELHAJ, N.; MULLER, J.; GHOUL, J. M. M.; DESOBRY, S. Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten network intregrity of sweet dough. **Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 118-126, 2012b.

MIRMIRAN, P.; BAHADORAN, Z.; HOSSEINPANAH, F.; KEYZAD, A.; AZIZI, F. Effects of broccoli sprout with sulforaphane concentration on inflammatory makers in type 2 diabetic patients: A randomized double-blind placebo-controlled. **Journal of Functional Foods**, v. 4, n. 2, p. 837-841, 202.

MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. S.; HARACEMIV, S. M. C. Qualidade nutricional e antioxidante de tomate "tipo italiano". **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 25-31, 2008.

MORAGA, N. O.; JAURIAT, L. A.; LEMUS-MONDACA, R. A. Heat and mass transfer in conjugate food freezing/air natural convection. **International Journal of Refrigeration**, v. 35, n. 2, p. 880-889, 2012.

MORENO, D. A.; CARVAJAL, M.; LÓPEZ-BERENGUER, C.; GARCIA-VIGUERA, C. Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. J. **Pharm. Biomed**, v. 41, n. 5, p. 1508-1522, 2006.

MORETTO, E.; FETT. R. **Processamento e análise de biscoitos**. 1ª ed. São Paulo: Editora Varela, 1998.

MRKIRC, V.; COCCI, E.; DALLAROSA, M.; SACCHETTI, G. Effect of drying conditions on bioactive compunds and antioxidant activity of broccoli (Brassics olearacea L.). **Journal Science and Food Agricultural**, v. 86, n. 3, p. 1559-1566, 2006.

MUNHOZ, M. P. **Influência dos hidrocolóides na qualidade tecnológica de pães**. 116 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NIA, S. A.; GALE, S. M. A.; RANJI, A.; NEKAHI, A. Investigation of physical characteristcs of bread by processing digital images (machine vision). **Life Science Journal**, v. 9, n. 3, p. 1674-1678, 2013.

NICOLAS, Y.; SMIT, R. J. M.; VAN AALST, H.; ESSELINK, F. J.; WEEGELS, P. L.; AGTEROF, W. G. M. Effect of storage time and temperature on rheological and microstructural properties of gluten. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 1, p. 371-377, 2003.

NILÜFER, D.; BOYACIOGLU, D.; VODOVOTZ, Y. Functionality of soy milk powder and its components in soy bread. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 4, p. 348-351, 2008.

NORONHA, A. S. **Textura dos Alimentos**. Disponível em: < http://www.esac.pt/noronha/A.S/07_08/textura.pdf>. Acesso: 18 set. 2013.

NOORT, M. W. J.; HAASTER, D. V.; HEMERY, Y.; SCHOLS, H. A.; HAMER, R. J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre-proteins interactions. **Journal of Cereal Science**, v. 52, n. 1, p. 59-64, 2010.

NUNES, A. G. **Processos enzimáticos e biológicos na panificação**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2006. 18p.

O'BRIEN, C.M.; GALLAGHER, E.; SCANNELL, A.G.M.; ARENDT, E.K. Evaluation of sugar replacers in short dough biscuit production. **Journal of Food Engineering**, v.56, p.261- 263, 2003.

OELERMANS, K.; BARETT, D. M.; SUADES, C. B.; VERKERK, R.; DEKKER, M. Thermal degradation of glucosinolates in red cabbage. **Food Chemistry**, v. 95, n. 1, p. 19-29, 2006.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. **Alimentos e Nutrição**, v. 18, n. 2, p. 141-150, 2007.

OSTERLIE, M.; LERFALL, J. Lycopene from tomato products added minced meat: effect on storage quality and colour. **Food Research International**, v. 38, n. 2, p. 925-929, 2005.

PAJAK, P.; HABRYKA, C.; FORTUNA, T. Changes in the physical properties of bread during storage. **Potravinarstvo**, v. 6, n. 2, p. 42-45, 2012.

PANADERO, J.; RANDEZ-GIL, F.; PRIETO, J. A. Heterologus expression of type I antifreeze peptie GS-5 in baker's yeast increases freeze tolerance and provides enhanced gas production in frozen dough. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 26, p. 9966-9970, 2005.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia: Editora da UFG, 1995, v. 1.

PARSONS, J. K.; NEWMAN, V. A.; MOHLER, J. L.; PIERCE, J. P.; FLATT, S.; MARSHALL, J. Dietary modification in patients with prostate cancer on active surveillance. A randomized, multicentre feasibility study. **BJU International**, v. 101, n. 10, p. 1227-1231, 2008.

PENFIELD, M. P.; CAMPBELL, A. M. **Experimental Food Science**, San Diego: Academic Press, 1990. 541 p.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M. Q.; FIGUEIREDO, R. M. F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 26-34, 2006.

PERES, A. P. **Desenvolvimento de um biscoito tipo cookie enriquecido com cálcio e vitamina D.** 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PEYRON, M. A.; MISHELLANY, A.; WODA, A. Particle size distribution of food boluses after mastication of six natural foods. **Journal of Dental Research**. v. 83, n. 7, p. 578–582, 2004.

PHIMOLSIRIPOL, Y.; SIRIPATRAWAM, U.; CLEAND, D. J. Weight loss of frozen Bread dough under isothermal and fluctuating temperature storage conditions. **Journal of Food Engineering**. n.106, p. 134–143, 2011.

PIEKARSKI, F. V. B. W. **Folha de abóbora: caracterização físico-química, mineral e efeito da adição na reologia da massa e na qualidade sensorial de pães contendo fibra alimentar**. 165 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

PINHEIRO, M. V. S.; PENNA, A. L. B. Substitutos de gordura: tipos e aplicações em produtos lácteos. **Alimentos e Nutrição**, v. 15, n. 2, p. 175-186, 2004.

PORTINHO, J. A.; ZIMMMERMAN, L. M.; BRUCK, M. R. Efeitos benéficos do açaí. **Internacional Journal of Nutrology**, v. 5, n. 1, p. 15-20, 2012.

PUNTURUG, A.; NETIWARANON, S. Effects of dough improvers on micro-structural, textural, rheological and baking properties of frozen dough with virgin coconuts oil. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 2, p. 593-599, 2013.

PURLIS, E. Bread baking: technological considerations based on process modeling and simulation. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 1, p. 92-102, 2011.

QAZI, A.; PAL, M.; MAITAH, M.; FULCINTI, M.; PELLERU, D.; NAJAPPA, P. Anticancer activiy of a broccoli derivated, sulforaphane, in barrett adenocarcinoma: Potential use in chemoprevention and as adjuvant in chemotherapy. **Translational Oncology**, v. 3, n. 6, p. 389-399, 2010.

RANAWANA, V.; MULLER, A.; HENRY, C. J. K. Polydextrose: its impact on short-term food intake and subjective feelings of satiety in males – a randomized controlled cross-over study. **Europan Journal of Nutrition**, v. 52, n. 1, p. 885-893, 2013.

RANINEN, K.; LAPPI, J.; MYKKANEN, H.; POUTAMEN, K. Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin and polydextrose. **Nutrition Review**, v. 69, n. 2, p. 9-21, 2011.

RASANEN, J.; HARKONEN, H.; AUTIO, K. Freeze-thaw stiability of prefermented frozen lean wheat doughs: effect of flour quality and fermentation time. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 2, p. 637-642, 1995.

REID, D. S. Water activity: Fundamental and Relationships. In: BARBOSA-CANOVAS, G. V.; FONTANA, A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water activity in foods: Fundamental and Relationships**, Oxford: Blackwell Publishing, p. 15-28, 2008.

RESENDE, A. L. S.., MATTOS, I. E., KOIFMAN, S., Dieta e câncer gástrico: aspectos históricos associados ao padrão de consumo alimentar do Estado do Pará. **Rev. Nutr.** vol.19 no.4 Campinas July/Aug, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-52732006000400010&script=sci_arttext> Acesso: 28 Mar. de 2012.

RESENDE, F. S. **Efeito do congelamento na microestrutura do pão**. 109 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑON, M. C. Effect of yeast freezing in frozen dough. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 4, p. 454-458, 2003.

RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑON, M. C.; Effect of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter. **Food Research International**, v. 36, n. 2, p. 357–363, 2003.

RIBOTTA, P. D.; PÉREZ, G. T.; LEÓN, A. E.; AÑON, M. C. Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough. **Food Hydrocolloids**, v. 18, n. 2, p. 305-313, 2004.

RIBOTTA, P. D.; ARNULPHI, S. A.; LEÓN, A. E.; ANÓN, M. C. Effect of soybean addition on the rheological properties and breadmaking quality of wheat flour. J**ournal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 11, p. 1889-1896, 2005.

RIBOTTA, P. D.; LE BAIL, A. Effect of additives on the thermo-mechanical behavior of dough systems at sub-freezing temperatures. **European Food Research and Technology**, v. 224, n. 1, p. 519-524, 2007.

RIBOTTA, P. D.; PÉREZ, G. T.; AÑÓN, M. C.; LEÓN, A. E. Optimization of additive combination for improved soy-wheat bread quality. **Food Bioprocess Technology**. v. 3, n. 2, p. 395-405, 2008.

RITTHIRUANGDEJ, P.; PARNBANKLED, S.; DONCHEDEE, S.; WONGSAGONSUP, R. Physical, chemical, textural and sensory properties of dried wheat noodles supplemented with unripe banana flour. **Kasetsart Journal – Natural Science**, v. 45, n. 3, p. 500-509, 2011.

RITZ, S. A.; WAN, J.; DIAZ-SANCHEZ, D. Sulforaphane-stimulated phase II enzyme induction inhibits cytokine production by airway ephitelial cells stimulated with diesel extract. **American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology**, v. 292, n. 1, p. 33-39, 2007.

ROCHA, A. P. M.; CARVALHO, L. C. R. M.; SOUSA, M. A. V.; MADEIRA, S. V. F.; SOUSA, P. J. C.; TANO, T.; SCHINI-KERTH, V. B.; RESENDE, A. C.; MOURA, R. S. Endothelium-dependent vasodilator effect of Euterpe oleracea Mart. (Açaí) extracts in mesentric vascular bet bed of the rat. **Vascular Pharmacology**, v. 46, n. 2, p. 97-104, 2007.

RODRIGUES-AMAYA, D. B., **Fontes brasileiras de carotenoides: tabela brasileira de composicao de carotenoides em alimentos**. Brasilia: MMA/SBF, 2008. 100 p.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. 1ª ed. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005. 358 p.

ROSALES-JUÁREZ, M.; GONZÁLEZ-MENDONZA, B.; LÓPEZ-GUEL, E.; LOZANO-BAUTISTA, F.; CHANONA-PÉREZ, J.; GUTIÉRREZ-LOPES, G.; FARRERA-REBOLLO, R.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G. Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 2, p. 2008.

ROSELL, C. M.; GÓMEZ, M. Freezing in breadmaking performance: frozen dough and part-baked bread. **Food Rev. Int.** v. 23, n. 2, p. 303-139, 2007.

ROUILLÉ, J.; LE BAIL, A.; COURCOUX, P. Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of french frozen dough. **Journal of Food Engineering**, v.43, p. 197-203, 2000.

RUNGAPAMESTRY, V.; DUNCAN, A. J.; FULLER, Z.; RATCLIFFE, B. Influence of blanching and freezing broccoli (*Brassica olearacea var. Italica*) prior to storage and cooking on glucosinolate concentrations and myrosinase activity. **Europan Food Research and Technology**, v. 227, v. 1, p. 37-44, 2008.

SANTOS, G. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; PRADO, G. M. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais

de açaí (Euterpe oleracea Mart). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 58, n. 2, p. 187-192, 2008.

SALLAS-MELADO, M. M., **Estudo da influência da formulação e das condições operacionais dos tipos de congelamento na qualidade da massa e do pão**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, 2003.

SANKHON, A.; AMADOU, I.; YAO, W. Application of resistant starch in bread: processing, proximate composition and sensory quality of functional bread products from wheat flour and African locust bean (*Parkia biglobosa*) flour. **Agricultura Sciences**, v. 4, n. 5, p. 122-129, 2013.

SASANO, Y.; HAITANI, Y.; OHTSU, I.; SHIMA, J.; TAKAGI, H. Simultaneous accumulation of proline and trehalose in industrial baker's yeast enhances fermentation fermentation ability in frozen dough. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 133, n. 5, p. 592-595, 2012.

SCHAUSS, A. G.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; HUANG, D.; OWENS, J. et al. Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried Amazonian palm berry, Euterpe oleraceae mart. (açai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 22, p. 8604-8610, 2006.

SCHLEIBINGER, M.; MEYER, A. L.; AFSAR, N.; NAGY, A. G.; DIECKER, V.; SCHIMITT, J. J. Impact of dietary fibers on moisture and crumb firmness of brown bread. **Advanced Journal of Food Science and Technology**, v. 5, n. 10, p. 1281-1284, 2013.

SCHERICKINGER, M. E.; LOTTON, J.; LILA, M. A.; MEJIA, E. G. Berries from South America: a comprehensive review on chemistry, health potential and commercialization. **J. Med. Food**, v. 13, n. 1, p. 233-246, 2010.

SCOTTER, M. J.; THORPE, S. A.; REYNOLDS, S. L.; WILSON, L. A.; STRUTT, P. R. Characterization of the principal colouring components of annatto using high performance liquid chromatography with photodiode-array dectio. **Food Additives and Contaminants**, v. 11, n. 3, p. 301-315, 1994.

SELOMULYO, V. O.; ZHOU, W. Frozen bread dough: effects of freezing storage and dough improvers. **Journal of Cereal Science**, v. 45, n. 1, p. 1-17, 2007.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 2, 2004.

SHARADANANT, R.; KHAN, K. Effect of hydrophilic gums on frozen dough.: I. Dough quality. **Cereal Chemistry**. v.80, n.6, p. 764-772, 2003.

SHARMA, K. D.; STÄHLER, K.; SMITH, B.; MELTON, L. Antioxidant capacity, polyphenolics and pigments of broccoli-cheese powder blends. **Journal of Food Science and Agricultural**, v. 48, n. 4, p. 510-514, 2011.

SHI, K.; YU, H.; JIN, J.; LEE, T. Improvement to baking quality of frozen bread dough by novel zein-based ice nucleations film. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 430-436, 2013.

SHIMOMURA, Y.; MAEDA, K.; NAGASAKI, M. MATSUO, Y.; MURAKAMI, T.; BAJOTTO, G.; SATO, J.; SEINO, T.; KAMIWAKI, T.; SUZUKI, M. Attenuated response of serum triglyceride concentration to ingestion of a chocolate containing polydextrose and lactitol in place of sugar. **Bioscience, Biotechnology and Biochemical**, v. 69, n. 10, p. 1819-1823, 2005.

SHON, J.; YUN, Y.; SHIN, M.; CHIN, K. B.; EUN, J. Effects of milk proteins and gums on quality of bread made from frozen dough. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 8, p. 2009.

SHUDA, M. L.; BASKARAN, V.; LEELAVATHI, K. Apple pomace as a source of dietary fibers and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. **Food Chemistry**, v. 104, n. 1, p. 686-692, 2007.

SILVA, M. R.; GARCIA, G. K. S.; FERREIRA, H. F. Caracterização química, física e avaliação da aceitação de pão de queijo com baixo teor energético. **Alimentos e Nutrição**, v. 14, n. 1, p. 69-75, 2003.

SILVA, M. T. P.; SILVA, C. B.; CHANG, Y. K. Utilização de frutooligossacarídeos na elaboração de pão de forma sem açúcar. **Temas Agrários**, v. 15, n. 1, p. 44-57, 2010.

SILVA, L. 240 f. **Efeito da fermentação utilizando Aspergillus oryzae sobre as características funcionais, tecnológicas e físico-químicas da farinha de soja integral e aplicação em pão de forma funcional**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009a.

SILVA, L. H.; PAUCAR-MENACHO, L. M.; VICENTE, C. A.; SALLES, A. S.; STEEL, C. J. Desenvolvimento de pão de fôrma com a adição de farinha de okara. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 315-322, 2009b.

SILVA, V. K. L.; PINHEIRO, E. S.; DOMINGUES, M. A. F.; AQUINO, A. C.; FIGUEIREDO, E. A.; COSTA, J. M. C.; CONSTANT, P. B. L. Efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 55-66, 2010.

SILVA, E.; BIRKENHAKE, M.; SCHOLTEN, E.; SAGIS, L. M. C.; LINDEN, V. D. E. Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with high broccoli powder content by hudrocolloids. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 42-52, 2013a.

SILVA, A. C.; PIRES, A. C. S.; MARCONDES, M. I.; SILVA, M. F. Influência do tipo de leite nos parâmetros de textura e estabilidade de sorvete. **Revista do Instituo de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 393, p. 56-65, 2013b.

SILVA, E.; SAGIS, E. M. S.; LINDEN, E. V. D.; SCHOLTEN, E. Effect of matrix and particle type on rheological, textural and structural properties of broccoli pasta and noodles. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 94-103, 2013c.

SIMMONS, A. L.; SERVENTI, L.; VODOVOTZ, Y. Water dynamics in microwavable par-baked soy dough evaluated during frozen storage. **Food Research International**, v. 47, n. 1, p. 58-63, 2012a.

SIMMONS, A. L.; SMITH, K. B.; VODOVOTZ, Y. Soy ingredients stabilize bread dough during storage. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 232-238, 2012b.

SOUSA, L. M. C. **Incorporação e optimização de aditivos alimentares e auxiliares tecnológicos em produtos de panificação**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar), Universidade Católica Portuguesa, Porto, 2012.

SOUTO, R.N.M. **Uso da radiação g, combinada à refrigeração, na conservação de polpa de açaí (Euterpe oleracea, Mart.).** Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2001. 95p.

SOUZA, M. O.; SILVA, L. S.; MAGALHÃES, C. L. B.; FIGUEIREDO, B. B.; COSTA, D. C.; SILVA, M. E.; PEDROSA, M. L. The hypocholesterolemic activity of açaí (Euterpeoleracea Mart.) is mediated by the enhanced expression of the ATP-binding cassette, subfamily G transporters 5 and 8 and low-density lipoprotein receptor genes in the rat. **Nutrition Research**, v. 32, n. 1, p. 976-984, 2012.

SPADA, P. D. S.; SOUZA, G. G. N.; BORTOLINI, G. V.; HENRIQUES, J. A. P.; SALVADOR, M. Antioxidant, mutagenic and antimutagenic activity of frozen fruits. **Journal of Medicine and Food**, v. 30, n. 1, p. 144-151, 2008.

STAUFFER, C. E. Principles of dough formation In CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnhology of breadmaking**, London. Blackie Academic & Professional, 1998. 295 p.

STEFFOLANI, M. E.; RIBOTTA, P. D.; PEREZ, G. T.; PUPPO, M. C.; LEÓN, A. E. Use of enzymes to minimize dough freezing damage. **Food bioprocess technology**, v. 5, n. 1, p. 2242-2255, 2012.

STOLL, L. **Utilização de fibra de laranja como substituto de gordura em pão de forma**. 64 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, n. 4, p. 215-225, 2002.

TAKANO, H.; ISHIDA, N.; KOIZUMI, M.; KANO H. Imaging of the fermentation process of bread dough and the grain structure of baked breads by magnetic resonance imaging. **Journal of Food Science**, v.67, p.244-250, 2002.

TARREGA, A.; YVEN, C.; SÉMON, E.; SALLES, C. In-mouth aroma compound release during cheese consumption: relationship with food bolus formation. **International Dairy Journal,** v. 21, n. 5, p. 358–364, 2011.

TEDRUS, G.A.S. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. v. 21. n. 1, p. 20-25, 2001.

THOMASLOW, M. F. So what's new in the field of plant cold acclimation? Lots! **Plant Physiology**, v. 125, n. 1, p. 89-93, 2001.

TONON, R. V.; BRABET, C.; PALLET, D.; BRAT, P.; HUBINGER, M. Physicochemical and morphological characterization of acai (*Euterpe olearacea Mart*.) powder with different carrier agents. International **Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 1950-1958, 2009.

TOURNIER, C.; GRASS, M.; ZOPE, D.; SALLES, C.; BERTRAND, D. Characterization of bread breakdown during mastication by image textura analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 2, p. 615-622, 2012.

TSAI, C.; SUGIYAMA, J.; SHIBATA, M.; KOKAWA, M.; FUJITA, K.; TSUTA, M. NABETANI, H.; AKARI, T. Changes in texture and viscoelastic properties of bread containing rice porridge during storage. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v. 76, n. 2, p. 331-335, 2012.

TSATSARAGOKU, K.; YIANNOPOULOS, S.; KONTOGIORGI, A.; POULLI, E.; KROKIDA, M.; MANDALA, I. Mathematical approach of structural and textural properties of gluten free bread enriched with carob flour. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 603-609, 2012.

TUZCU, M.; ASLAN, A.; TUZCU, Z.; YABAS, M.; BAHCECIOGLU, I. H.; OZERCAN, I. H.; KUCUK, O.; SAHIN, K. Tomato powder impedes the development of azoxymethane-induce colorectal cancer in rats through suppression of COX-2 expression via NF-kB and regulating Nrf2/HO-1 pathway. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 56, n. 1, p. 1477-1481, 2012.

ULZIIJARGAL, E.; YANG, J. H.; LIN, L. Y.; CHEN, C. P.; MAU, J. L. Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. **Food Chemistry**, v. 138, n. 1, p. 70-76, 2013.

UPAGANLAWAR, A.; BALARAMAN, V. P. Tomato lycopene attenuates myocardial infarction induced by isoproterenol: Electrocardiographic, biochemical and anti–apoptotic study. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 2, n. 5, p. 345-351, 2012.

VALENCA, S. S.; PIRES, K. P.; FERREIRA, T. S.; LOPES, A. A.; NESI, R. T.; RESENDE, A. C.; SOUSA, P. G.; PORTO, L. C.; MOURA, R. S. Addition of Açai (Euterpe oleracea) to Cigarettes has a Protective Effect against Emphysema in Mice. Free Radical Biology and Medicine, v. 49, n. 2, p. 51-58, 2010.

VASANKARI, T. J.; AHOTUPA, M. Supllementation of polydextrose reduced a hamburguer meal induced postprandial hypertriglyceridemia. **AHA Congress Proceedings**, v. 112, n. 1, p. 833-842, 2005.

VIANA, J. D. R.; PONTES, E. R.; PINHEIRO, G. K.; SILVA, N. N. S.; ZAMBELLI, R. A.; PONTES, D. F. O efeito da adição de polidextrose nas características físicas de pães tipo forma. **Higiene Alimentar**, v. 25, n. 1, p. 3496-3500, 2013.

VULICEVIC, I. R.; ABDEL-AAL, E. S. M.; MITTAL, G. S.; LU, X. Quality and storage life or par-baked frozen breads. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 205-213, 2006.

WATERS, D. M.; JACOB, F.; TITZE, J.; ARENDT, E. K.; ZANINI, E. Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. **European Food Research Technology**, v. 235, p. 767-778, 2012.

WANG, X.; GIBSON, G. R.; Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. **Journal Applied Bacteriology**, v. 75, n. 3, p. 373-380, 1993.

WANG, L. J.; YIN, L.J.; LI, D.; ZOU, L.; SAITO, M.; TATSUMI, E.; LI, L.T. Influences of processing and NaCl supplementation on isoflavone contents and composition during douchi manufacturing. **Food Chemistry**, v. 101, n. 3, p. 1247–1253, 2007.

WANG, D. Y. S.; MUSGRAVE, I. F.; HARVEY, B. S.; SMID, S. D. Açaí (Euterpe oleraceae Mart.) berry extract exerts neuroprotective effects against β-amyloid exposure in vitro. **Neuroscience Letters**, v. 556, n. 3, p. 221-226, 2013.

WILLCOX, J.K.; CATIGNANI, G.L.; LAZARUS, S. Tomatoes and cardiovascular health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**.v.43, n.1, p. 1-18, 2003.

YI, J.; KEER, W. L.; JOHNSON, J. W. Effects of maxy wheat flour and water on frozen dough and bread properties. **Journal Food Science**, v. 74, n. 5, p. 278-284, 2009.

XIE, C.; KANG, J.; BURRIS, R.; FERGUSON, M. E.; SCHAUSS, A. G.; NAGARAJAN, S.; WU, X. Açaí juice attenuates atherosclerosis in ApoE deficient mice through antioxidant and anti-inflammatory activities. **Athelosclerosis**, v. 216, n. 2, p. 327-333, 2011.

ZAMBELLI, R. A.; MOREIRA, M. A. C.; MELO, P. E. F.; PONTES, E. R.; PONTES, D. F. Análise do teor de umidade de pães tipo francês produzidos por diferentes estabelecimentos comerciais de Fortaleza-CE. **Magistra**, v. 25, n. 2, p. 394-399, 2013.

ZAVAREZE, E. R.; MORAES, K. S.; SALLAS-MELADO, M. M. Qualidade tecnológica e sensorial de bolos elaborados com soro de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 100-105, 2010.

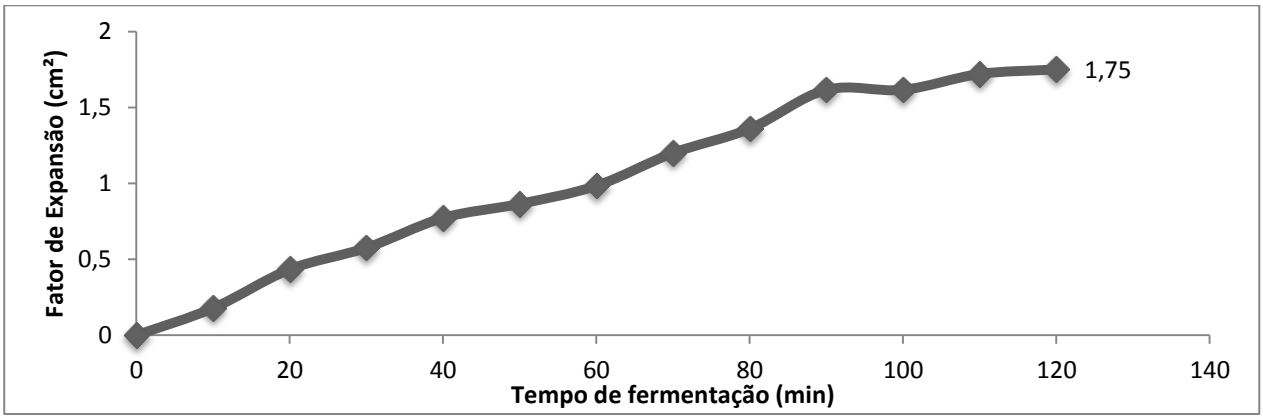
ZIGLIO, B. R.; BEZERRA, J. R. M. V.; BRANCO, I. G.; BASTOS, R.; RIGO, M. Elaboração de pães com adição de farinha de sabugo de milho. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 9, n. 1, p. 5-19, 2007.

ZHANG, Y.; CALLAWAY, E. C. High cellular accumulation of sulphoraphane, a dietary anticarcinogen, is followed by rapid transporter-mediated export as a glutathione conjugate. **Biochemichal Journal,** v. 364, n. 2, p. 301-307, 2002.

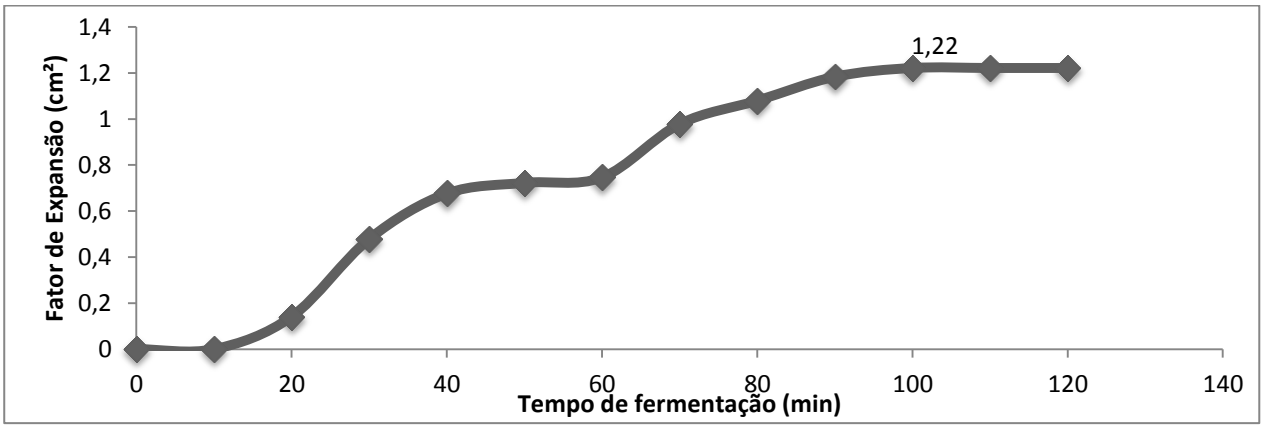
ZHANG, C.; ZHANG, H.; WANG, L. Effect of carrot (Daucus carota) antifreeze proteins on the fermentation capacity of frozen dough. **Food Research International**, v. 40, n. 6, p. 763-769, 2007.

ANEXO A: Fator de expansão das massas para a produção de pães tipo forma processados com ingredientes funcionais (polidextrose e tomate em pó).

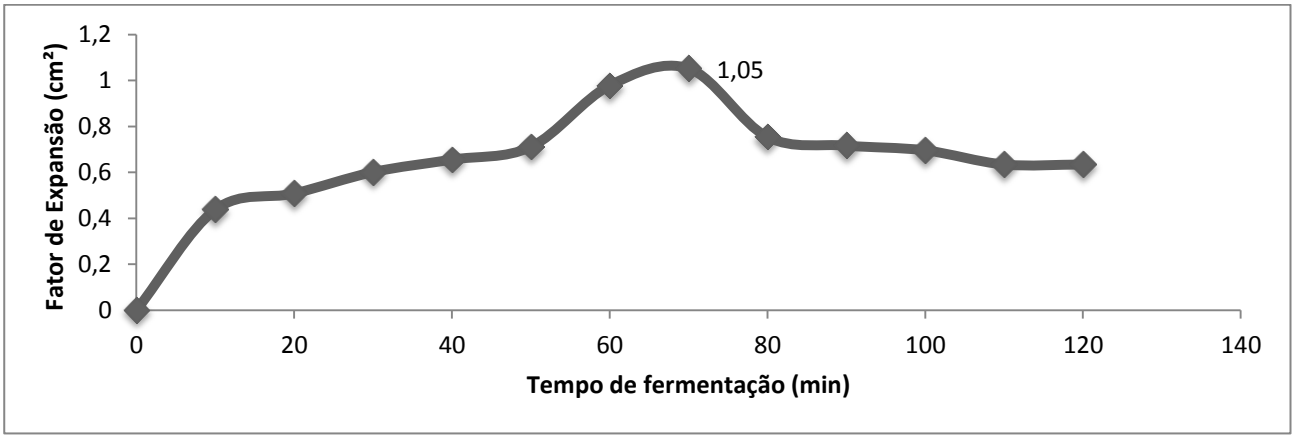
ANEXO A1 – Fator de expansão das massas do ensaio 1, adicionado de 5% de polidextrose e 5% de tomate em pó.



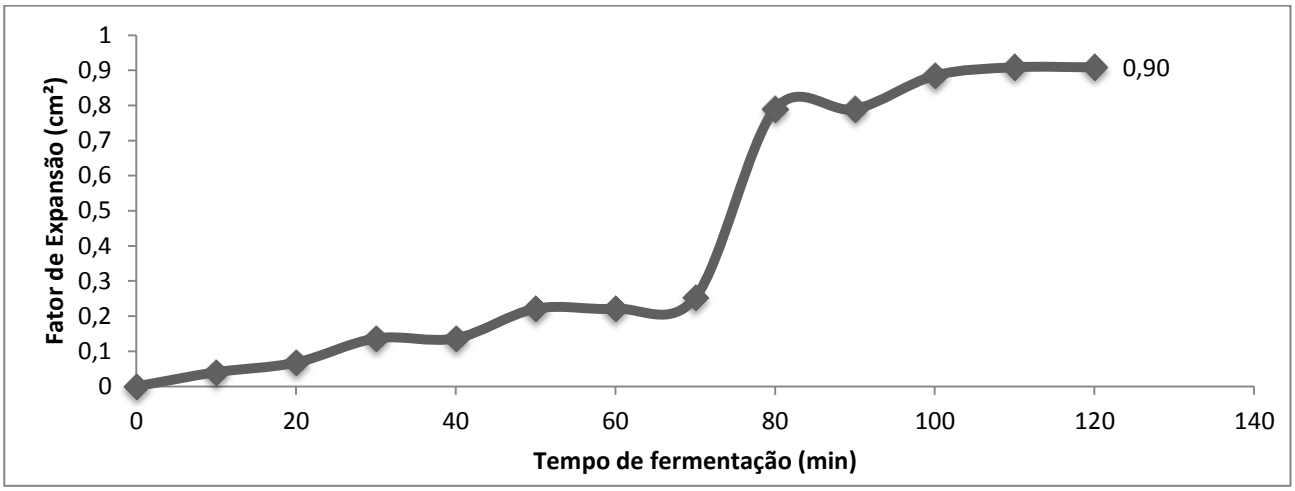
ANEXO A2 – Fator de expansão das massas do ensaio 2, adicionado de 15% de polidextrose e 5% de tomate em pó.



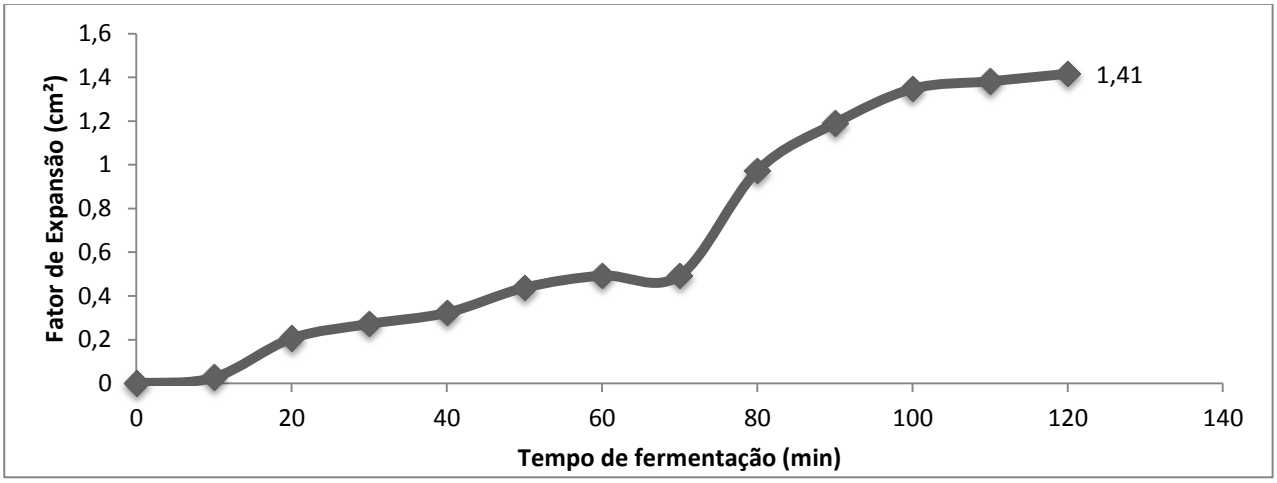
ANEXO A3 – Fator de expansão das massas do ensaio 3, adicionado de 5% de polidextrose e 15% de tomate em pó.



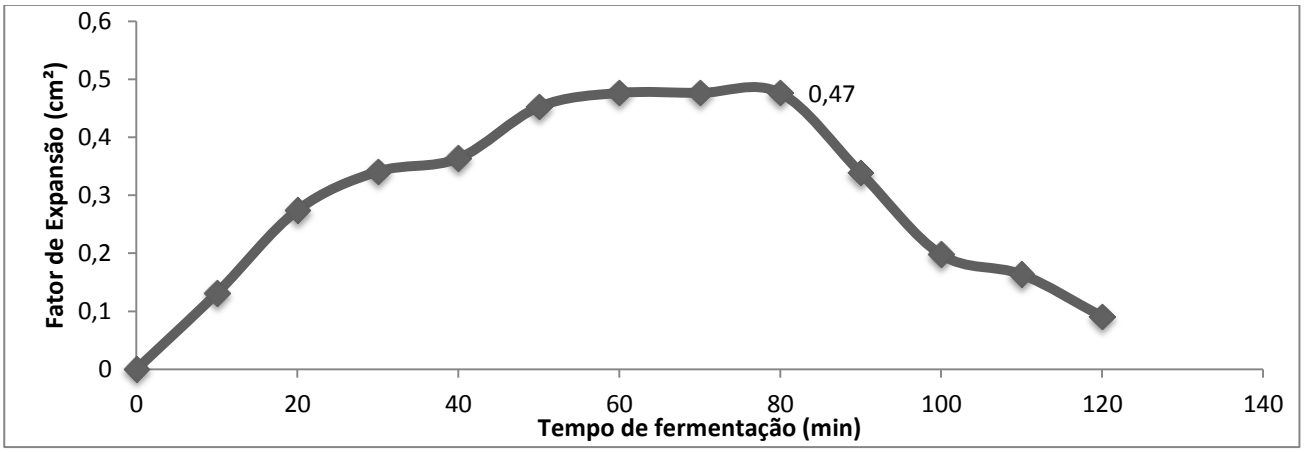
ANEXO A4 – Fator de expansão das massas do ensaio 4, adicionado de 15% de polidextrose e 15% de tomate em pó.



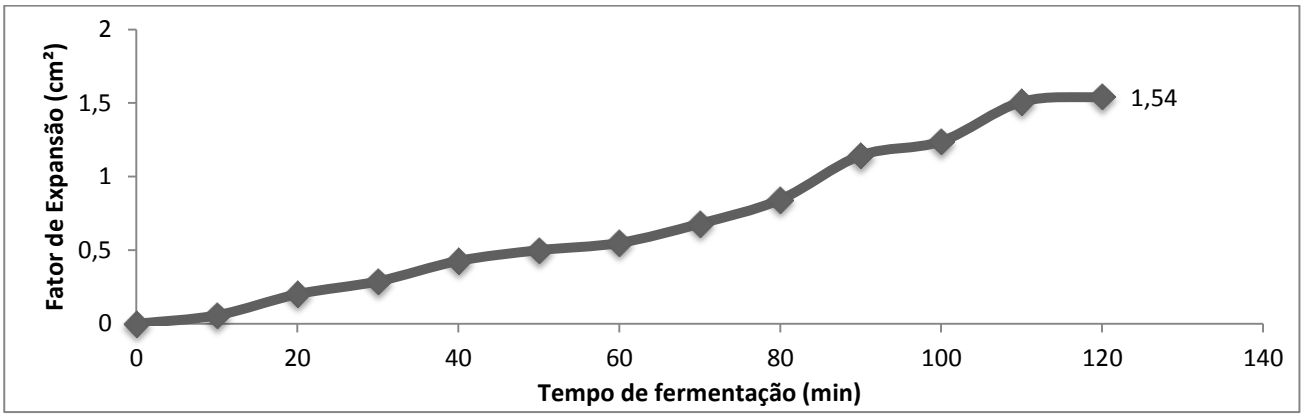
ANEXO A5 – Fator de expansão das massas do ensaio 5, adicionado de 0% de polidextrose e 10% de tomate em pó.



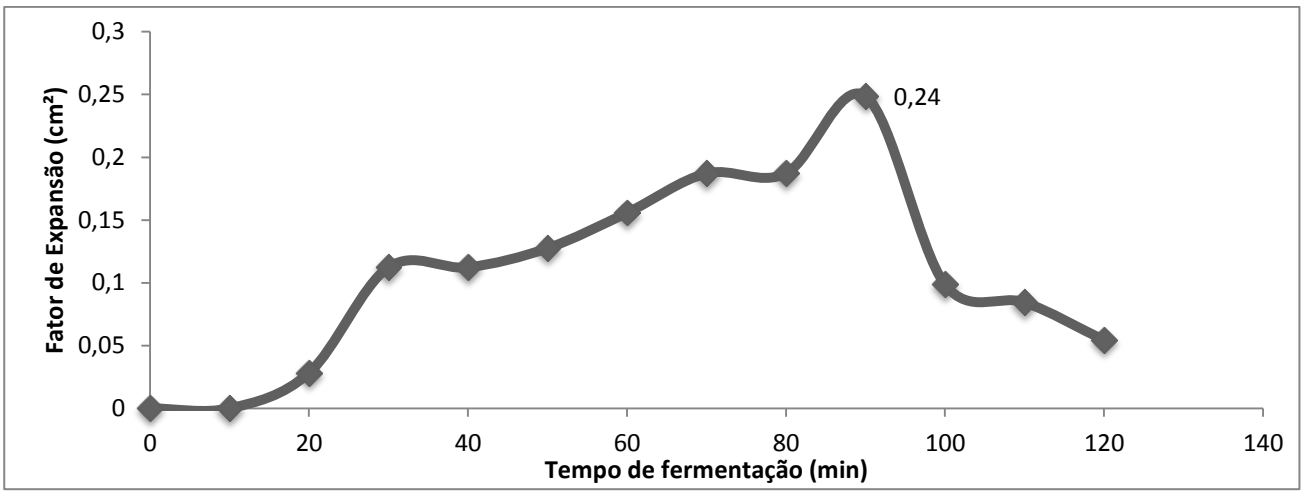
ANEXO A6 – Fator de expansão das massas do ensaio 6, adicionado de 20% de polidextrose e 10% de tomate em pó.



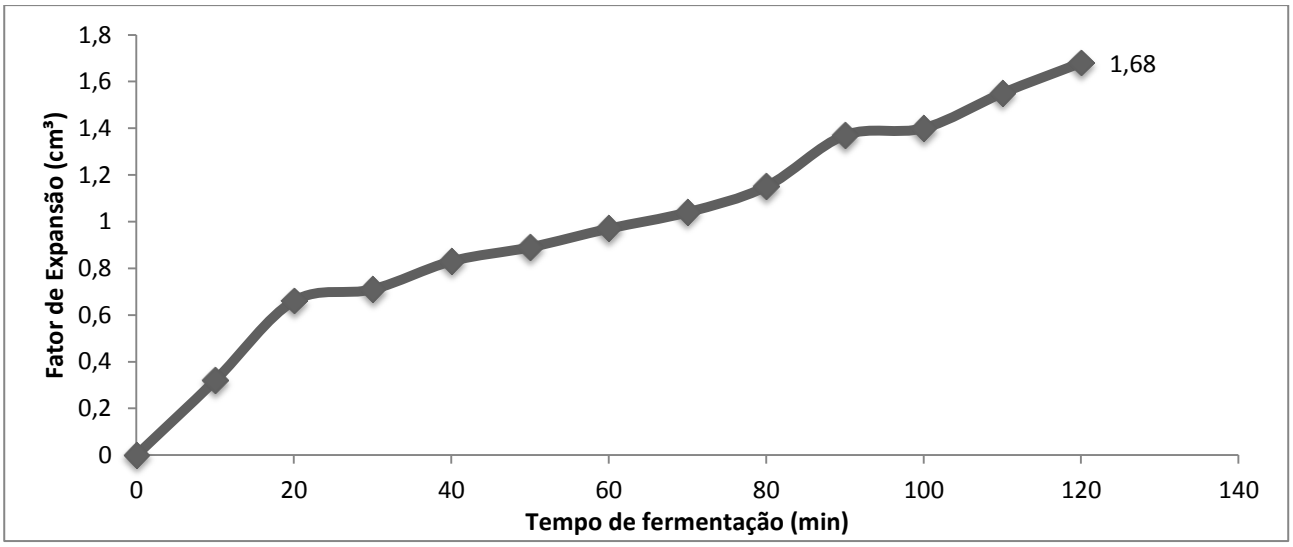
ANEXO A7 – Fator de expansão das massas do ensaio 7, adicionado de 10% de polidextrose e 0% de tomate em pó.



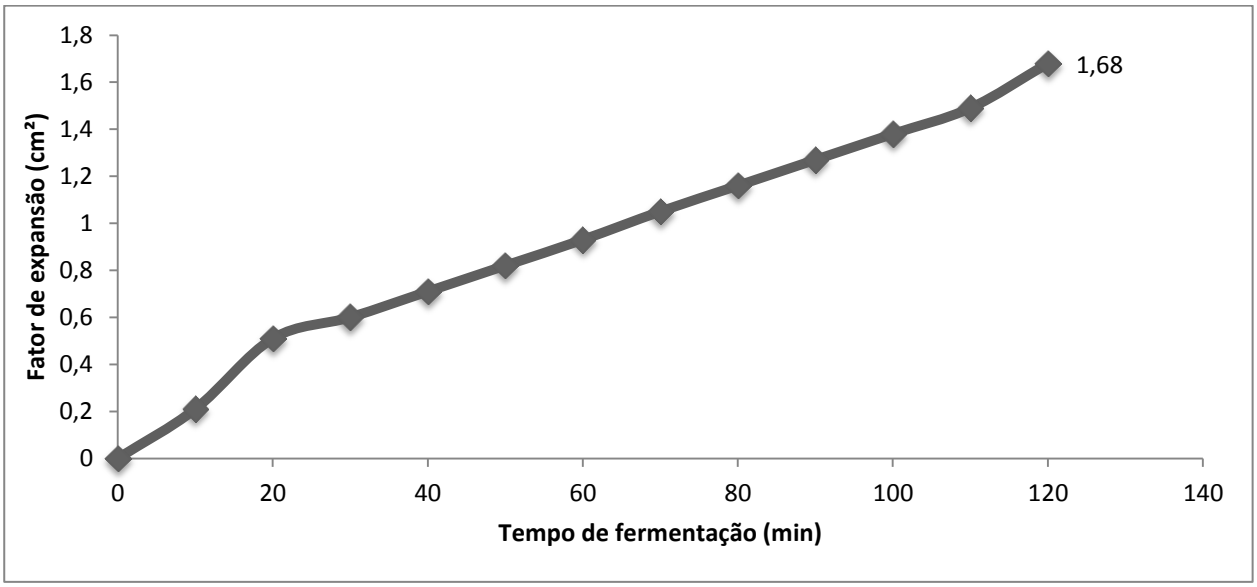
ANEXO A8 – Fator de expansão das massas do ensaio 8, adicionado de 10% de polidextrose e 20% de tomate em pó.



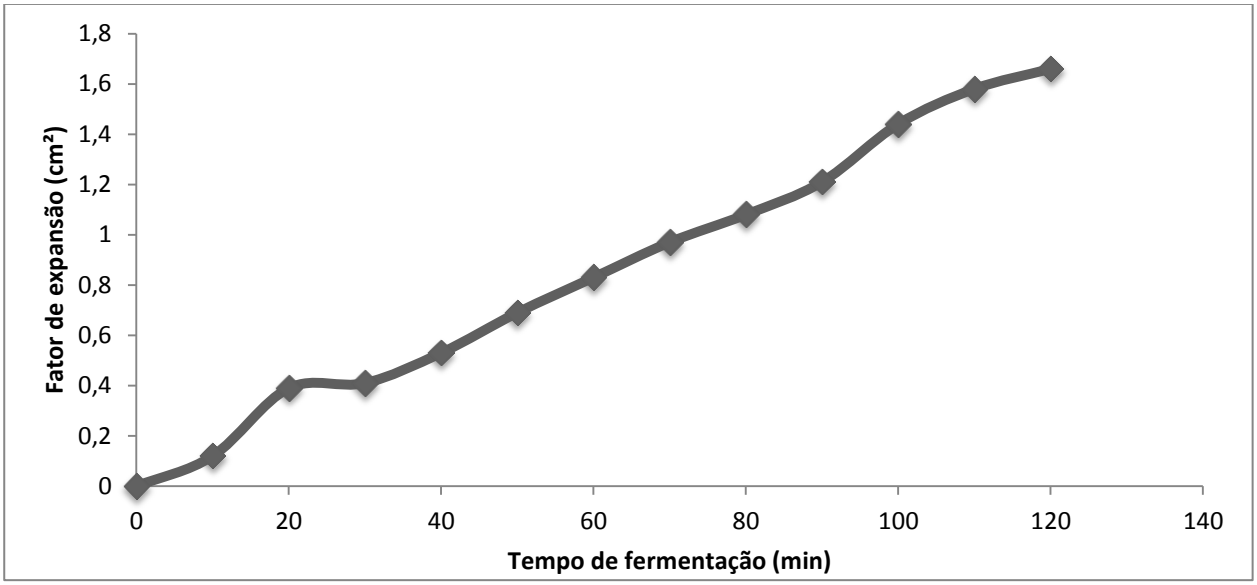
ANEXO A9 – Fator de expansão das massas do ensaio 9, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de tomate em pó.



ANEXO A10 – Fator de expansão das massas do ensaio 9, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de tomate em pó.

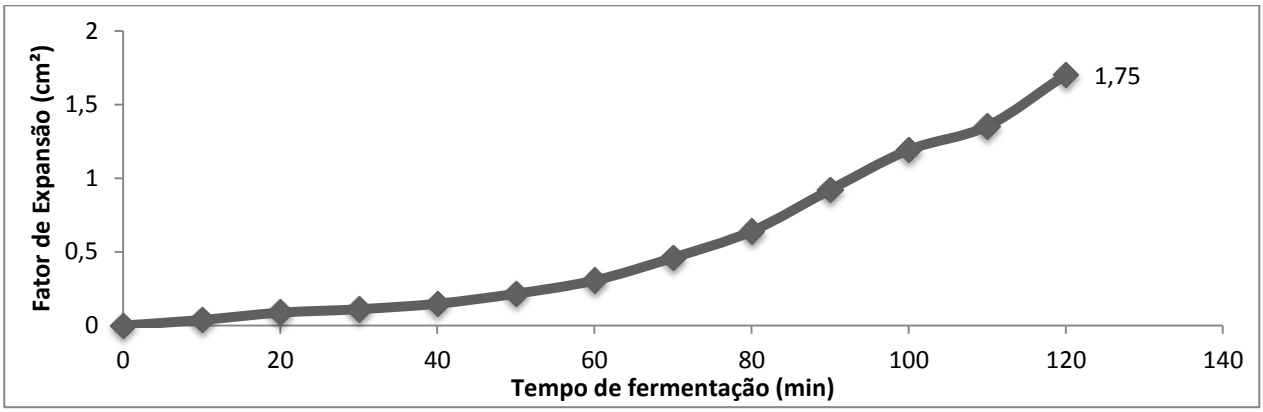


ANEXO A11 – Fator de expansão das massas do ensaio 11, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de tomate em pó.

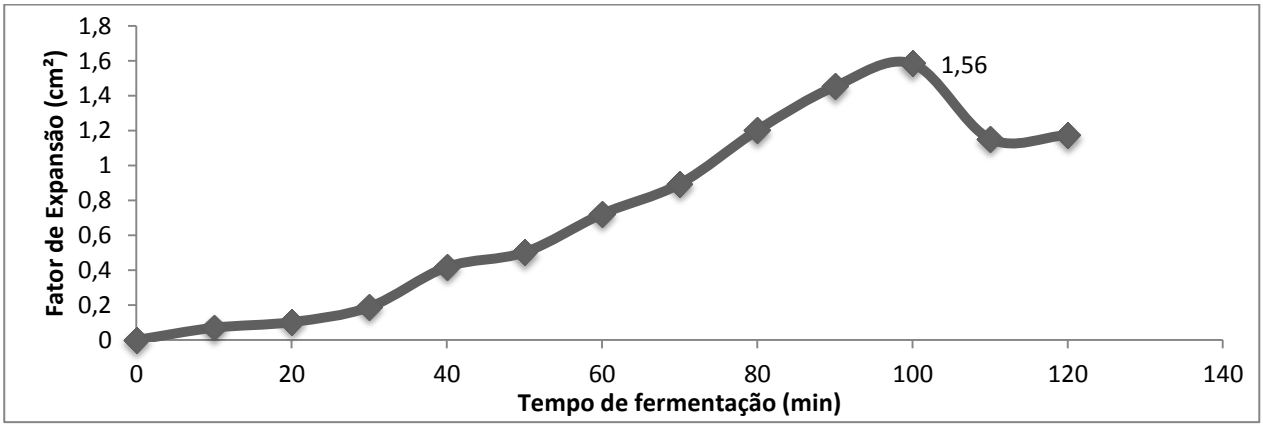


ANEXO B: Fator de expansão das massas para a produção de pães tipo forma processados com ingredientes funcionais (polidextrose e tomate em pó).

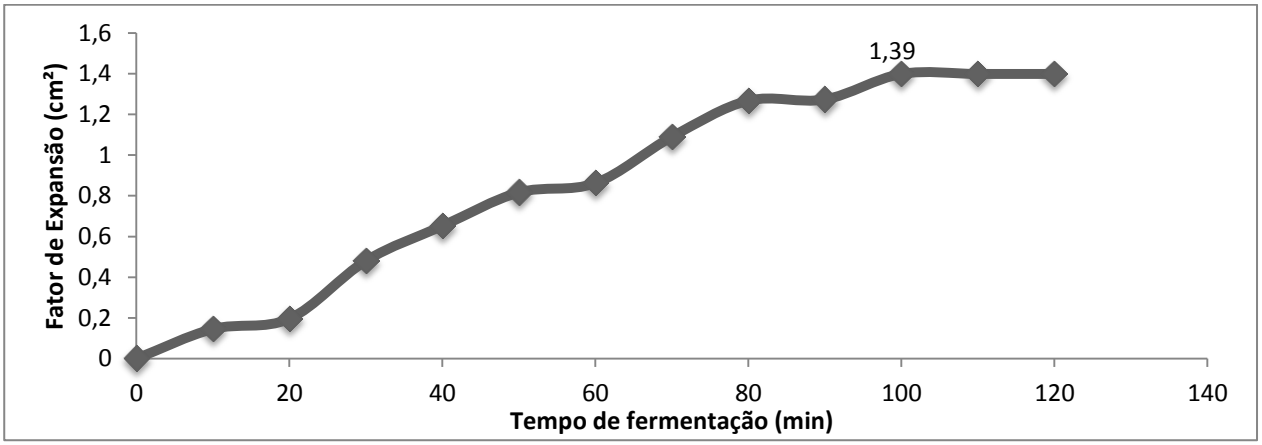
ANEXO B1 – Fator de expansão das massas do ensaio 1, adicionado de 5% de polidextrose e 5% de brócolis em pó.



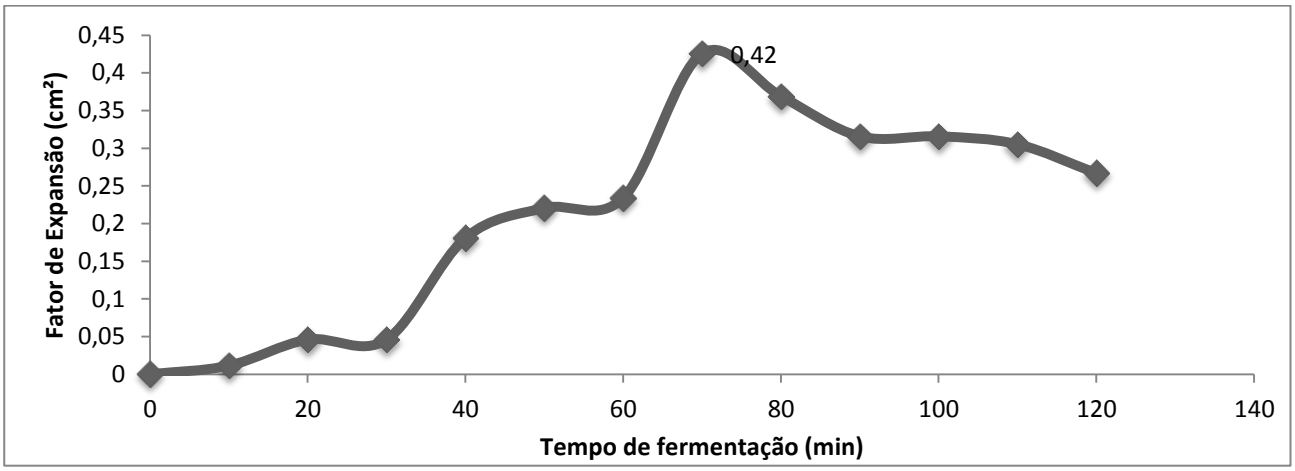
ANEXO B2 – Fator de expansão das massas do ensaio 2, adicionado de 15% de polidextrose e 5% de brócolis em pó.



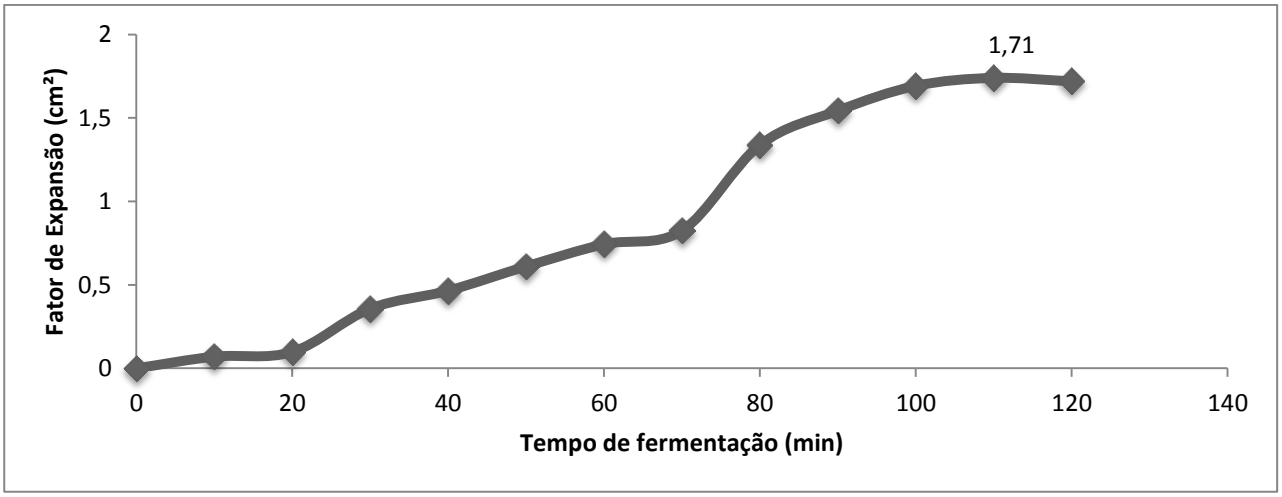
ANEXO B3 – Fator de expansão das massas do ensaio 3, adicionado de 5% de polidextrose e 15% de brócolis em pó.



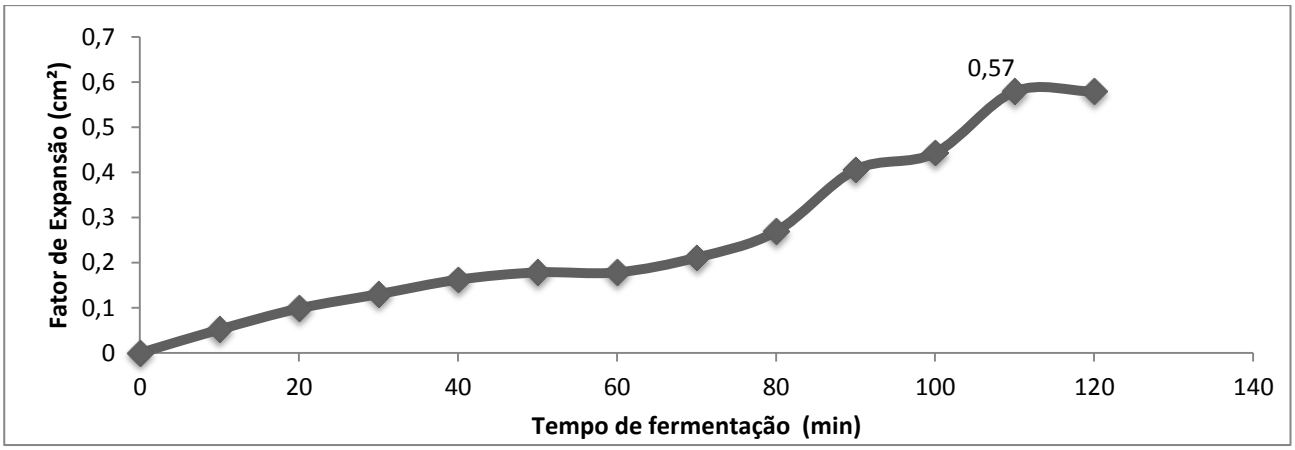
ANEXO B4 – Fator de expansão das massas do ensaio 4, adicionado de 15% de polidextrose e 15% de brócolis em pó.



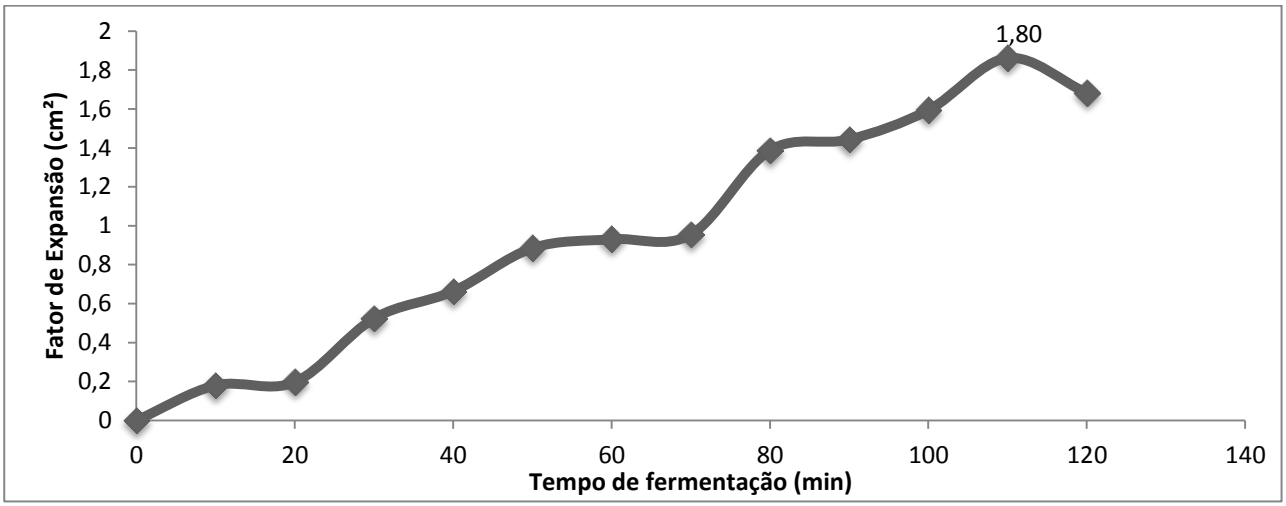
ANEXO B5 – Fator de expansão das massas do ensaio 5, adicionado de 0% de polidextrose e 10% de brócolis em pó.



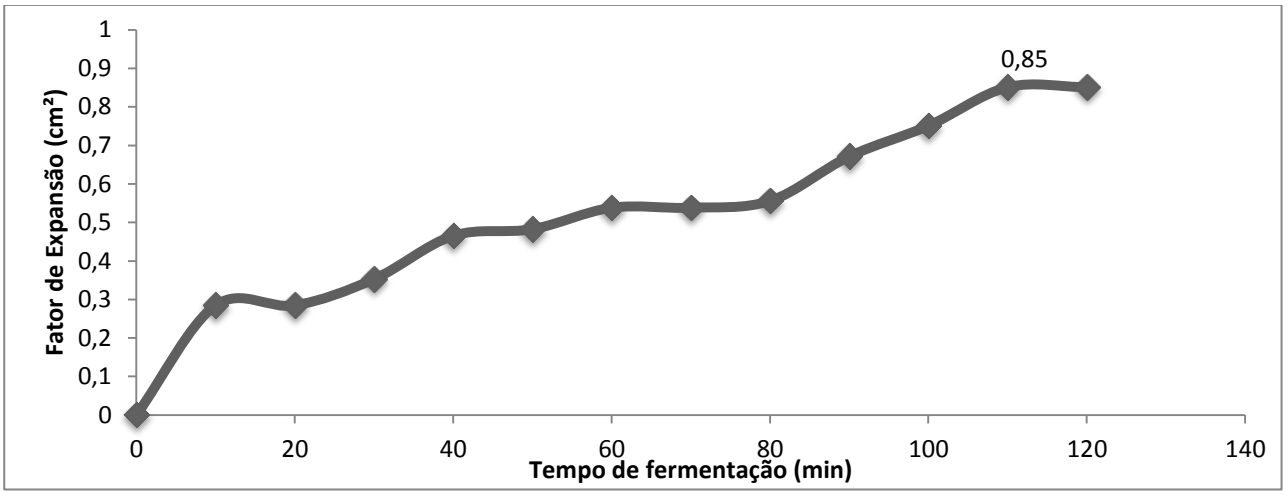
ANEXO B6 – Fator de expansão das massas do ensaio 6, adicionado de 20% de polidextrose e 10% de brócolis em pó.



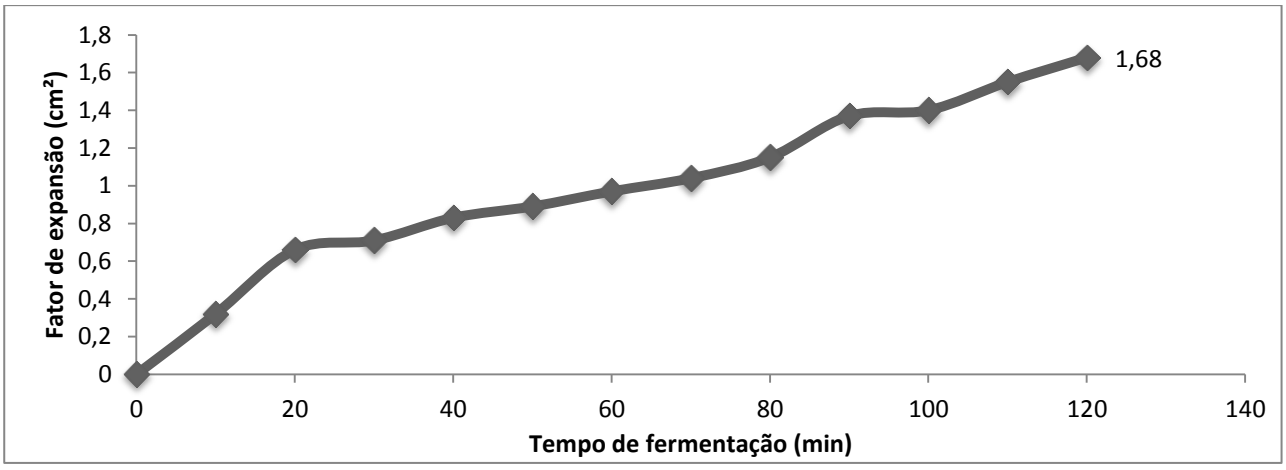
ANEXO B7 – Fator de expansão das massas do ensaio 7, adicionado de 10% de polidextrose e 0% de brócolis em pó.



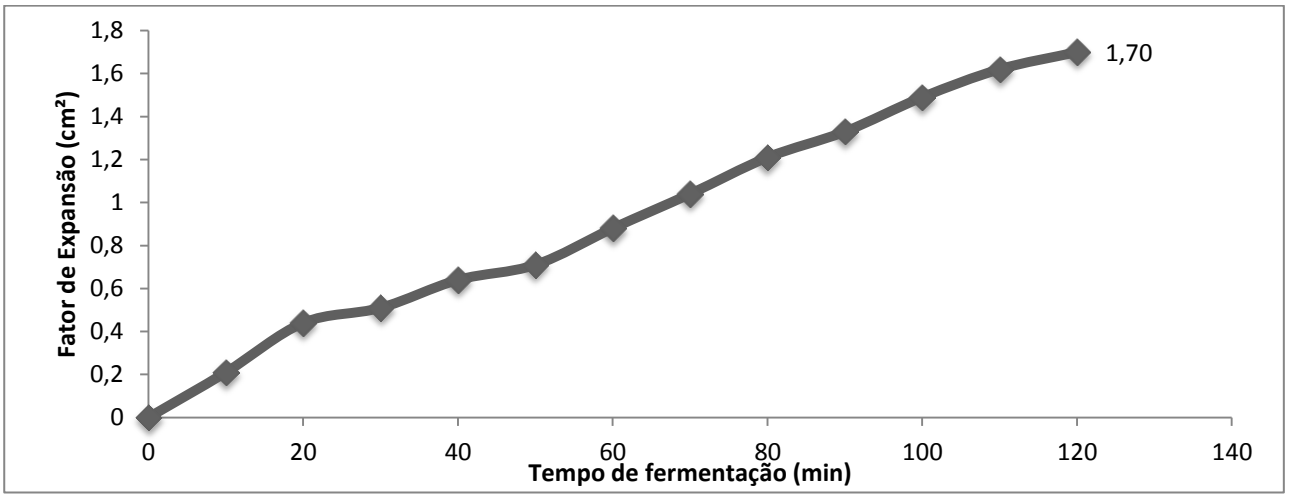
ANEXO B8 – Fator de expansão das massas do ensaio 1, adicionado de 10% de polidextrose e 20% de brócolis em pó.



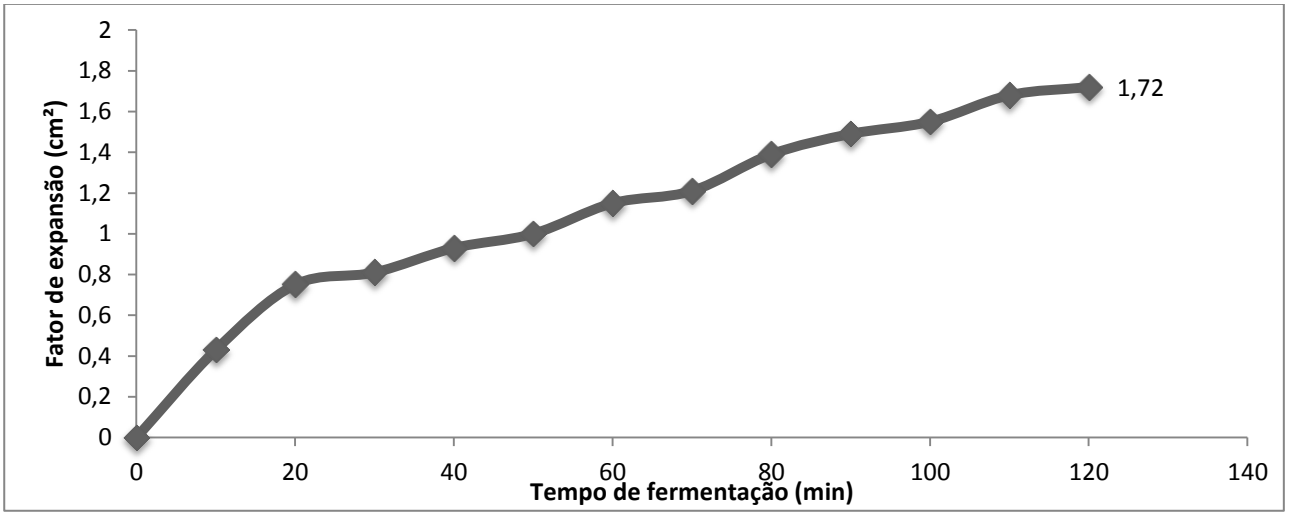
ANEXO B9 – Fator de expansão das massas do ensaio 9, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de brócolis em pó.



ANEXO B10 – Fator de expansão das massas do ensaio 10, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de brócolis em pó.

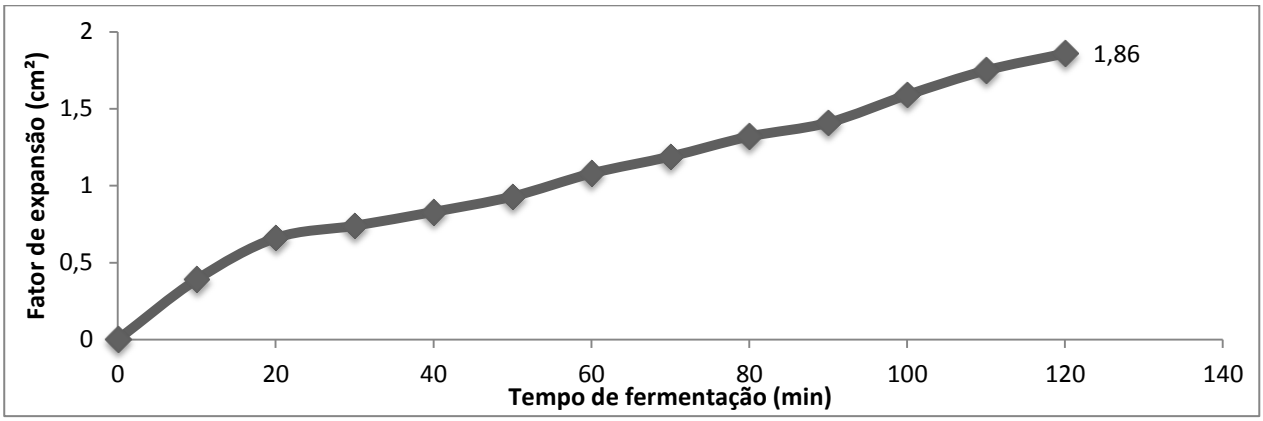


ANEXO B11 – Fator de expansão das massas do ensaio 11, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de brócolis em pó.

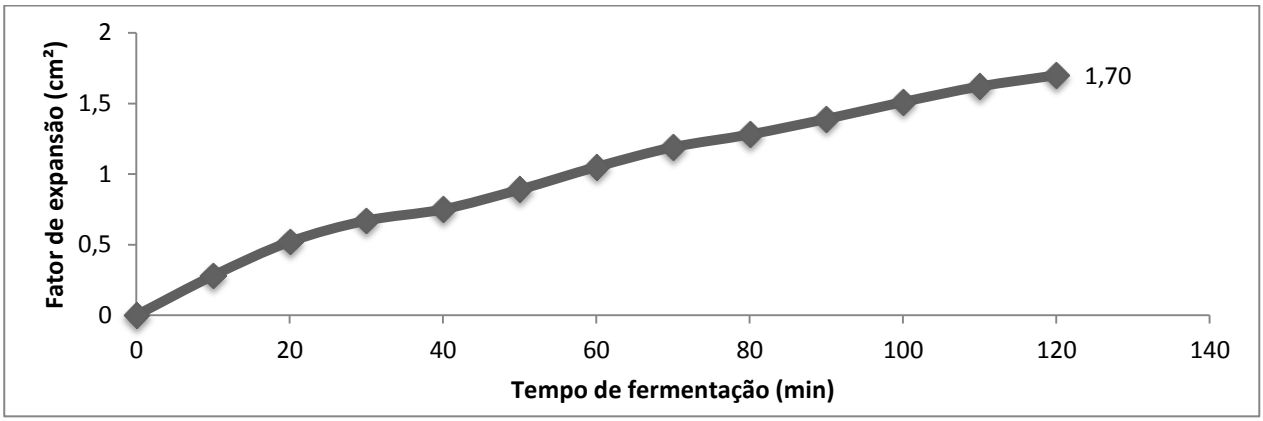


ANEXO C: Fator de expansão das massas para a produção de pães tipo forma processados com ingredientes funcionais (polidextrose e açaí em pó).

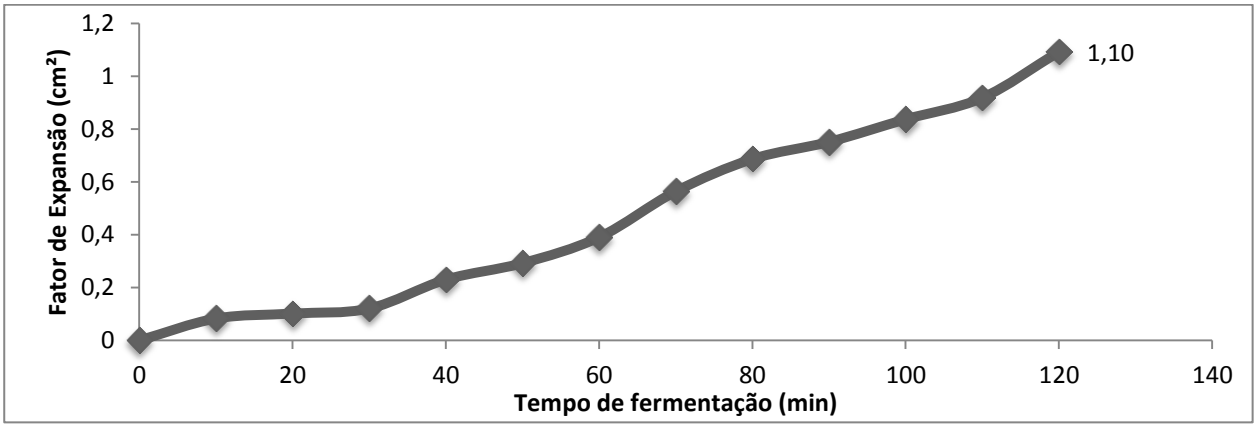
ANEXO C1 – Fator de expansão das massas do ensaio 1, adicionado de 5% de polidextrose e 5% de açaí em pó.



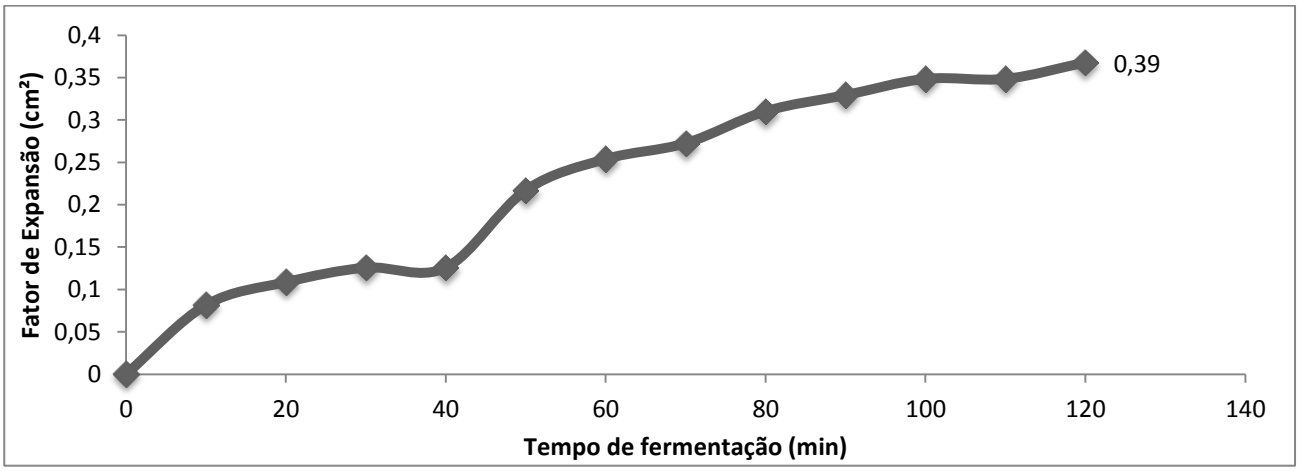
ANEXO C2 – Fator de expansão das massas do ensaio 2, adicionado de 15% de polidextrose e 5% de açaí em pó.



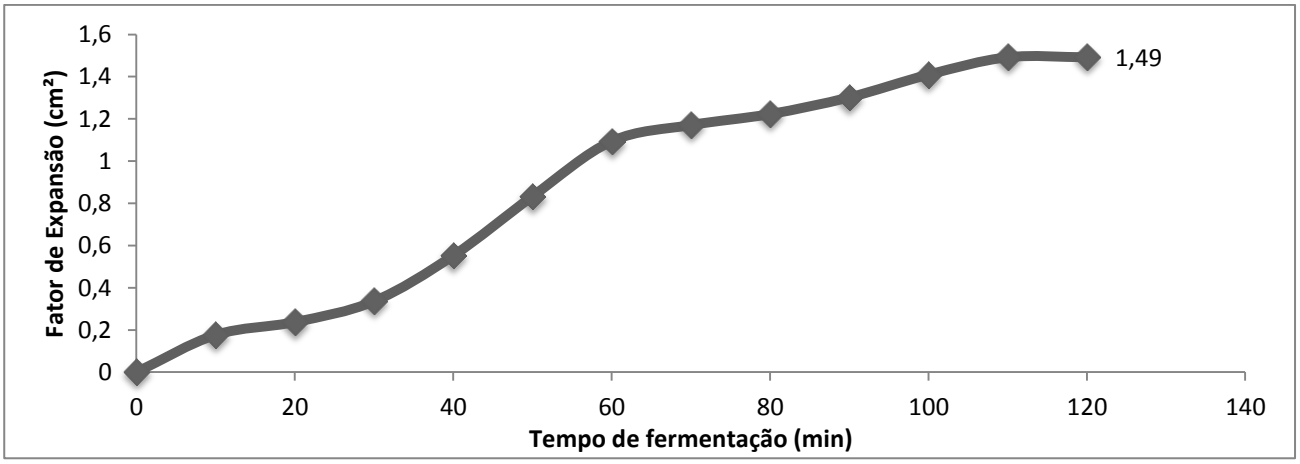
ANEXO C3 – Fator de expansão das massas do ensaio 3, adicionado de 5% de polidextrose e 15% de açaí em pó.



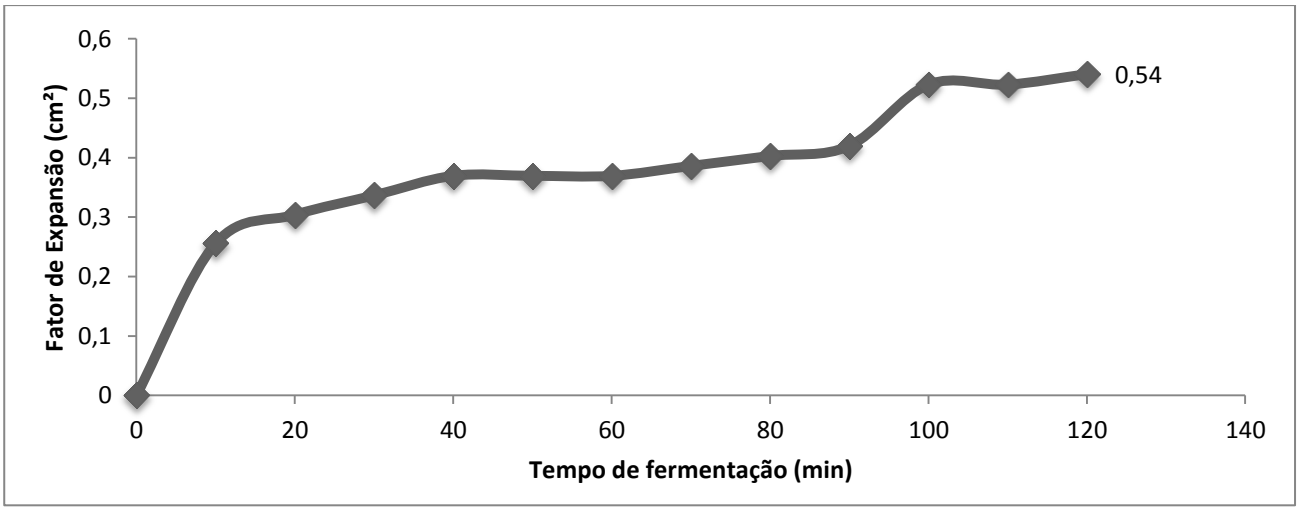
ANEXO C4 – Fator de expansão das massas do ensaio 4, adicionado de 15% de polidextrose e 15% de açaí em pó.



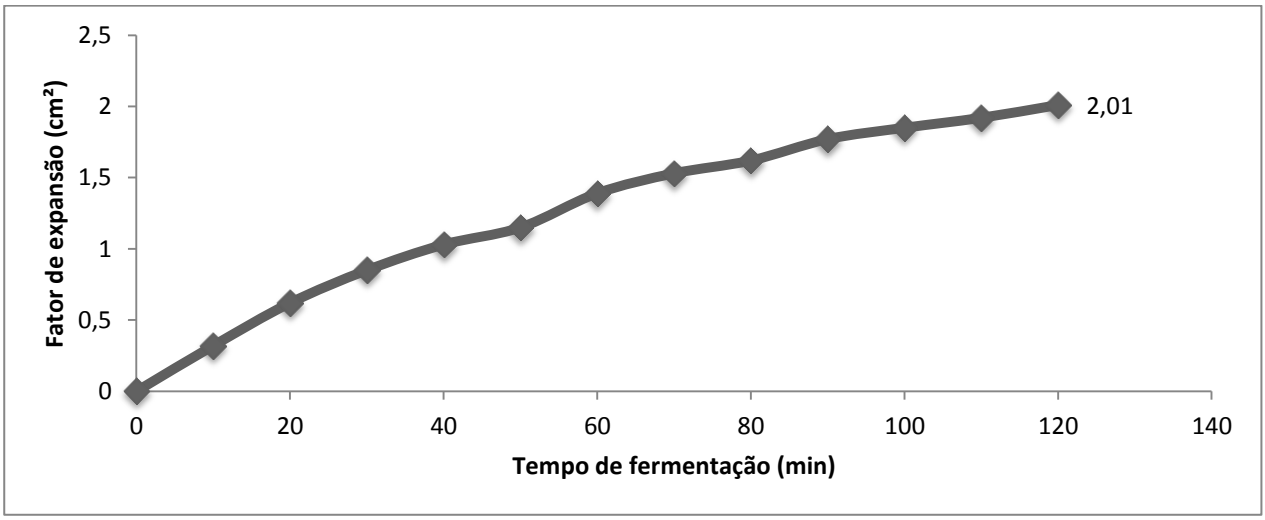
ANEXO C5 – Fator de expansão das massas do ensaio 5, adicionado de 0% de polidextrose e 10% de açaí em pó.



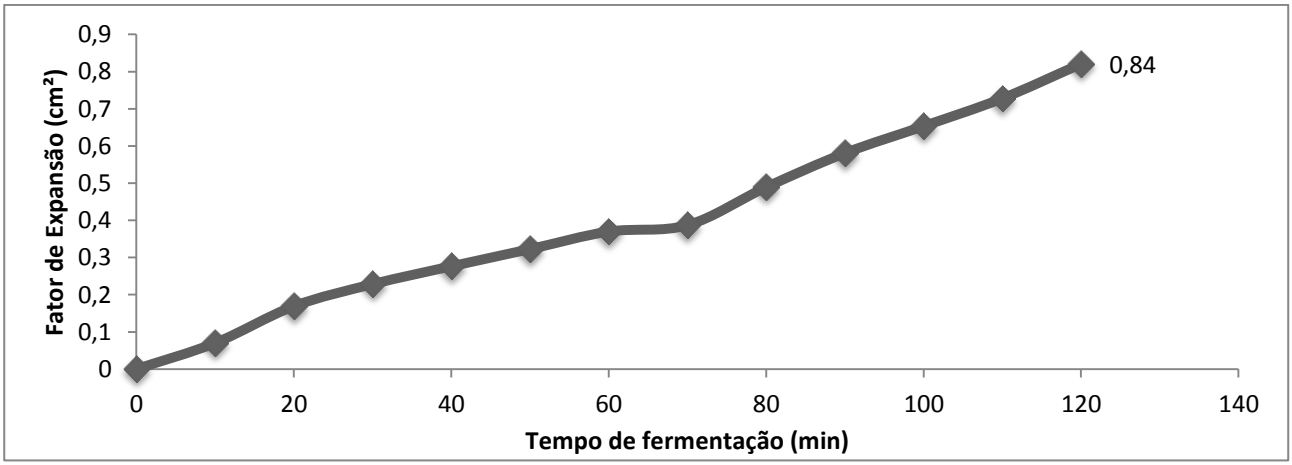
ANEXO C6 – Fator de expansão das massas do ensaio 6, adicionado de 20% de polidextrose e 10% de açaí em pó.



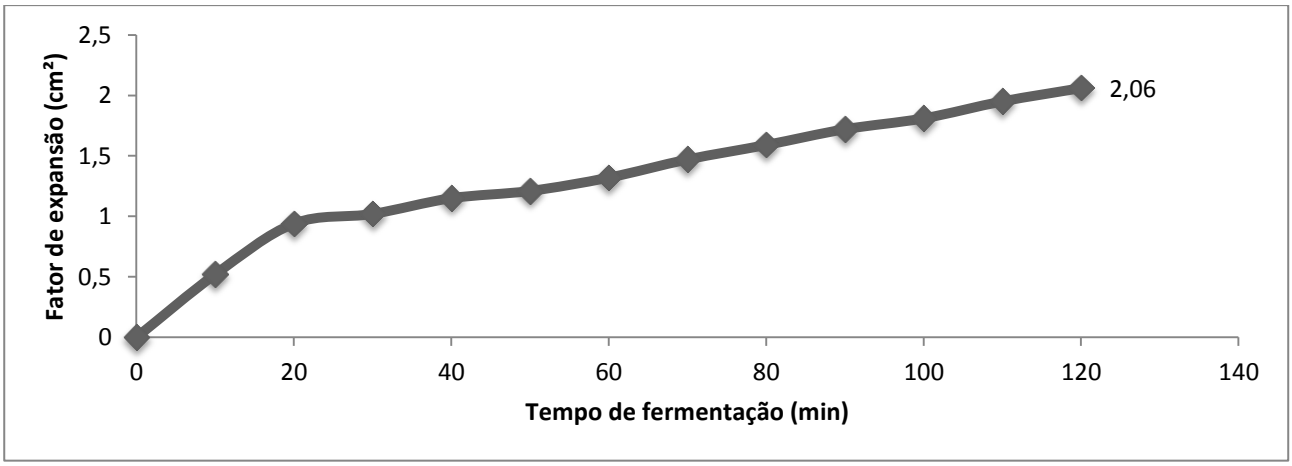
ANEXO C7 – Fator de expansão das massas do ensaio 7, adicionado de 10% de polidextrose e 0% de açaí em pó.



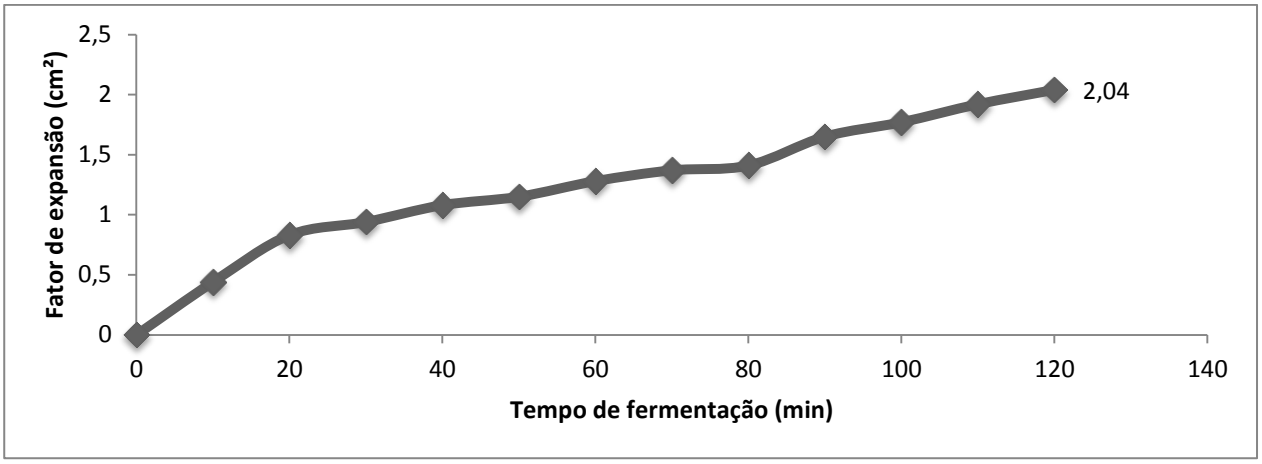
ANEXO C8 – Fator de expansão das massas do ensaio 8, adicionado de 10% de polidextrose e 20% de açaí em pó.



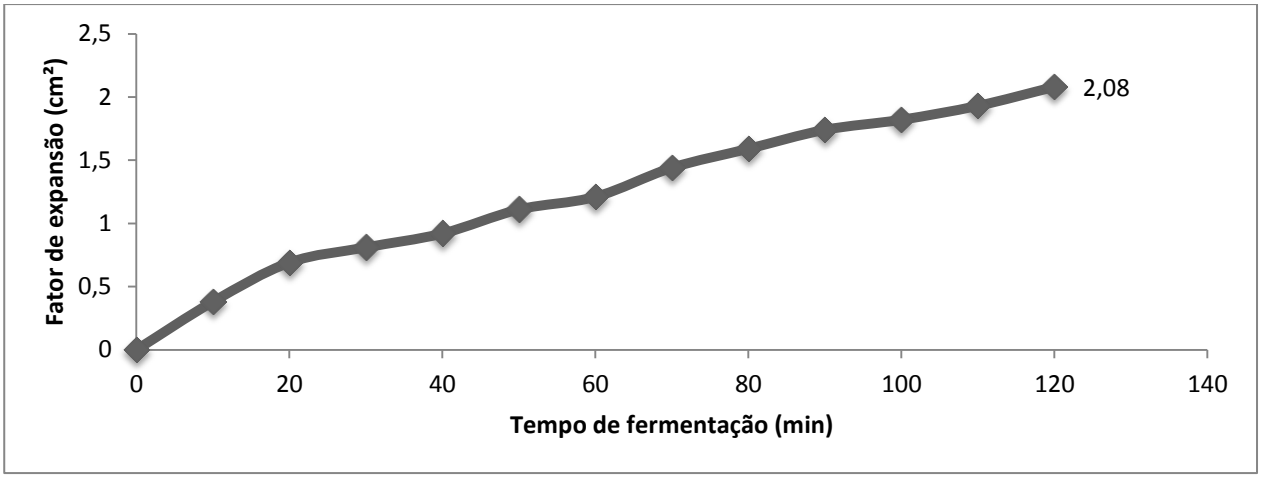
ANEXO C9 – Fator de expansão das massas do ensaio 9, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de açaí em pó.



ANEXO C10 – Fator de expansão das massas do ensaio 10, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de açaí em pó.

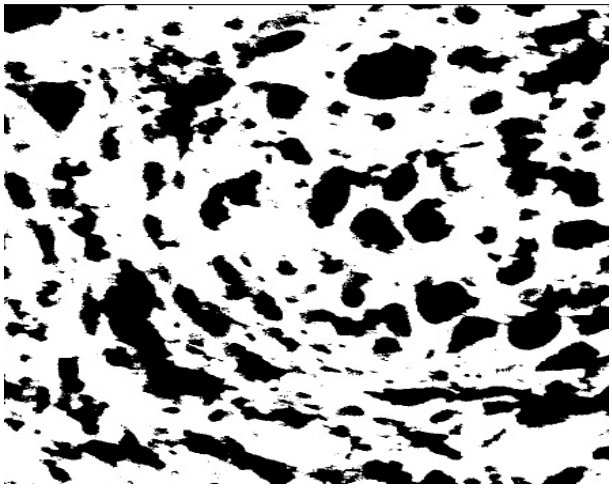


ANEXO C11 – Fator de expansão das massas do ensaio 11, adicionado de 10% de polidextrose e 10% de açaí em pó.

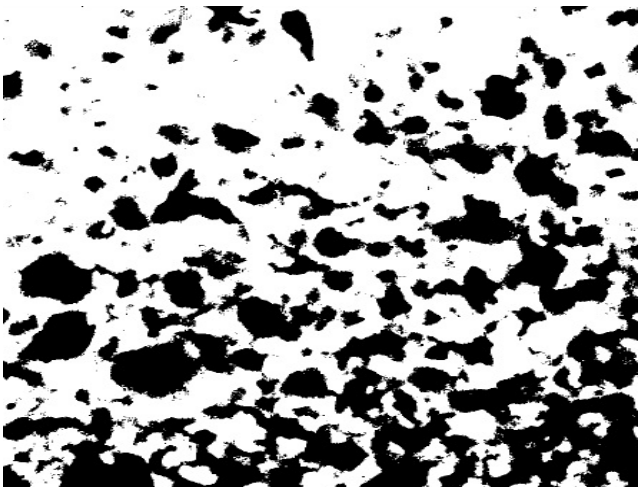


ANEXO D: Imagens digitais e limiarizadas do miolo dos pães tipo forma obtidos pela tecnologia de massas congeladas

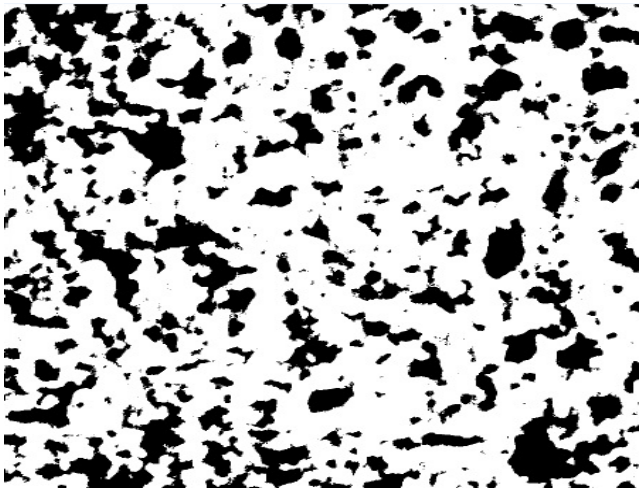
ANEXO D1: Imagens digitais e limiarizadas do miolo de pães padrão – (a) massa não-congelada; (b) congelada por 15 dias; (c) congelada por 30 dias; (d) congelada por 45 dias; (e) congelada por 60 dias.



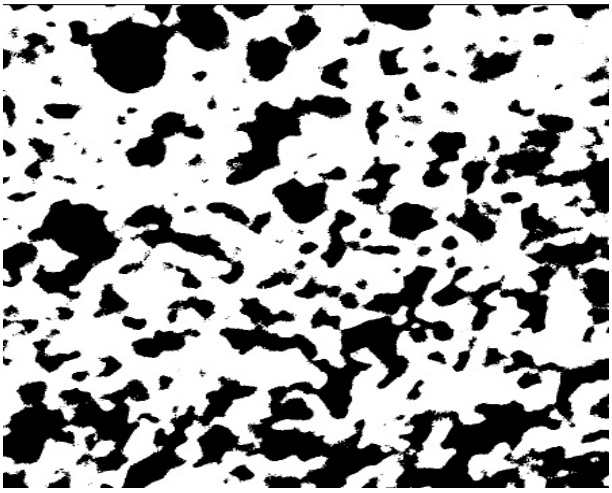
(a)



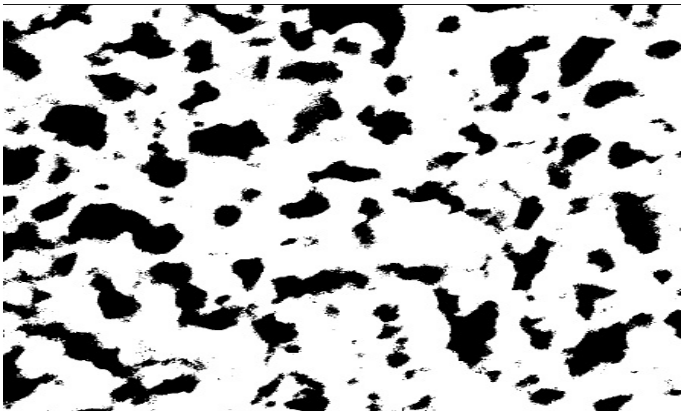
(b)



(c)

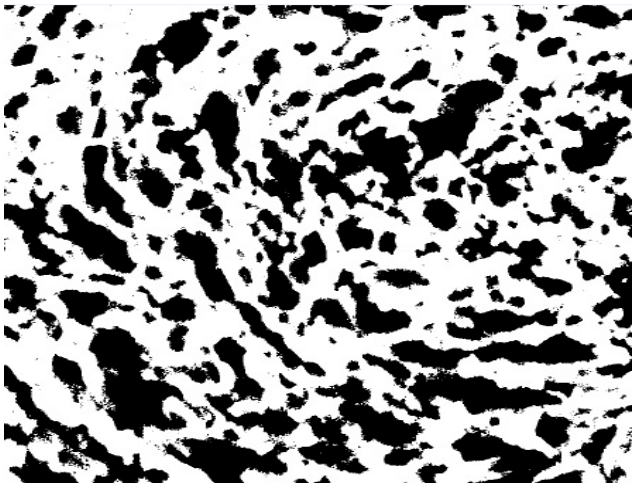


(d)

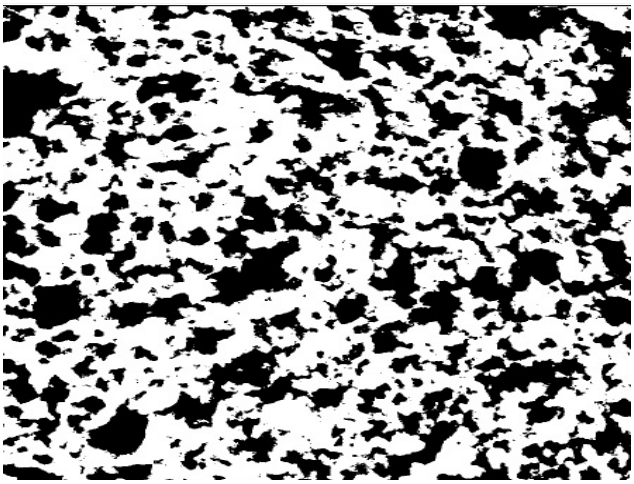


(e)

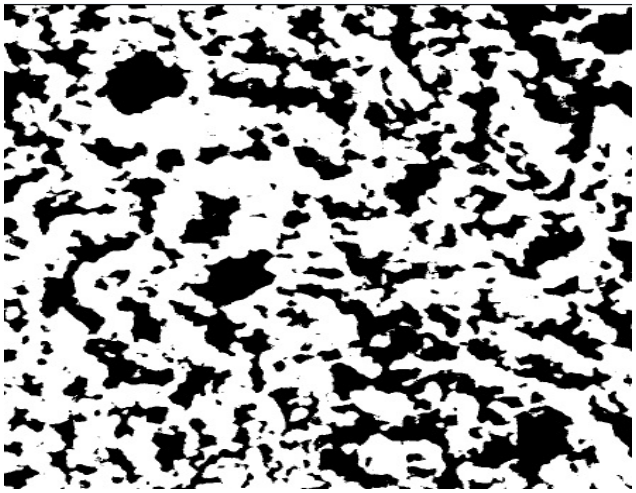
ANEXO D2: Imagens digitais e limiarizadas do miolo de pães Tomate 1 – (a) massa não-congelada; (b) congelada por 15 dias; (c) congelada por 30 dias; (d) congelada por 45 dias; (e) congelada por 60 dias.



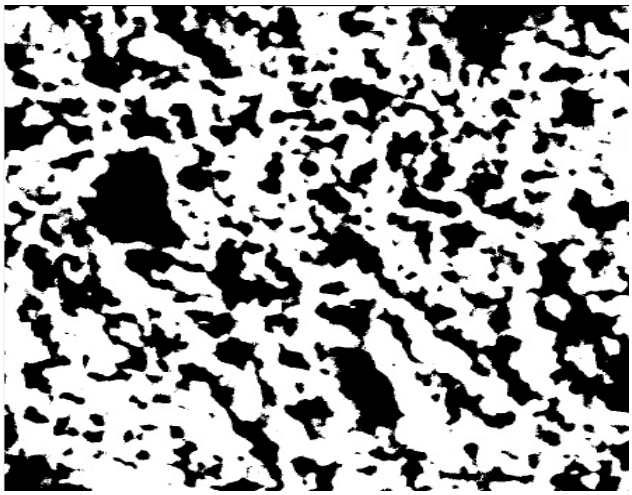
(a)



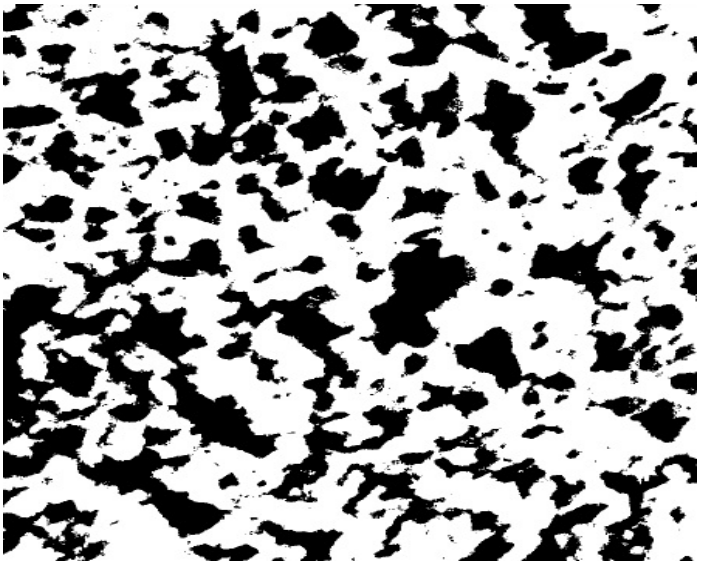
(b)



(c)

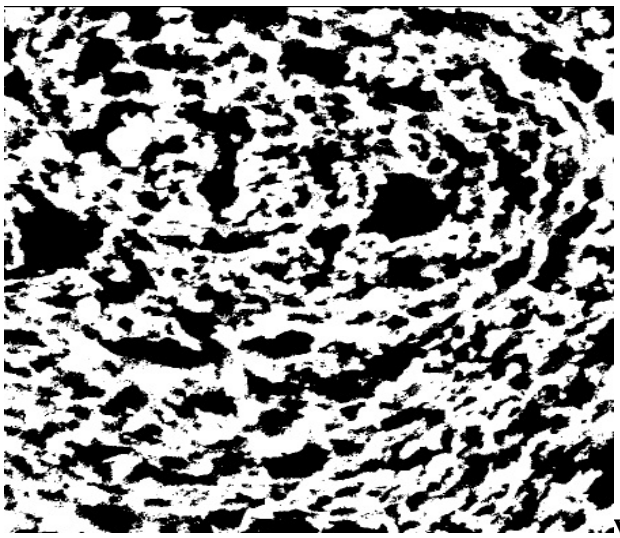


(d)

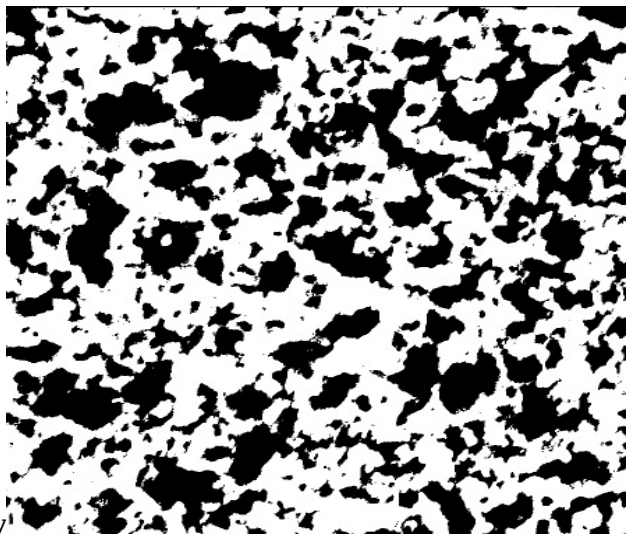


(e)

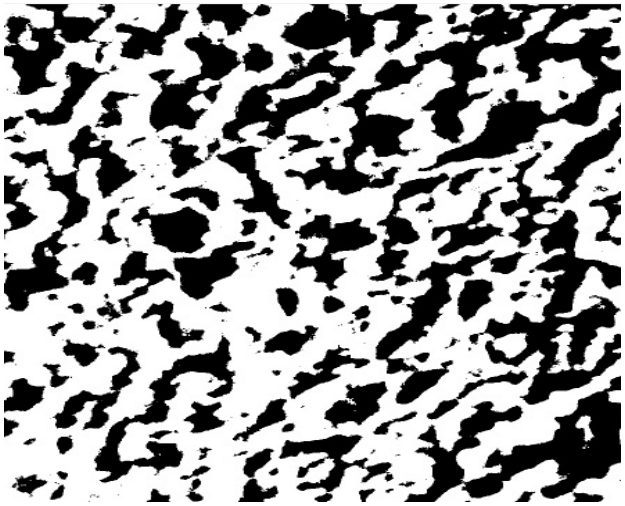
ANEXO D3: Imagens digitais e limiarizadas do miolo de pães Tomate 2 – (a) massa não-congelada; (b) congelada por 15 dias; (c) congelada por 30 dias; (d) congelada por 45 dias; (e) congelada por 60 dias.



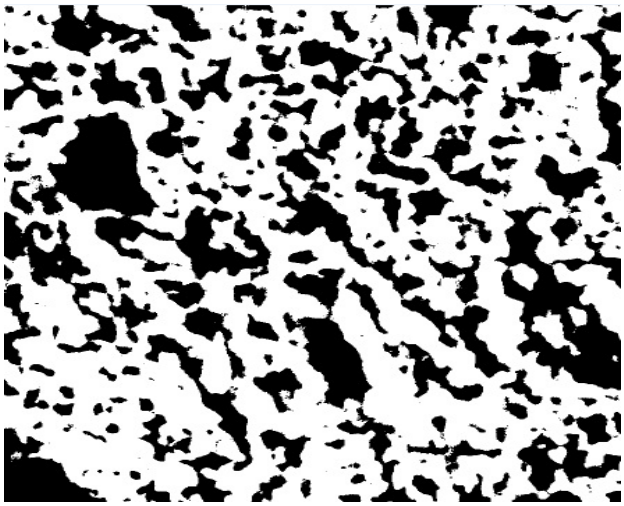
(a)



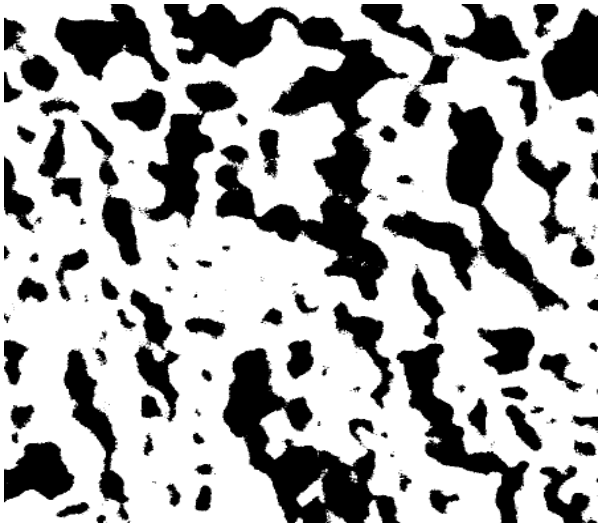
(b)



(c)

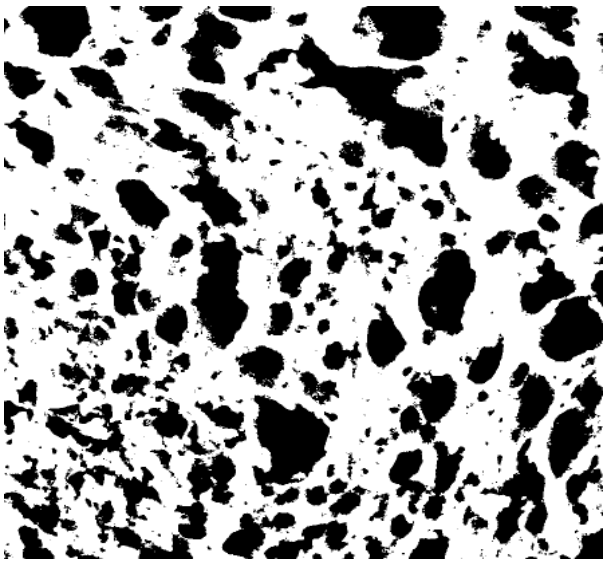


(d)

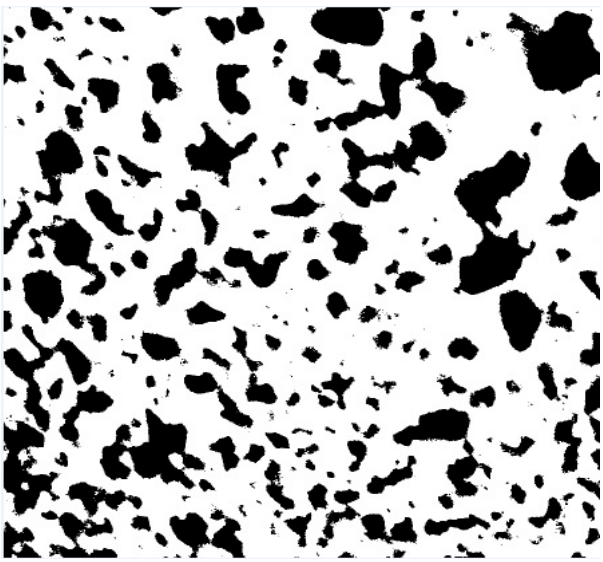


(e)

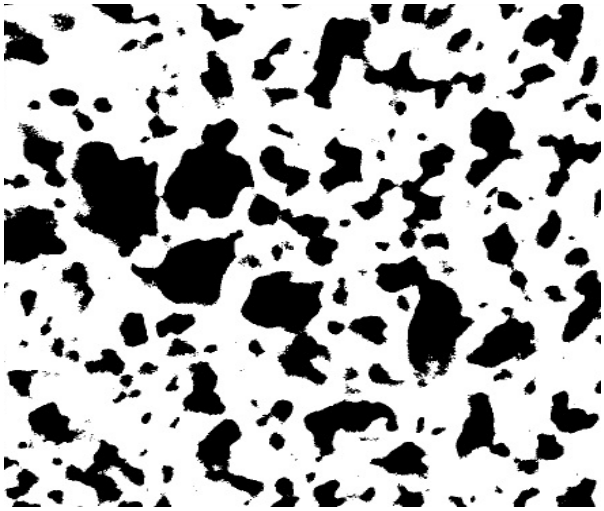
ANEXO D4: Imagens digitais e limiarizadas do miolo de pães Brócolis 1 – (a) massa não-congelada; (b) congelada por 15 dias; (c) congelada por 30 dias; (d) congelada por 45 dias; (e) congelada por 60 dias.



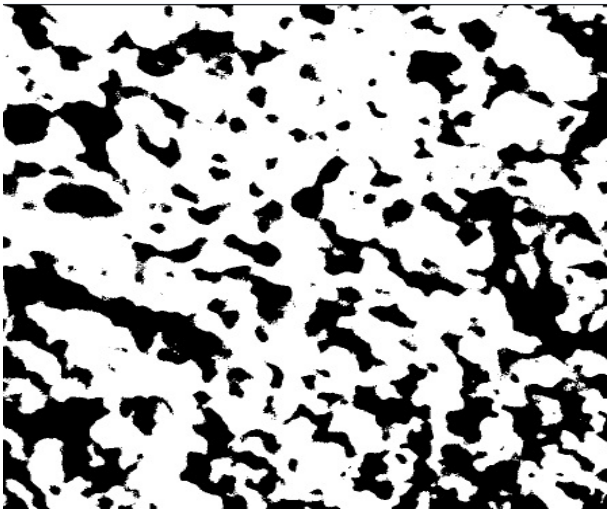
(a)



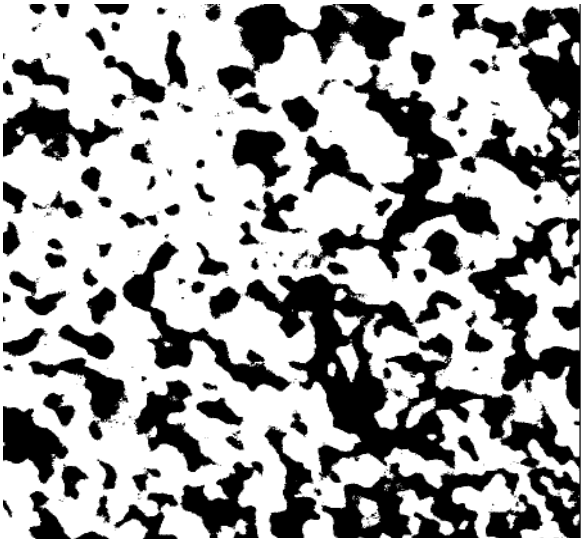
(b)



(b)

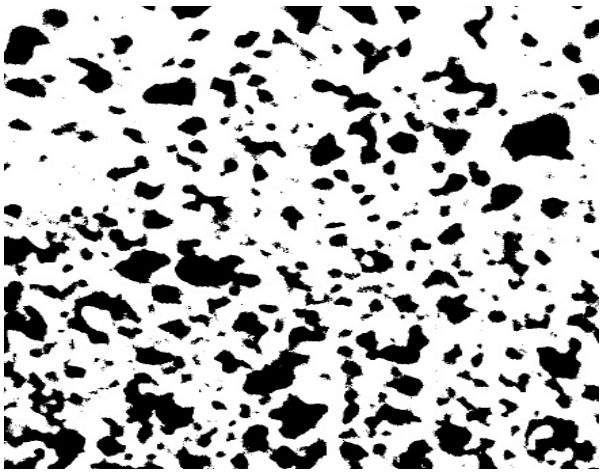


(d)

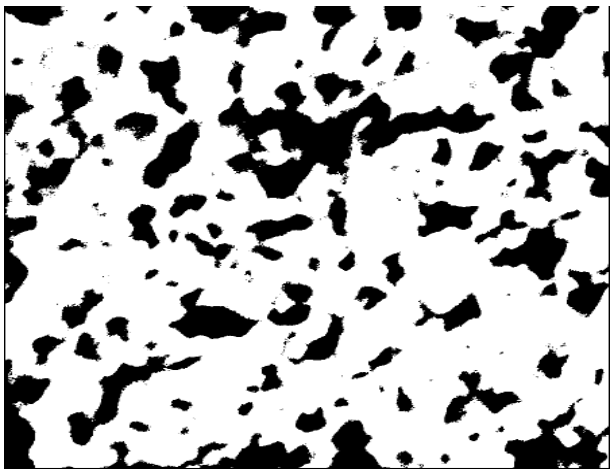


(e)

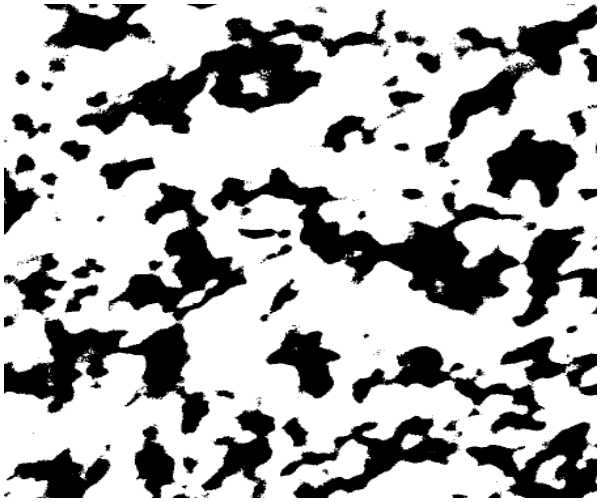
ANEXO D4: Imagens digitais e limiarizadas do miolo de pães Brócolis 2 – (a) massa não-congelada; (b) congelada por 15 dias; (c) congelada por 30 dias; (d) congelada por 45 dias; (e) congelada por 60 dias.



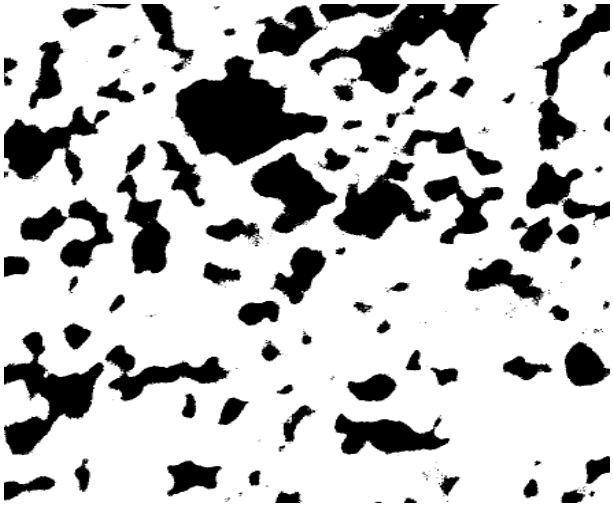
(a)



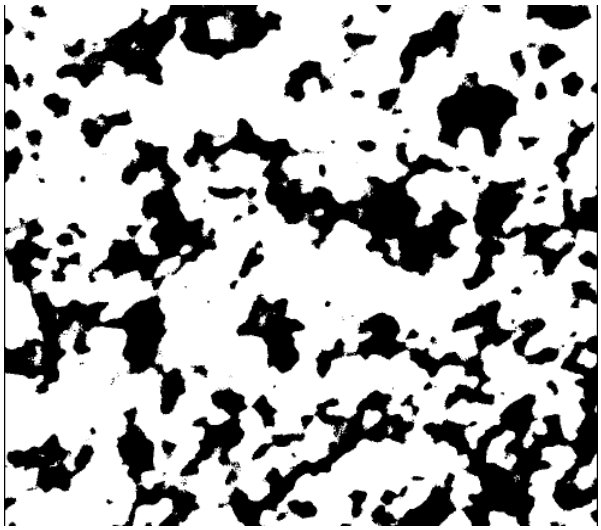
(b)



(c)

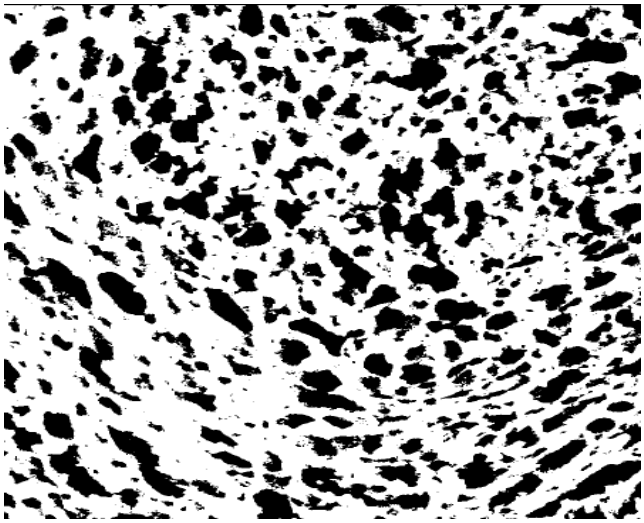


(d)

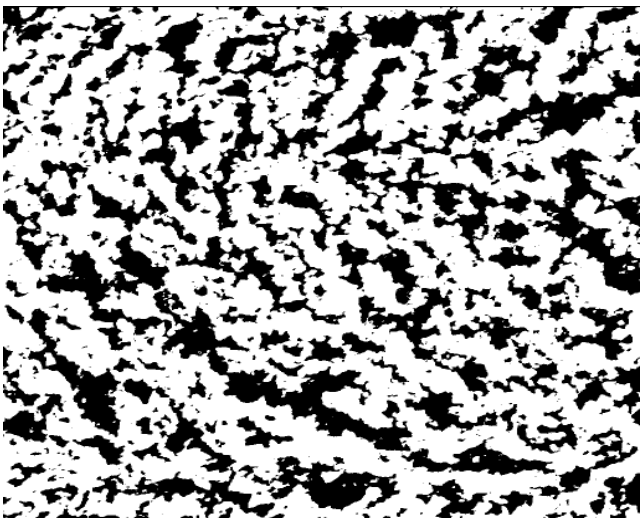


(e)

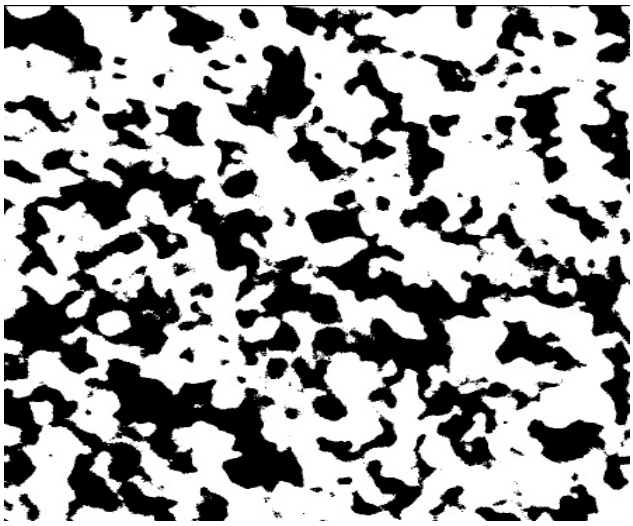
ANEXO D6: Imagens digitais e limiarizadas do miolo de pães Açaí 1 – (a) massa não-congelada; (b) congelada por 15 dias; (c) congelada por 30 dias; (d) congelada por 45 dias; (e) congelada por 60 dias.



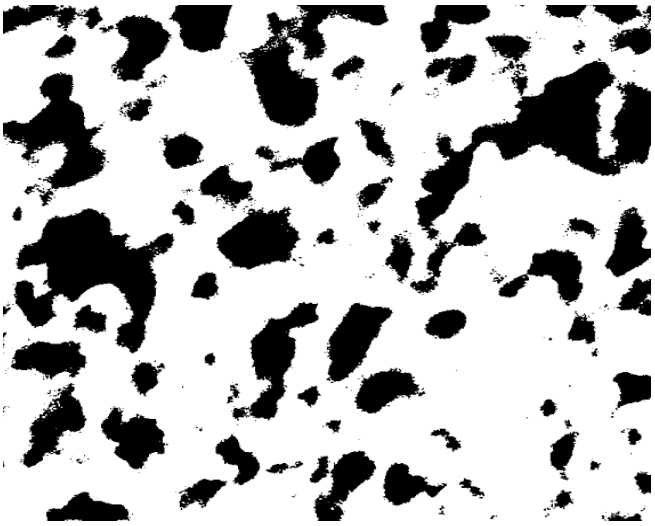
(a)



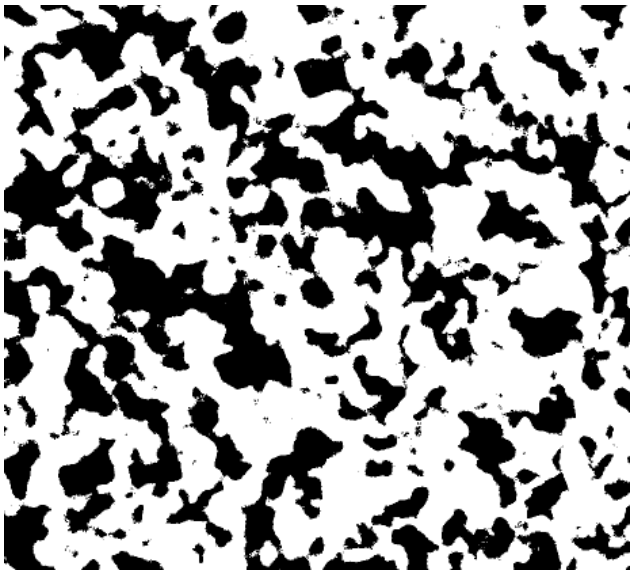
(b)



(c)

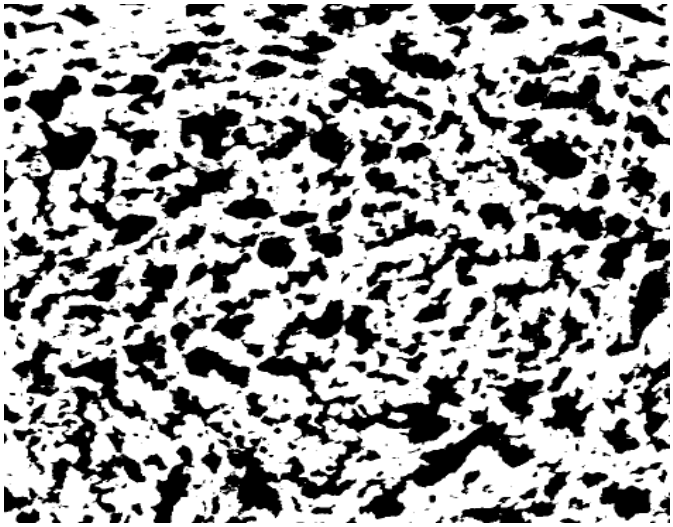


(d)

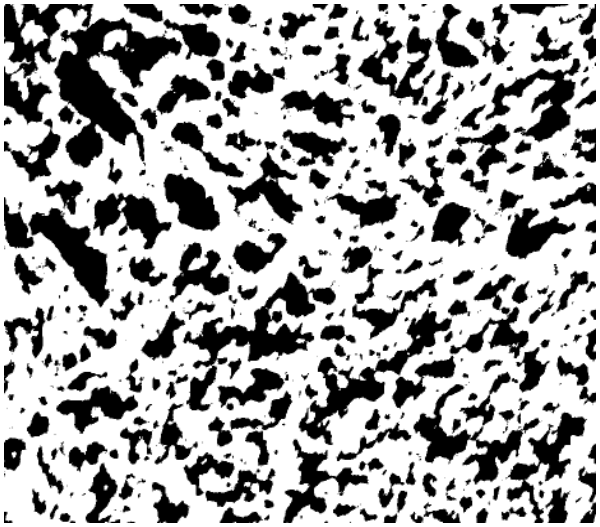


(e)

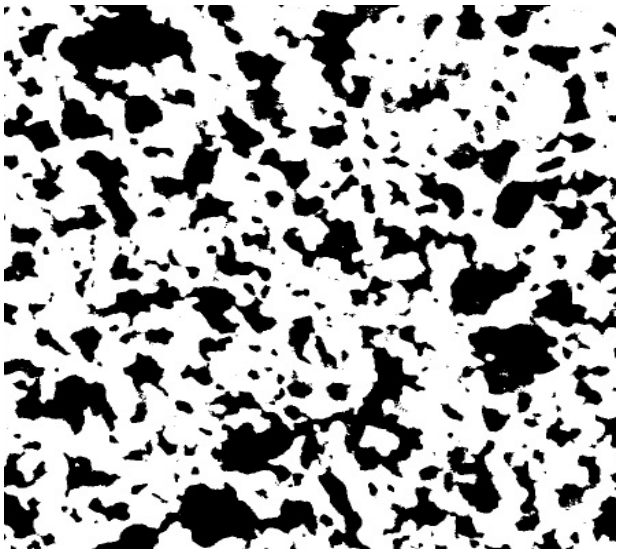
ANEXO D7: Imagens digitais e limiarizadas do miolo de pães Açaí 2 – (a) massa não-congelada; (b) congelada por 15 dias; (c) congelada por 30 dias; (d) congelada por 45 dias; (e) congelada por 60 dias.



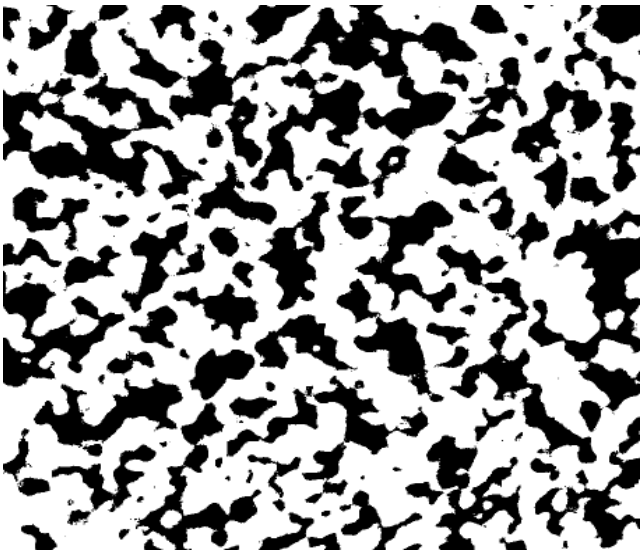
(a)



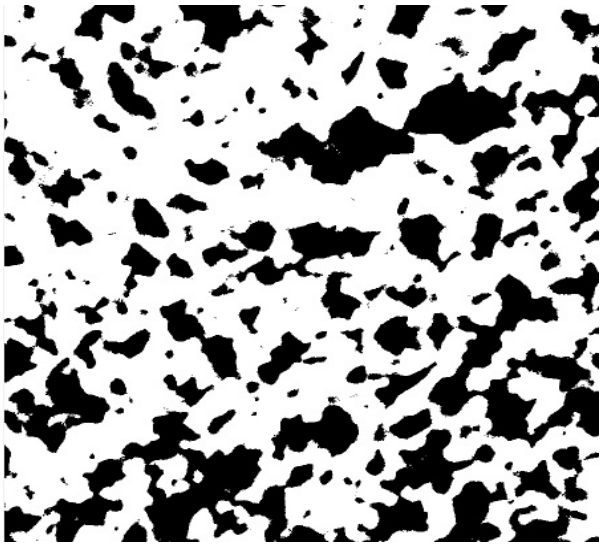
(b)



(c)



(d)



(e)

ANEXO E: Ficha da análise sensorial dos pães tipo forma processados com ingredientes funcionais

Análise Sensorial de pão tipo forma adicionado de ingredientes funcionais

Avalie a amostra **(uma de cada vez)** e indique na escala abaixo o quanto você GOSTOU ou DESGOSTOU das seguintes características:

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

Nº amostra	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Impressão global
_____	_____	_____	_____	_____	_____
Nº amostra	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Impressão global
_____	_____	_____	_____	_____	_____
Nº amostra	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Impressão global
_____	_____	_____	_____	_____	_____

Marque nas escalas abaixo com que frequência você compraria estes produtos:

5. Certamente compraria
4. Possivelmente compraria
3. Talvez comprasse, talvez não comprasse
2. Possivelmente não compraria
1. Certamente não compraria

Nº amostra	Número
_____	_____
Nº amostra	Número
_____	_____
Nº amostra	Número
_____	_____

Informe a ordem de sua preferência para as amostras: **(colocar os números das amostras).**

_____	_____	_____
Menos preferida(-)	Intermediária	(+)Mais preferida

ANEXO F: Termo de consentimento livre e esclarecido

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado a participar como voluntário, sem qualquer tipo de pagamento, da pesquisa intitulada "**DESENVOLVIMENTO DE PÃES TIPO FORMA PROCESSADOS COM INGREDIENTES FUNCIONAIS E ESTUDO DA SUA OBTENÇÃO PELA TECNOLOGIA DE MASSAS CONGELADAS**". 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. Se você tiver algum problema de saúde relacionado à ingestão de **GLÚTEN, TOMATE, BRÓCOLIS, AÇAÍ e POLIDEXTROSE** tais como: **alergia, intolerância ou qualquer outro problema de saúde NÃO poderá participar dos testes**.

O propósito desta pesquisa é avaliar a aceitabilidade de vários atributos sensoriais de diferentes formulações de pães e da atitude de compra dos produtos. Os dados serão coletados por meio de uma ficha de avaliação sensorial através do teste de escala hedônica de 9 pontos, atitude de compra de 5 pontos e ordenação-preferência. Os participantes receberão três amostras, irão provar e avaliar globalmente o produto e atribuir notas de 1 a 9 para as amostras servidas, sendo 1 correspondente a desgostei muitíssimo e 9 gostei muitíssimo. No teste de atitude de compra deverão informar o grau em que comprariam o produto. No ordenação-preferência, deverão informar o grau de preferência entre as amostras.

Aqueles que fornecerem dados espontaneamente pós-esclarecimento terão suas identidades preservadas mesmo em publicações em documentos especializados nos meios de comunicação científico ou leigo.

O abaixo-assinado, _____, _____ anos, RG nº _____ declara que é de livre e espontânea vontade que está participando como voluntário da pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura tive oportunidade de fazer perguntas sobre o conteúdo do mesmo, como também sobre a pesquisa e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. Sei que poderei retirar meu consentimento a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Sou sabedor que terei todas as dúvidas respondidas pelo pesquisador responsável Rafael Audino Zambelli, no telefone (85) 8957-2699 ou e-mail zambelli@alu.ufc.br.

Fortaleza, 28 de Agosto de 2013.

_____ _____

Assinatura do Voluntário Assinatura do Pesquisador

ATENÇÃO: Para informar qualquer questionamento durante a sua participação no estudo, dirija-se ao: Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará- Rua Coronel Nunes de Melo, 1127 Rodolfo Teófilo - Telefone: 3366-8344