

## **Avaliação do efeito da temperatura e injeção de vapor durante o processo de fermentação das massas para a produção de pães tipo forma**

R. A. ZAMBELLI<sup>1</sup>, J. D. VIANA<sup>1</sup>, C. A. R. LIMA<sup>1</sup>, G. K. PINHEIRO<sup>1</sup>, D. L. BRASIL<sup>1</sup> e D. F. PONTES<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Tecnologia de Alimentos.  
E-mail para contato: Zambelli@alu.ufc.br

**RESUMO** - O estudo teve por objetivo estudar a influência da temperatura e injeção de vapor sobre as propriedades físicas das massas e de pães tipo forma utilizando a metodologia de superfície de resposta. Os níveis de temperatura estudados foram: de 25 a 45 °C com a aplicação de 0 a 4 injeções de vapores durante o processo fermentativo. As variáveis dependentes analisadas foram o fator de expansão das massas, volume específico, densidade, índice de expansão e número de alvéolos dos pães tipo forma utilizando o delineamento composto central rotacional. Verificou-se que temperaturas superiores a 35 °C, independente da injeção de vapor, produziu pães com volume específico inferiores a 3,00 mL/g e índices de expansão inferiores a 1,20; reduzindo a sua qualidade. A injeção de vapor foi eficaz, quanto maior a sua adição no processo fermentativo, maiores foram os parâmetros físicos dos pães, quando combinado com temperatura máxima de fermentação de 30 °C, produzindo pães tipo forma de qualidade superior.

### **1.0 INTRODUÇÃO**

A produção de pão consiste, basicamente, em um processo de duas etapas em função da temperatura, uma delas é a fermentação, onde a produção CO<sub>2</sub> associadas com a atividade da levedura, estando envolvida com a formação de poros e a expansão do volume da massa, a segunda etapa associada com a temperatura é o forneamento, na qual a atividade da levedura é suspensa a estrutura do pão é formada. Esta estrutura depende da atividade da levedura, da temperatura de fermentação e a evolução e formação das bolhas de gás (Badj e Sersa, 2011).

De acordo com Jayaram *et al.* (2013) relatam que a produção de metabólitos específicos de levedura, tais como o etanol e o ácido succínico são dependentes da temperatura de fermentação. Cauvain (2009) afirma que a injeção de vapor durante o processo fermentativo evita a desidratação da massa, que pode auxiliar no processo fermentativo e na formação da crosta e estrutura do miolo.

O estudo tem como objetivo estudar a variação da temperatura e injeção de vapor durante o processo de fermentação com o delineamento composto central rotacional em formulações de pães tipo forma visando à otimização dos parâmetros físicos dos produtos.

## 2.0 METODOLOGIA

### 2.1 Delineamento Experimental

O desenvolvimento das formulações de pães tipo forma foi realizado a partir de uma formulação padrão, cuja composição é: 100% de farinha de trigo; 55-60% de água, 10% de Gordura Vegetal Hidrogenada; 5% de açúcar, 3,3% de fermento biológico e 2% de sal.

Na tabela 1 são apresentados as faixas de valores codificados e reais utilizados para os ensaios e na tabela 2 é apresentada a matriz do planejamento.

Tabela 1 – Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2<sup>2</sup>

Variáveis Independentes	Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
	$-\alpha = -1,41$	$-1$	$0$	$+1$	$+\alpha = +1,41$
Temperatura (°C)	25	30	35	40	45
Injeção de vapor (vezes)	0	1	2	3	4

Para o desenvolvimento das formulações de pães tipo forma incorporadas com diferentes quantidades de fermento biológico e sal foi utilizado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). Foi aplicado um planejamento fatorial 2<sup>2</sup> completo, totalizando 11 ensaios, sendo quatro fatoriais (combinação dos níveis -1 e +1), quatro axiais ( $-\alpha$  e  $+\alpha$ ) e três repetições no ponto central (0) para estimativa do erro padrão.

Tabela 2 - Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais

Ensaios	Temperatura	Injeção de vapor	Temperatura (°C)	Injeção da vapor (vezes)
1	-1	-1	30	1
2	+1	-1	40	1
3	-1	+1	30	3
4	+1	+1	40	3
5	-1,41	0	25	2
6	+1,41	0	45	2
7	0	-1,41	35	0
8	0	+1,41	35	4
9	0	0	35	2
10	0	0	35	2
11	0	0	35	2

### 2.2 Processamento dos Pães Tipo Forma

Os ingredientes foram pesados em balança semi-analítica separadamente. Aplicou-se o método direto, onde todos os ingredientes são colocados simultaneamente no início da etapa de mistura, com exceção do sal e água. Eles foram misturados em misturadora de escala semi-industrial 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 seu completo desenvolvimento. As massas foram divididas em porções de 250 g e moldadas na forma de elipses manualmente. Foram colocadas em fôrmas de folha galvanizada de ferro de chapa única para pão de forma sem tampa. Em seguida, colocadas em câmara de fermentação regulada a temperatura conforme o tratamento aplicado e 70% de umidade relativa, durante uma hora e trinta minutos. Ao final da fermentação, as massas foram assadas sem vapor durante 20 minutos a temperatura de 220 °C em forno elétrico de lastro Continental Advance Turbo®. Os pães foram resfriados durante uma hora em temperatura ambiente.

## 2.3 Avaliação Física das Massas e dos Pães Tipo Forma

Avaliação do processo de fermentação pela técnica de perfil livre de expansão: 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), com modificações, onde as massas foram consideradas como elipses truncadas, conforme ilustra a figura 1, foram medidas, a cada 10 minutos, as dimensões com o auxílio de régua milimetrada simples. As massas foram colocadas em fôrmas de alumínio com dimensões de 30 cm x 30 cm para permitir a sua livre expansão sem restrições dimensionais.

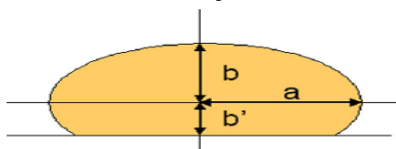


Figura 1 –Parâmetros de elipse truncada

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.

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

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 (cm<sup>3</sup>) – 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 (cm<sup>3</sup>); V<sub>o</sub> = Volume inicial da massa (cm<sup>3</sup>).

Volume Produzido: Porções de massa de 15 g, foram colocadas em provetas de 100 mL previamente esterilizadas para medição dos volumes das massas durante o processo de fermentação. Para o cálculo do volume produzido ( $\Delta V$ ) utilizou-se a subtração entre o volume final produzido, após uma hora e trinta minutos de fermentação e o volume inicial das massas na provetas, os resultados expressos em mL.

Volume Específico: As massas dos pães foram determinadas em 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 expressando o resultado mL. 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).

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

Índice de Expansão: Para o cálculo do índice de expansão foi adaptada a metodologia utilizada por Silva *et al.* (2003) para pães de queijo. As massas foram moldadas na forma esférica para permitir as medições do diâmetro e da altura. com auxílio de régua milimetrada simples. O Índice de Expansão (IE) dos pães foi calculado através da equação 4:

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

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).

Análise do número de alvéolos: 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 algoritmo de Otsu. A partir disto, foi possível obter os valores do número de alvéolos

## 2.4 Análise Estatística

A avaliação dos resultados dos parâmetros físicos no desenvolvimento das formulações através do delineamento composto central rotacional foi realizada por superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno após a análise de variância (ANOVA) e regressão, foi realizado teste de médias ao nível de 5% de significância. A análise foi realizada no programa STATISTICA 7.0.

## 3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno da da temperatura e injeção de vapor sobre o fator de expansão máximo das massas. A análise de variância obteve significância ( $p \leq 0,05$ ), uma vez que o coeficiente de determinação foi de 0,7734. Através da análise de regressão, foi possível verificar que apenas a variável temperatura, tanto no seu modelo linear ( $F_{\text{calc}} = 46,00$ ) e quadrático ( $F_{\text{calc}} = 40,86$ ), foram significativos na influência ao

fator de expansão das massas. A modelagem matemática obtida foi:  $VEF = 3,03 + 0,30 (T) - 0,004 (T)^2$ . Onde T = Temperatura de Fermentação e V = Injeção de Vapor.

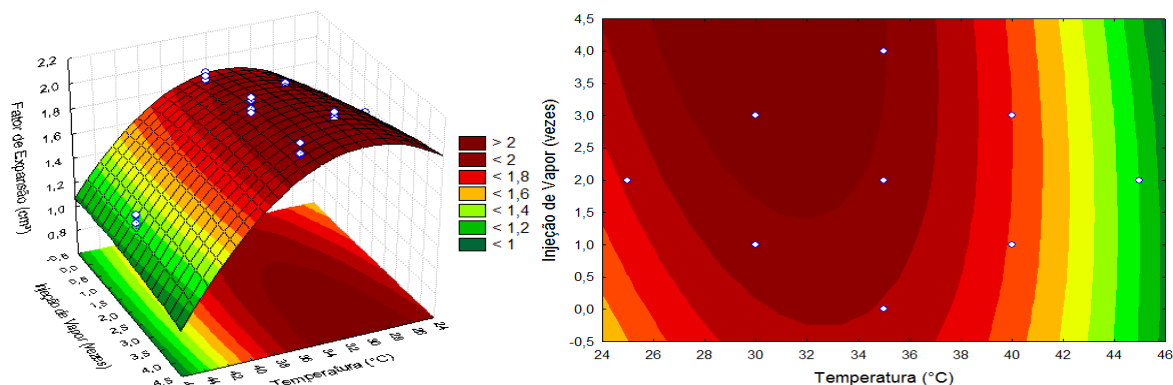


Figura 2 - Superfície de resposta, curva de contorno da ação da temperatura e injeção de vapor no fator de expansão máximo das massas

O fator de expansão teve sua região de otimização com valores superiores a 2,00 cm<sup>3</sup>, compreendendo entre 2 a 4 injeções de vapor em intervalo de temperatura de 28 a 35 °C. Para temperaturas acima de 40 °C, os fatores de expansão foram inferiores a 1,60 cm<sup>3</sup>. O fator de expansão máximo das massas 1,36 cm<sup>3</sup> para o ensaio 6 a 2,05 cm<sup>3</sup> para os ensaios correspondentes aos pontos centrais, 9 a 11.

A figura 3 fornece a superfície de resposta e curva de contorno da ação da temperatura e injeção de vapor no volume específico dos pães.

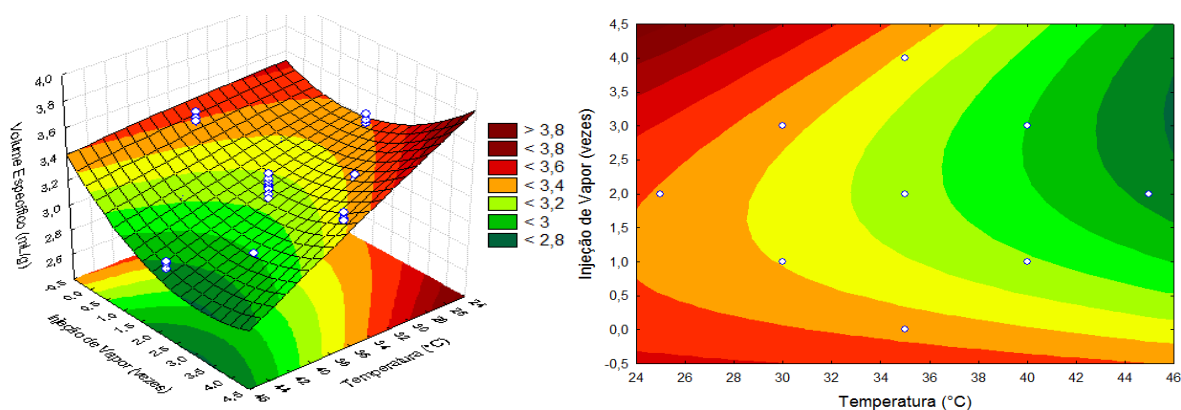


Figura 3 – Superfície de resposta, curva de contorno da temperatura e injeção de vapor sobre o volume específico dos pães

O volume específico foi superior a 3,80 mL/g para as condições de 24 a 27 °C, com 4 injeções de vapor. Com o aumento da temperatura, houve redução no volume específico dos pães para valores de até 3,20 mL/g até 36 °C, com duas injeções de vapores. A região de mínimo, foi obtida para temperaturas acima de 44 °C, com volume específico inferior a 2,80 mL/g. O volume específico variou de 2,91 mL/g para o ensaio 6 a 3,45 para o ensaio 7, nas condições de 35 °C sem a injeção de vapor. A análise de variância apresentou significância ( $p \leq 0,05$ ), obteve coeficiente de determinação de 0,70286. A análise de regressão indicou que

apenas o fator linear da temperatura ( $F_{\text{calc}} = 62,02$ ) e o fator quadrático da injeção de vapor ( $F_{\text{calc}} = 12,20$ ) foram significativos.

O modelo matemático gerado a partir dos coeficientes de regressão foi: Volume Específico =  $3,57 - 0,001 (T) + 0,07 (V)^2$ .

A figura 4 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno da ação da temperatura e injeção de vapor sobre a densidade dos pães tipo forma.

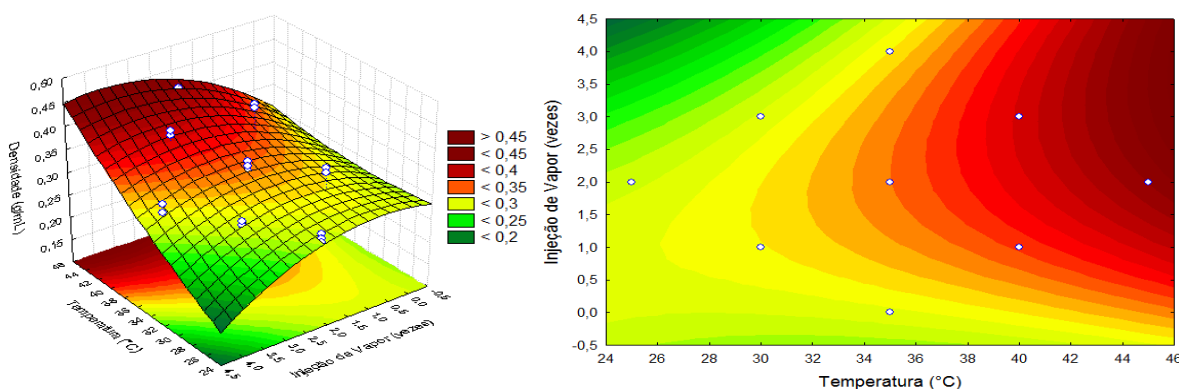


Figura 4 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação do açaí em pó e quitosana sobre a densidade dos pães

Os menores valores de densidade foram observados nas condições de 3 a 4 injeções de vapores e temperaturas entre 24 °C e 30 °C, para valores de densidade inferiores a 0,30 g/mL, com o aumento da temperatura, observou-se o aumento da densidade, nas condições de temperatura acima 40 °C os valores apresentados foram acima de 0,40 g/mL. Segundo Esteller e Lannes (2005), pães que possuam alta densidade ou baixo volume específico fornecem características desagradáveis para o consumidor. Os valores de densidade foram obtidos entre 0,27 g/mL, para o ensaio 7 a 0,40 g/mL para o ensaio 6. A análise de variância apresentou um coeficiente de determinação de 0,7205; através da análise de regressão verificou-se que a injeção de vapor ( $F_{\text{calc}} = 6,407$ ), no seu modelo quadrático, foi significativo, reduzindo a densidade dos pães e a temperatura, em seu modelo linear, obteve  $F_{\text{calc}}$  de 55,56, teve efeito positivo, ou seja, elevou a densidade dos pães. O modelo matemático proposto é:  $D = 0,40 + 0,008 (T) - 0,008 (V)^2$

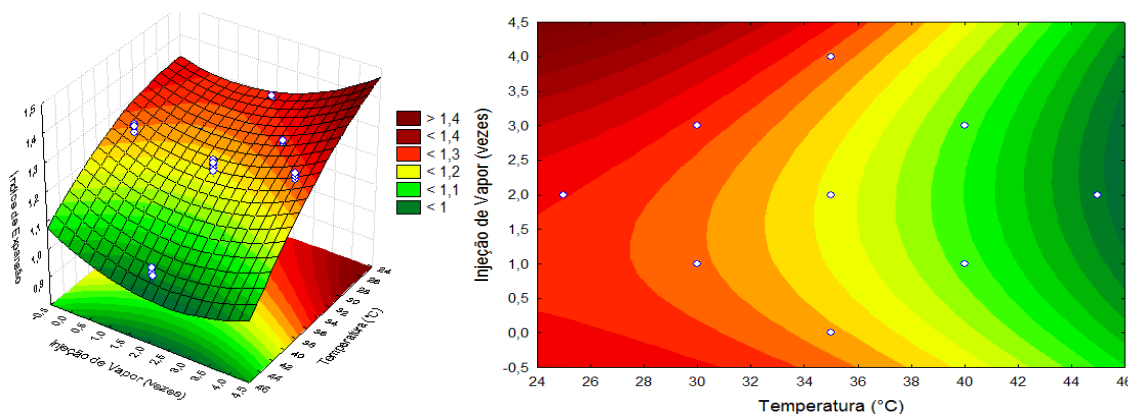


Figura 6 - Superfície de resposta e curva de contorno da ação da temperatura e injeção de vapor sobre o índice de expansão dos pães



A figura 5 fornece a superfície de resposta e curva de contorno da ação da temperatura e da injeção de vapor sobre o índice de expansão dos pães.

O índice de expansão foi superior a 1,20 para temperaturas entre 24 °C e 33 °C e entre 0 e 4 injeções de vapor. A zona de mínimo para este parâmetro físico foi obtida com temperaturas acima de 40 °C. Zambelli (2014) verificou redução nos índices de expansão de pães tipo forma quanto maior foi a incorporação dos ingredientes funcionais açaí, brócolis e tomate em pó. O índice de expansão dos pães variou de 1,03 para os ensaios 6 e 2 a 1,29 para o ensaio 8, nas condições de 35 °C e 4 injeções de vapores. A análise de regressão indicou que o modelo linear da temperatura ( $F_{\text{calc}} = 83,04$ ) influenciou de modo positivo o índice de expansão, já a injeção de vapor, teve influencia no seu modelo quadrático, com  $F_{\text{calc}}$  de 4,54; possuindo efeito positivo. A modelagem matemática proposta para o índice de expansão é:  $IE = 1,05 + 0,022 (T) + 0,014 (V)^2$

A figura 6 apresenta a superfície de resposta e curva de contorno da ação da temperatura e injeção de vapor sobre o número de alvéolos dos pães tipo forma.

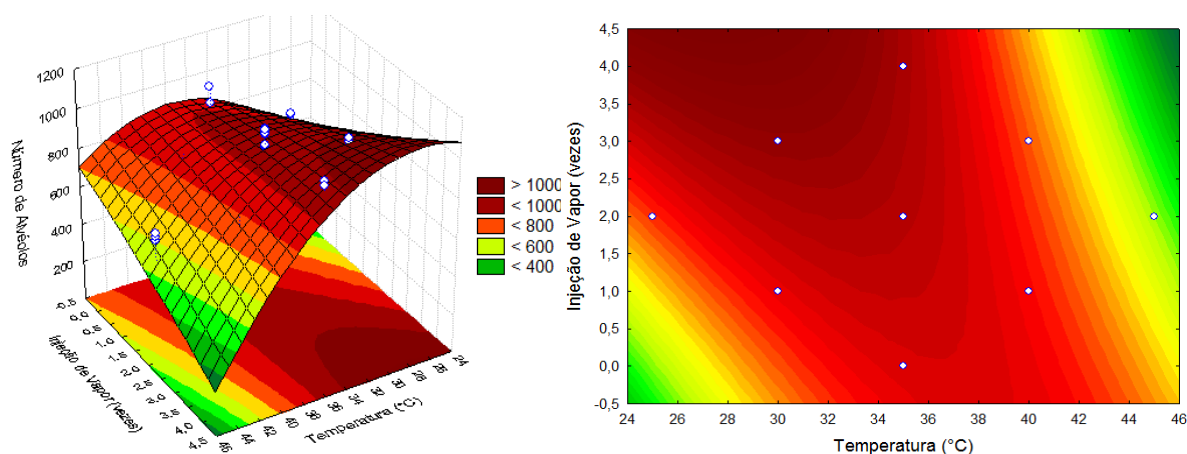


Figura 6 - Superfície de resposta, curva de contorno e modelo matemático da ação do açaí em pó e quitosana sobre o índice de expansão dos pães

De acordo com Scanlon e Zghal (2001), do ponto de vista estrutural, o miolo de pão é um material poroso que consiste em células de gás, é o que contribui para a resistência mecânica do pão e sua arquitetura estrutural do miolo. As paredes celulares do miolo são constituídas de amido parcialmente gelatinizado em uma matriz à base de proteínas do glúten, a formação desta estrutura é dependente da temperatura de fermentação.

O número de alvéolos foi superior a 1.000 nas condições de 3 a 4 injeções de vapor e temperaturas de 24 °C a 34 °C. A densidade da estrutura do miolo aumentou com a elevação da temperatura, com quantidade inferior a 600, observou-se que as temperaturas superiores a 40 °C prejudicou a fermentação da massa, produzindo miolos com menor quantidade de alvéolos, de qualidade inferior. Verificou-se que o número de alvéolos variou de 1.012 para o ensaio 3 a 652 para o ensaio 6. A análise de variância apresentou coeficiente de determinação de 0,7394; a análise de regressão indicou que houve influência significativa da temperatura, em ambos os modelos, da injeção de vapor, no modelo linear e da interação entre as duas variáveis, cujo  $F_{\text{calc}}$  foi de 5,23. O modelo matemático proposto para o número de alvéolos é:  $N = 843 + 191,11 (T) - 2,61 (T)^2 + 398,57 (V) - 10,370 (TxV)$

#### 4.0 CONCLUSÃO

Observou-se que a injeção de vapor teve efeito significativo sobre as características físicas dos pães tipo forma, as elevando, portanto, sendo benéfico à qualidade dos pães. A condição otimizada para a temperatura foi observada no intervalo entre 24 °C e 30 °C, apresentou aumento nas propriedades físicas dos pães tipo forma.

#### 5.0 REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – A. A. C. C. *Approved methods of American Association of Cereal Chemists*. 9 ed. St. Paul: 1995.

BADJ, F.; SERSA, I. Continuous monitoring of dough fermentation and bread baking by magnetic resonance microscopy. *Magnet. Reson. Imag.*, v. 29, p. 434-442, 2011.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. *Tecnologia da Panificação*. Barueri, São Paulo: Ed. Manole, 2009. 418 p.

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.

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. *J. Food Eng.*, n.105, p. 361–366, 2011.

GONZALES-BARRÓN, U.; BUTLER, F. A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. *J. Food. Eng.*, v. 74, n. 2, p. 268-278, 2006.

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 Biop. Technol.*, v. 1, n. 2, p. 2008.

SCANLON, M. G.; ZHIGAL, M. C. Bread properties and crumb structure. *Food. Res. Intern.*, v. 34, p. 841-864, 2001.

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. *Alim. Nutr.*, v. 14, n. 1, p. 69-75, 2003.

ZAMBELLI, R. A. *Desenvolvimento de massas congeladas de pães tipo forma contendo ingredientes funcionais*. 205 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.