

**Universidade Federal de Pelotas**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**



**DISSERTAÇÃO**

**Características tecnológicas de pão tipo forma elaborado  
com farinha mista de trigo e farelo de arroz desengordurado  
com transglutaminase**

**Matheus Francisco da Paz**

**Pelotas, 2013**

**Matheus Francisco da Paz**

**Características tecnológicas de pão de forma elaborado com farinha mista de trigo e de farelo de arroz desengordurado com transglutaminase**

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

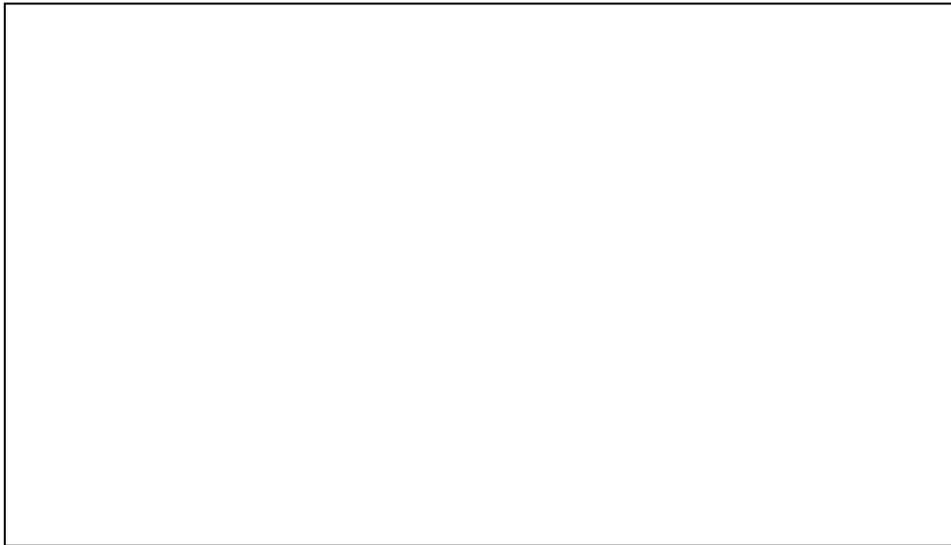
Orientação: Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa

Co-Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Pelotas, 2013

**Dados de catalogação na fonte:**

( )

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for entering cataloging data. It is positioned centrally below the text '( )'.

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa

Prof. Dr. Fabrizio Barbosa

Prof. PhD Manoel Schirmer

Prof. Dr. Valdecir Ferri

*Aos meus pais, João e Luciana, meu porto seguro, dedico.*

## ***Agradecimentos***

À minha família de quem tive muito apoio. Ao meu pai, João, que sempre segurou as pontas de todos os lados para que eu não desmoronasse. A minha mãe, Luciana, que me mostrou a importância dos laços e a importância de cultivá-los, tenho orgulho de vocês.

Ao meu orientador Prof. Érico, pelos ensinamentos diários, pela disposição de tempo e interesse, com palavras motivadoras e de empolgação ímpar, soube mostrar que a tecnologia e a ciência devem se abrir pra diversas possibilidades, e que não estamos aqui para assistir Lessie na sessão da tarde, mas sim para produzir conhecimento de qualidade. A prof. Luciara que sempre esteve disposta a solucionar dúvidas, sempre com contribuições significativas, paciência e bom humor.

Ao “povo” do NEPERS – Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade, vocês estiveram do meu lado nesse processo inteiro, e me acompanharam em cada trampo e barranco que eu viesse a passar, só resta o meu muito obrigado a todos os integrantes.

Aos professores Moacir, Alvaro e Manoel pelas contribuições valiosas e por propiciar o desenvolvimento deste projeto junto ao LabGrãos. Também gostaria de agradecer a todos do LabGrãos que me auxiliaram nas análises e nos conselhos pessoais e acadêmicos, juntamente com o secretário André, que sempre foi muito prestativo e paciente, obrigado.

A todos os meus professores, desde o ensino fundamental até o mestrado, que propiciaram o conhecimento necessário para chegar a essa etapa.

E por fim e não menos importante, a todos os meus amigos, dos quais não pretendo citar nomes e que, de uma forma geral, contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico, e que no meio ao caos e a bagunça que minha cabeça confusa propiciavam de tempos em tempos, tinham paciência em me organizar e me realinhar de volta, sem desistir. A vocês meu agradecimento profundo e sincero.

*“A necessidade é a mãe da invenção”*

*Platão*

## Resumo

Paz, Matheus Francisco da. **Características tecnológicas de pão tipo forma elaborado com farinha mista de trigo e de farelo de arroz desengordurado com transglutaminase.** 2013. 81f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O uso do farelo de arroz desengordurado na alimentação humana pode acarretar em diversos benefícios, tanto para a indústria de arroz e indústrias de extração de óleo, onde há valorização de um subproduto, bem como na questão nutricional, pelo aporte de quantidades significativas de carboidratos, proteínas, fibras e minerais; e ainda, na questão ambiental, pois sua utilização contribui para a sustentabilidade do setor. Considerando que o pão é um dos alimentos base da dieta de vários países e amplamente consumido no Brasil, a inclusão do farelo de arroz desengordurado na formulação de pães pode ser uma alternativa viável de inserção desse subproduto na alimentação humana. No entanto, a adição desse componente em produtos desse tipo pode causar alterações tecnológicas indesejáveis, como diminuição no volume, alteração da textura e coloração, entre outros. Nesse sentido, pode-se fazer uso de melhoradores tecnológicos como a enzima transglutaminase, que é capaz de promover ligações intermoleculares entre proteínas, promovendo redes auxiliares de retenção dos gases produzidos pela levedura na fermentação. No contexto apresentado, este trabalho objetivou avaliar as características tecnológicas de pães com diferentes substituições de farinha de trigo e farelo de arroz desengordurado. Para a atingir esse objetivo, testou-se diferentes substituições da farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado (5, 10 e 15%) e diferentes quantidades de transglutaminase adicionadas (0,5, 1,0 e 1,5%). Identificou-se que a substituição com 5% não alterava características essenciais como volume específico e diversos atributos de textura, logo, o uso da enzima nessa concentração tornava-se desnecessária. Pode-se observar também que a inclusão da transglutaminase afeta significativamente as características tecnológicas do produto, no entanto, sua adição se mostrou pouco representativa em alguns casos ou até acentuando problemas promovidos pela inserção do farelo de arroz desengordurado nas formulações. Observou-se também que houve uma alteração global na textura e coloração dos pães, tanto da casca quanto do miolo. No entanto, cabe salientar que uma maior inserção da enzima demonstrou que afeta a reação de Maillard ocorrida na casca, com valores superiores de luminosidade conforme há um aumento da enzima presente. A adição de transglutaminase também afetou parâmetros de textura, principalmente a dureza dos pães analisados, onde uma maior concentração da enzima contribuiu para valores de dureza superiores. Portanto, o uso da enzima torna-se dispensável na melhoria de produtos de panificação com farinha mista de trigo e farelo de arroz desengordurado.

**Palavras-chave:** melhorador tecnológico, panificação, enzima, sustentabilidade.

## Abstract

Paz, Matheus Francisco da. **Technological characteristics of bread making by mixed wheat-defatted rice bran flour with addition of transglutaminase**. 2013. 81f. Dissertation (Masters Degree) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas.

The use of defatted rice bran for human consumption can result in many benefits for both the rice industry and oil extraction industries where there is a by-product recovery, as well as nutritional issue, the nutritional intake, with significant amounts of carbohydrates, protein, fiber and minerals, and also the environmental issue, since their use contributes to the sustainability of the sector. Whereas the bread is a food staple in the diet of many countries and widely consumed in Brazil, the inclusion of defatted rice bran in the formulation of breads can be a viable alternative insertion of this product for human consumption. However, the addition of this component in products of this type can cause undesirable changes in technology, such as decrease in volume, change in texture and color, among others. Accordingly, if technology makes use of improvers such as transglutaminase enzyme which is capable of promoting intermolecular bonds between proteins, promoting retention aids networks of the gases produced by yeast during fermentation. In the context presented, this study aimed to evaluate the technological characteristics of breads with different substitutions flour and defatted rice bran. To achieve this goal, we tested different substitutions for wheat flour defatted rice bran (5, 10 and 15%) and different amounts of added transglutaminase (0.5, 1.0 and 1.5%). It was found that substitution with 5% did not alter the essential characteristics such as specific volume and texture of various attributes, so that the use of the enzyme concentration became unnecessary. It may also be noted that the inclusion of transglutaminase significantly affect the technological characteristics of the product, however, its addition showed little representative or even in some cases accentuating problems promoted by insertion of defatted rice bran in the formulations. It was also observed that there was a change in the overall texture and color of the bread, both the shell as the core. However, it should be noted that a greater insertion of the enzyme showed that affects the Maillard reaction occurring in the skin, with higher values of lightness as there is an increase of enzyme present. The addition of transglutaminase also affected texture parameters, especially the hardness of the breads analyzed, where a higher enzyme concentration contributed to higher hardness values. Therefore, the use of the enzyme becomes unnecessary in improved bakery products mixed with wheat flour and defatted rice bran.

**Keywords:** technological improver, bakery, enzyme sustainability.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Estrutura do grão de arroz.....	20
<b>Figura 2:</b> Produção anual de arroz no Brasil (anos de 2005 à 2011).....	21
<b>Figura 3:</b> Capacidade de absorção de água das farinhas analisadas.....	43
<b>Figura 4:</b> Perda de peso ao assar dos pães analisados.....	46
<b>Figura 5:</b> Volume específico (em cm <sup>3</sup> /g) dos pães analisados no experimento.....	48
<b>Figura 6:</b> Parâmetro luminosidade (L) para casca dos pães analisados....	51
<b>Figura 7:</b> Parâmetro “a” para a casca dos pães analisados.....	51
<b>Figura 8:</b> Parâmetro “b” para casca dos pães analisados.....	52
<b>Figura 9:</b> Parâmetro “a” para miolo dos pães analisados.....	55
<b>Figura 10:</b> Parâmetro “b” para miolo dos pães analisados.....	56
<b>Figura 11:</b> Parâmetro luminosidade para miolo dos pães analisados.....	56
<b>Figura 12:</b> Dureza dos pães analisados.....	58
<b>Figura 13:</b> Elasticidade dos pães analisados.....	60
<b>Figura 14:</b> Coesividade dos pães analisados.....	62
<b>Figura 15:</b> Gomosidade dos pães analisados.....	64
<b>Figura 16:</b> Mastigabilidade dos pães analisados.....	66
<b>Figura 17:</b> Flexibilidade dos pães analisados.....	68
<b>Figura 18:</b> Comparação visual entre pão padrão e pães controle.....	69
<b>Figura 19:</b> Relação visual entre pão padrão e pães com substituição de 10% de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado com presença de enzima em diferentes concentrações.....	70
<b>Figura 20:</b> Relação visual entre pão padrão e pães com substituição de 15% de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado com presença de enzima em diferentes concentrações.....	71
<b>Figura 21:</b> Relação visual entre pães com diferentes concentrações de farelo de arroz desengordurado e diferentes concentrações de TGase adicionada.....	72

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Delineamento experimental.....	33
<b>Tabela 2:</b> Formulações dos pães utilizadas no experimento.....	37
<b>Tabela 3:</b> Percentual de mofados e ardidados, gessados, picados e manchados, rajados e amarelos presentes na amostra de arroz utilizada no experimento.....	41
<b>Tabela 4:</b> Composição centesimal do farelo de arroz desengordurado....	42
<b>Tabela 5:</b> Capacidade de absorção de água das farinhas analisadas.....	43
<b>Tabela 6:</b> Perda de peso ao assar dos pães analisados.....	46
<b>Tabela 7:</b> Volume específico dos pães analisados.....	47
<b>Tabela 8:</b> Coloração da casca dos pães analisados.....	50
<b>Tabela 9:</b> Coloração do miolo dos pães analisados.....	54
<b>Tabela 10:</b> Resultado de dureza dos miolos analisados.....	56
<b>Tabela 11:</b> Elasticidade dos pães analisados.....	56
<b>Tabela 12:</b> Coesividade dos pães analisados.....	61
<b>Tabela 13:</b> Gomosidade dos pães analisados.....	63
<b>Tabela 14 :</b> Mastigabilidade dos pães analisados.....	65
<b>Tabela 15:</b> Resultados de flexibilidade dos pães analisados.....	67

## **Lista de abreviaturas e siglas**

FAD	Farelo de arroz desegordurado
FT	Farinha de trigo
CAA	Capacidade de absorção de água
TGase	Transglutaminase
PNAN	Plano nacional de alimentação e nutrição
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Santária

## Sumário

1 Introdução.....	15
1.1 Hipoteses.....	17
1.2 Objetivos gerais.....	17
1.3 Objetivos específicos.....	17
1.4 Metas.....	18
2 Revisão da Literatura.....	19
2.1 Arroz.....	19
2.2 Trigo.....	21
2.3 Segurança alimentar e a sustentabilidade na indústria de arroz.....	23
2.4 Farelo de arroz desengordurado.....	24
2.5 Pão.....	26
2.5.1 Ingredientes na panificação.....	26
2.5.1.1 Farinha.....	26
2.5.1.2 Água.....	27
2.5.1.3 Sal.....	27
2.5.1.4 Açúcares.....	28
2.5.1.5 Leveduras.....	29
2.5.1.6 Gordura.....	29
2.6 Uso da farinhas mistas e de melhoradores tecnológicos.....	29
2.6.1 Uso da transglutaminase.....	30
3 Material e Métodos.....	32
3.1 Materiais.....	32
3.2 Métodos.....	32
3.2.1 Delineamento experimental.....	32
3.2.2 Classificação do arroz.....	33
3.2.3 Obtenção do farelo de arroz desengordurado.....	34
3.2.4 Composição centesimal do farelo de arroz desengordurado.....	34
3.2.5 Capacidade de absorção de água.....	34
3.2.6 Elaboração dos pães.....	35
3.2.7 Avaliação dos pães.....	38
3.2.7.1 Perda de peso ao assar.....	38
3.2.7.2 Volume específico.....	38

3.2.7.3 Coloração da casca e miolo.....	38
3.2.7.4 Textura.....	39
3.2.7.5 Captação e avaliação das imagens dos pães.....	39
3.3 Estatística.....	39
4 Resultados e discussão.....	41
4.1 Classificação do arroz.....	41
4.2 Composição centesimal do farelo de arroz desengordurado.....	42
4.3 Capacidade de absorção de água.....	42
4.4 Avaliação dos pães.....	45
4.4.1 Perda de peso ao assar.....	45
4.4.2 Volume específico.....	47
4.4.3 Coloração da casca.....	50
4.4.4 Coloração do miolo.....	53
4.4.5 Perfil de textura.....	57
4.4.5.1 Dureza.....	57
4.4.5.2 Elasticidade.....	59
4.4.5.3 Coesividade.....	60
4.4.5.4 Gomosidade.....	62
4.4.5.5 Mastigabilidade.....	64
4.4.5.6 Flexibilidade.....	66
4.4.6 Avaliação das imagens.....	68
5 Conclusões.....	74
6 Referências.....	76

## 1 INTRODUÇÃO

Uma grande população associada a um grande crescimento populacional e quantidade finita de terra trás à tona questões importantes de sustentabilidade na produção de alimentos.

O arroz é um dos principais alimentos mundiais, e que possuem um aporte energético significativo, podendo contribuir para a nutrição mundial, em um futuro onde a alimentação humana é um desafio importante para o desenvolvimento sustentável, exigindo novas metas dos setores econômico, social e ambiental.

O beneficiamento e a comercialização é de importância econômica para o mundo e para o Brasil, em especial para o Rio Grande do Sul, que gera uma grande quantidade de empregos e desenvolvimento social para o estado. No que tange a sustentabilidade do processo, surge a necessidade de listar os principais resíduos gerados nesse processamento, com o objetivo de encontrar soluções que os identifiquem, minimizem e os tratem com o menor impacto ambiental possível (PAZ et al. 2012).

Os principais resíduos gerados no beneficiamento de arroz são o farelo e a casca de arroz. O farelo pode apresentar-se em seu caráter integral ou até mesmo desengordurado, resultado final da extração de óleo. O problema do farelo de arroz branco, resultante do polimento do arroz branco, é a considerável carga de enzimas que podem degradar os lipídeos presentes, que, além de acidificar o resíduo, acaba por tornar-se inutilizado para a indústria de óleos (PESTANA et al. 2005).

O farelo de arroz desengordurado (FAD) é obtido através de extração por solvente do farelo de arroz integral sem ataque enzimático, e é recolhido em “pellets” extrusados e destinado a alimentação animal. Por possuir um potencial alimentício, pode ser adicionado a formulação de produtos panificáveis, misturas, entre outros, diminuindo assim um nível trófico.

Tendo em vista a almejada sustentabilidade da cadeia orizícola, a remoção de um nível trófico intermediário, pode favorecer a longevidade do sistema, principalmente quando atentamos para o atual desafio de alimentar mais de sete bilhões de pessoas em um planeta que possui recursos limitados (ODUM, 2004; GODFRAY et al. 2010).

Neste contexto, faz-se necessário a busca de alternativas que possam direcionar o farelo de arroz diretamente para a alimentação humana, eliminando o “atravessador biológico” com o intuito tanto do maior aproveitamento do valor nutricional deste subproduto, uma maior valorização do ponto de vista econômico, ao destinar o produto para a alimentação humana, bem como a melhor conservação da energia no sistema, o que possibilita uma redução no impacto ambiental desta importante atividade ao aperfeiçoar o uso dos recursos naturais tanto utilizado, como por ela produzidos.

De acordo com Fisberg et al. (2008), o pão é um dos principais alimentos responsáveis pelo aporte energético da população brasileira, juntamente com arroz, feijão e carnes. Como o pão é um produto de grande consumo e importância econômica, a inserção de diferentes ingredientes tem sido bastante estudada por parte da comunidade científica (WANG, 2002). No entanto, muitas vezes a adição de componentes com quantidade elevadas de fibras tende a afetar significativamente a qualidade tecnológica do produto final.

Um estudo realizado por Sairam, Krishna e Urooj (2011) sobre a adição de FAD na panificação em diferentes níveis, mostrou que conforme a concentração de farelo se tornava mais pronunciada, menor era o volume obtido e maior influência na coloração era apresentada. Mediante isto, alguns trabalhos relatam o uso de melhoradores para atender a qualidade final desejada (SCIARINI et al. 2010).

Dentre os melhoradores existentes, a enzima transglutaminase apresenta papel importante na melhora na rede de glúten (DAMODARAN et al., 2010) e também na criação de novas redes de proteínas. Através de reações de transferência entre o grupo amino de resíduos lisil e o grupo amino de resíduos de glutamina, a TGase promove um aumento do peso molecular das proteínas resultantes, formando uma ampla rede dentro da matriz alimentar (MACEDO & SATO, 2005).

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou avaliar as características tecnológicas de pães produzidos com inserção de diferentes quantidades de enzima transglutaminase em farinhas mistas de trigo e farelo de arroz desengordurado.

## **1.1 Hipóteses**

1.1.1 A enzima transglutaminase adicionada a farinhas mistas de trigo e farelo de arroz desengordurado melhora as características tecnológicas como volume específico, perda de peso ao assar, formação de poros na fermentação e perfil de textura dos pães.

1.1.2 A adição de transglutaminase afeta a cor dos pães com farinha mista de farinha e farelo de arroz desengordurado, pois evita produção de melanoidinas na Reação de Maillard.

## **1.2 Objetivos gerais**

1.2.1 Valorização de um coproduto da indústria de arroz

1.2.2 Contribuir para a sustentabilidade do setor orizícola

## **1.3 Objetivos específicos**

1.3.1 Elucidar o comportamento da enzima transglutaminase na melhoria tecnológica dos pães analisados

1.3.2 Avaliar a interação entre o nível de substituição de farelo de arroz desengordurado e a quantidade de enzima adicionada nas características dos pães analisados.

1.3.3 Avaliar a influência da transglutaminase e do farelo de arroz desengordurado nas características de coloração da casca e miolo, relacionando seu uso ao desaparecimento de cor pela imobilização de lisina presente.

1.3.4 Avaliar a substituição de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado na qualidade tecnológica de produtos de panificação

## **1.4 Metas**

1.4.1 Elaborar pães com boas características tecnológicas aceitáveis utilizando farinhas mistas de de trigo e farelo de arroz desengordurado, fazendo uso da enzima transglutaminase como potencial melhorador destas características.

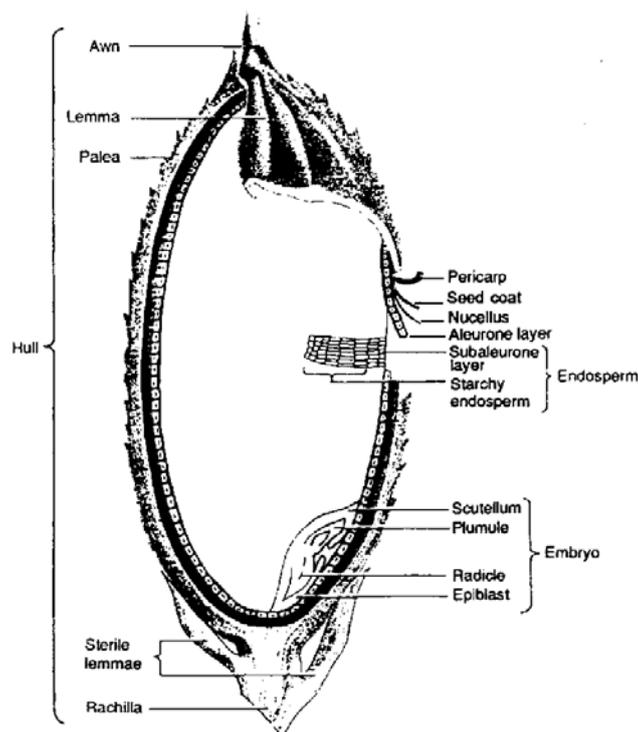
1.4.2 Contribuir com a sustentabilidade agroindustrial por aproveitar um sub-produto, destinado a alimentação animal, otimizando sua utilização diretamente na nutrição humana.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Arroz

O conhecimento da cultura de arroz (*Oryza Sativa L.*) data de aproximadamente 10.000 anos e sua origem é atribuída ao sudeste asiático (ROSELL et al. 2007). O arroz representa o *commoditie* mais produzido no mundo, ultrapassando 696 milhões de toneladas em 2010 (FAO, 2012) e cada vez mais este grão ocupa destaque econômico, social e no combate da desnutrição, fator de grande relevância ao levar-se em consideração que em um contexto otimista, no ano 2050, nosso planeta alcançará a marca de aproximadamente nove bilhões de pessoas, e precisará de 100% mais alimento em relação ao que é produzido atualmente (GODFRAY et al. 2010; HELBIG, 2010).

Considerando o cenário brasileiro, a produção de arroz, segundo o CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) em 2012 foi de 11,63 milhões de toneladas (CONAB, 2012), e, conseqüentemente, uma média de 2,20 milhões de toneladas de casca e 1,16 milhões de toneladas de farelo. O grão de arroz, como mostra a figura 1, possui uma casca fibrosa, que quando removida, encontra-se a cariopse. A cariopse é formada pelo pelicarpo, juntamente com a remoção do gérmen, constituem o farelo de arroz integral, representando de 8,5 à 14% do peso do grão integral.



**Figura 1:** Estrutura do grão de arroz

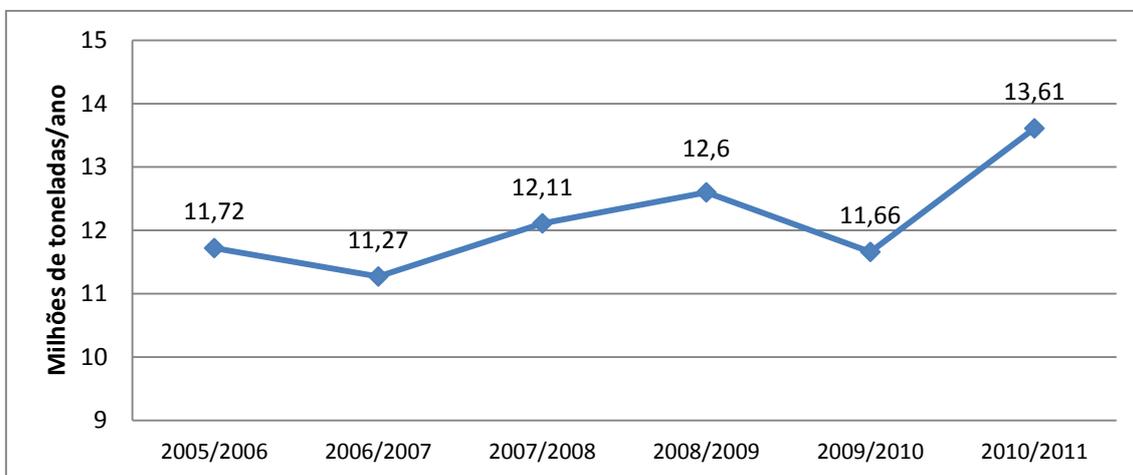
Fonte: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2011).

Com produção média anual de 605,6 milhões de toneladas, é caracterizado como o principal alimento para mais da metade da população mundial. O amido, principal constituinte da reserva energética da planta, no arroz ocupa 50-65% de seu peso no grão. Após o beneficiamento, o arroz branco polido contém 87,58% de amido, sendo então caracterizado como o principal carboidrato existente no grão, compreendendo grande potencial para o combate da desnutrição em países em desenvolvimento (HELBIG, 2010).

Vale salientar que o arroz ainda possui quantidades significativas de proteínas e fibras (estas em maior proporção em arroz integral). Também possui substâncias bioativas como compostos fenólicos, dentre eles o *γ*-orizanol, que possui potencial anti-oxidante, e, por conseguinte, ação anti-carcinogênica, antimutagênica e anti-inflamatória (PESTANA et al. 2008).

Assim, devido a importância do arroz na dieta de parte da população, há necessidade que seu processamento ocorra de forma mais sustentável ambientalmente através de tecnologias mais limpas com o objetivo de minimizar e tratar os resíduos gerados (PAZ, et al. 2012).

A produção brasileira de arroz vem-se mantendo relativamente estável, e para 2011, foi de 13,61 milhões de toneladas, 16% superior ao ano anterior, como mostra a Fig. 2.



**Figura 2:** Produção anual de arroz no Brasil (anos de 2005 à 2011).

Fonte: CONAB (2011).

O estado do Rio Grande do Sul se destaca em sua produção com 1.171,6 milhões de hectares plantados, possuindo uma produção de 8,904 milhões de toneladas, correspondendo a 65,42% da produção nacional em 2011 (CONAB, 2011). O estado de Santa Catarina ocupa o segundo lugar com 996,4 mil toneladas, correspondendo a 7,30%, Mato Grosso com 795,9 mil toneladas, com 5,85% do percentual e Maranhão com 724,6, (5,32%), cujo valores percentuais em relação ao montante brasileiro.

A grande produção e consumo de alimentos gera proporcionalmente uma maior quantidade de resíduos, aos quais, sem o devido tratamento ao serem depositados no meio ambiente, podem acarretar em um impacto ambiental acentuado. Em específico, a produção de arroz gera um resíduo (a casca), e um sub-produto (o farelo).

## 2.2 Trigo

Na panificação, o trigo é mais comumente utilizado por dar origem à farinhas com habilidades únicas de formar uma massa coesa e tenaz, capaz de reter gases e dar origem a produtos leves e aerados após o processo de

coção (PALLARÉS et al. 2007). Essa propriedade dá-se pela capacidade da formação do glúten, uma mistura heterogênea de proteínas, principalmente de gliadinas e gluteninas, que em presença de água forma uma espécie de rede que retém os gases produzidos pelas leveduras no processo de fermentação dos produtos de panificação (DAMODARAN et al. 2010; ORDÓÑEZ, 2005; PALLARÉS et al. 2007).

Um dos aspectos a serem levados em consideração em relação ao trigo corresponde à sua situação como produto nacional. Visto que o país não é auto-suficiente nesta comódite, este fato impacta negativamente a balança comercial brasileira com a importação acentuada, principalmente da Argentina. Deste modo, percebe-se um ponto importante na fragilidade da cultura tritícola brasileira, somada à baixa qualidade tecnológica para os moinhos, e conseqüentemente, comercialização desta farinha para a indústria de massas, que exige um trigo que raramente a cultura brasileira poderá disponibilizar (BRUM & MULLER, 2008).

Embora algumas alternativas como a produção vinculada diretamente à agroindústria tenham motivado o setor e o tornado mais competitivo, a importação ainda corresponde à maior parcela de trigo utilizado no Brasil (BRUM & MULLER, 2008).

### **2.3 Segurança alimentar e a sustentabilidade na indústria de beneficiamento de arroz**

Uma quantidade finita de terra, associada a uma população mundial crescente aumenta o desafio para atingirmos o almejado desenvolvimento sustentável (CORRÊA et al. 2012). Competitividade por terra, água, energia e, conseqüentemente de alimentos são o cenário atual, onde 1 a cada 7 pessoas não tem acesso à quantidade mínima energética estipulada pela FAO (Food Agriculture Organization), o que remete ao tema segurança alimentar (GODFRAY et al. 2010).

O termo segurança alimentar foi descrito pela FAO como o estado em que todos os povos em qualquer momento, têm acesso físico ou econômico a alimentos, de modo a suprir sua necessidade dietética para obter uma vida ativa e saudável (FAO, 1996).

Nesse sentido, alguns autores incluem não somente estes requisitos, mas também a disponibilidade, estabilidade e utilização destes alimentos (SCHMIDHUBER & TUBIELLO, 2007), ou até mesmo, como descrito pelo Plano Nacional de Alimentação e Nutrição (PNAN) instituído em 2011, o termo segurança alimentar pode abranger também práticas alimentares promotoras de saúde que respeitem a diversidade cultural e que sejam ambientais, culturais, econômicas e socialmente sustentáveis (BRASIL, 2011). SCHMIDHUBER & TUBIELLO (2007) ainda salientam que não basta o alimento estar “disponível”, mas as pessoas devem possuir recursos monetários e não monetários que possibilite o acesso a quantias adequadas de alimentos.

A estabilidade social e econômica tem forte influência no preço dos alimentos (GODFRAY, et al. 2010). Um dos atenuantes na aquisição destes é o fornecimento de energia para seu transporte e produção, principalmente com o uso do petróleo, este que ao longo do tempo tem se tornado cada vez mais dispendioso.

O aumento da área destinada ao cultivo não deve ser a primeira alternativa escolhida, mas sim a produção deve ser maximizada, otimizando os diversos recursos técnico-científicos para contribuir com a questão da segurança alimentar (GODFRAY et al. 2010).

Barreiras entre a tecnologia e a produção podem acentuar o problema da segurança alimentar. Fatores como alterações climáticas, baixo desenvolvimento socioeconômico, e falta de investimentos em transporte e infra-estrutura, têm reflexos no aumento da insegurança alimentar (SCHMIDHUBER & TUBIELLO, 2007).

É nesse contexto que faz-se necessário o surgimento de novas tecnologias que viabilizem a questão da segurança alimentar. Uma alternativa promissora é a substituição de produtos dependentes de importação por alimentos de fácil cultivo nos locais, como o caso do arroz no Rio Grande do Sul.

Em vista da grande relevância econômica e nutricional que o arroz provém, é importante que indústrias beneficiadoras apliquem conceitos de pró meio-ambiente em suas atividades, reunindo fatores como prosperidade econômica, equidade social e integridade ambiental, de modo que a

preservação dos recursos naturais é fator de especial atenção quando o assunto é sustentabilidade (PAZ et al., 2012).

#### **2.4 Farelo de arroz desengordurado**

Nas indústrias de beneficiamento, o farelo de arroz é o subproduto majoritário obtido do processo de polimento do grão e, na maioria dos casos, não se encontra misturado à casca (WIBBONSIRIKUL, et al., 2007). De uma forma básica, a casca de arroz representada pela parte mais externa do grão, possui uma grande quantidade de fibras insolúveis e seu peso em relação ao grão corresponde a média de 19% (LUDUEÑA et al., 2011); por outro lado, o farelo representa aproximadamente 10% do peso do grão (TAKANA et al., 2006), e possui um teor de matéria graxa superior a 21% (LACERDA et al., 2010). Este subproduto é largamente utilizado por parte das indústrias produtoras de óleo de arroz, que após a sua extração, gera um subproduto secundário denominado farelo de arroz desengordurado (FAD) (PESTANA et al., 2008).

O FAD ainda mantém considerável concentração de nutrientes, com quantidades significativas de proteínas, fibras, carboidratos, vitaminas, minerais e importantes compostos antioxidantes (SAIRAM et al. 2011). Normalmente este subproduto é destinado à ração animal, que após ser transformado em carne, leite ou ovos, são consumidos pelos seres humanos. Entretanto, esta inclusão de mais um nível trófico na pirâmide alimentar, representado por bovinos, suínos ou aves entre a planta de arroz e os seres humanos, resulta em uma perda de aproximadamente 90% na energia e dos nutrientes que originalmente estariam presentes no farelo de arroz, ficando disponível para a nossa espécie menos de 10% da energia originalmente disponível (ODUM, 2004).

Sistemas que possibilitem um melhor aproveitamento destes nutrientes com uma área agricultável menor, tem despertado interesse na comunidade acadêmica e produtora (ALESSI et al. 2003; BALASUNDRAN et al. 2006; BILCK et al. 2009; NICOLETTI, 2007). Assim, por exemplo, a busca de reusos de subprodutos, como o farelo de arroz desengordurado, que apresenta custo baixo e alto valor nutritivo pode ser uma alternativa (PESTANA et al. 2008).

Estudos realizados por Sairam et al. (2011) sobre a adição de farelo de arroz desengordurado na panificação em diferentes níveis mostraram que conforme houve um aumento da concentração de farelo de arroz desengordurado na formulação de pão, ouve um decréscimo no volume específico e mudança na coloração, principalmente por causa das fibras adicionadas. Segundo o PNAN (Plano Nacional de Alimentação e Nutrição), há uma preocupação em ofertar alimentos que, além da garantia usual de qualidade biológica, sanitária e nutricional, contenham também qualidade tecnológica significativa (BRASIL, 2011). Diversos trabalhos (MARCO & ROSELL, 2008a; MARCO & ROSELL, 2008b; MOORE et al. 2006; ONYANGO et al. 2010) vêm relatando o uso de diferentes alternativas tecnológicas para apresentar pães de farinhas mistas com boas características, cabendo destacar o uso de enzimas e melhoradores.

Diversas referências (DAOU & ZHANG, 2011; DAMODARAN et al. 2010; BENNEKUN, et al. 2005) demonstram que apesar da alteração da qualidade do produto, estas fibras dietéticas solúveis e insolúveis possuem características hipocolesterolêmicas, ou seja, contribuem para a diminuição do colesterol no organismo além de diminuir a incidência de câncer de cólon, auxiliando no movimento peristáltico, além de serem degradadas por microrganismos, por constituírem substratos para a flora intestinal natural. Um estudo promovido por LAIRON et al. (2005) mostrou que a maior ingestão de fibras dietéticas está associada à um menor risco em doenças cardiovasculares, aumento de peso, pressão arterial, circunferência abdominal, colesterol e triacilgliceróis, em ambos os sexos.

Este tema vincula outro problema abordado na PNAN, os crescentes casos de obesidade observados no Brasil, advindos principalmente da melhoria da renda da população nas últimas duas décadas, ao qual se salienta a criação de propostas viáveis tanto para o problema da desnutrição quanto para a obesidade (BRASIL, 2011), onde o farelo de arroz desengordurado poderá cumprir ambos os papéis.

Um maior poder aquisitivo do brasileiro, visto que somos a sexta economia do mundo, levou a um aumento exponencial no número de pessoas obesas, e em algumas vezes, uma transição direta entre a desnutrição e a obesidade, onde se estima que em 20 anos, cerca de 70% dos brasileiros

estarão com excesso de peso, havendo necessidade de estratégias nacionais para a redução da obesidade, promovendo que indivíduos façam escolhas de alimentos saudáveis (BRASIL, 2011).

Diante do exposto, cabe ressaltar que o termo “segurança alimentar” instituída no Brasil, leva em consideração diversos aspectos relevantes abordados pela FAO, e institui ainda que as práticas alimentares promotoras de saúde sejam ambientalmente sustentáveis (BRASIL, 2011). O uso do farelo de arroz desengordurado na alimentação encaixa-se também nesta abordagem, já que sua aplicação na panificação ou em qualquer alimento destinado ao consumo humano elimina um nível trófico na cadeia alimentar, e, conseqüentemente, proporciona um maior aproveitamento energético (ODUM, 2004).

## **2.5 Pão**

O pão é alimento base consumido por todo o mundo, produzido de uma forma geral, por farinha de trigo, água, sal e levedura (ULZIJARGAL et. al. 2013). O termo “pão” é usado de forma genérica, pois existe uma variedade imensa de diferentes tipos de pães, refletidos nos costumes e cultura local e frequentemente identificado por sua estrutura aerada (LAMPIGNANO, 2013).

### **2.5.1 Ingredientes na panificação**

#### **2.5.1.1 Farinha**

Entre as farinhas mais utilizadas na panificação, o trigo merece destaque, principalmente devido as características únicas de formação de rede proteica através do glúten (PALLÁRES et al., 2007).

O glúten é uma mistura heterogênea de proteínas, principalmente de gliadinas e gluteninas, com solubilidade limitada em água, por possuir baixas quantidades de resíduos de lisina, arginina e glutamina, ao qual juntos somam-se apenas 10% do total de resíduos de aminoácidos (DAMODARAN, et al., 2010).

As proteínas do trigo pode-se dividir em dois grandes grupos: as proteínas que irão formar o glúten, constituindo 75-80% das proteínas na farinha e aquelas que não o formam, representando 25-20% do total (PALLÁRES et al., 2007).

O desdobramento parcial das moléculas proteicas através do amassamento em presença de água facilita interações hidrofóbicas, com intercâmbio de sulfidril-dissulfeto juntamente com formação de pontes de hidrogênio, resultando assim em formação de polímeros e forma de fio, capaz de reter os gases da fermentação (DAMODARAN et al. 2010).

A formação de novas redes através da adição da TGase pode facilitar a retenção destes gases, promovendo então um aumento do volume específico e características benéficas em produtos de panificação.

### **2.5.1.2 Água**

A água é um dos principais componentes dos alimentos, e sua presença nas quantidades corretas é imprescindível nos alimentos para que se tenha uma qualidade aceitável para o consumidor (ORDÓÑEZ, 2005).

Na panificação esse componente têm grande importância, dado que a formação do glúten depende do trabalho mecânico entre a mistura da farinha de trigo e água, formando uma espécie de gel, cujo papel é aprisionar o gás produzido pelas leveduras contribuindo para um maior volume, maciez e características sensoriais benéficas no produto final (PALLÁRES et al. 2007).

### **2.5.1.3 Sal**

O sal é um dos principais ingredientes que influenciam nas características tecnológicas e sensoriais no produto de panificação (NOORT, BULT & STIEGER, 2012). A quantidade de sal afeta as relações do crescimento microbiano e, conseqüentemente, vida de prateleira (BELZ et al. 2012), atuando também na etapa de fermentação, onde retarda o desenvolvimento de micro-organismos secundários produtores de ácido acético, butírico e láctico e na disposição da rede de glúten, devido principalmente pela solubilidade das proteínas envolvidas (QUAGLIA, 1991).

No entanto, sua adição deve ser limitada, pois em demasia causa inibição das leveduras responsáveis pela fermentação (PALLARÉS et al. 2007) e alteração na qualidade do glúten, com valor ótimo de 2% em relação ao peso da farinha, apresentando nestas proporções melhores resultados tecnológicos (QUAQLIA, 1991) . Além disso, o excesso de sódio pode acarretar enfermidades, principalmente as relacionadas com pressão arterial e função renal.

#### **2.5.1.4 Açúcares**

Dentre os açúcares mais utilizados na panificação, a sacarose é destaque. É diglicerídeo constituído por uma molécula de glicose e uma molécula de frutose ligadas (RIBEIRO & SERAVALLI, 2007). Na panificação seu uso está relacionado, principalmente, com aumento da disponibilidade de açúcares fermentáveis e por proporcionar reações de escurecimento não enzimático, no caso de açúcares redutores (QUAQLIA, 1991; PALLARÉS et al., 2007).

Considerando as diversas reações de alteração em alimentos assados, a caramelização e a reação de Maillard correspondem as principais alterações não enzimáticas de coloração de um produto (DAMODARAN et al., 2010), sendo influenciado, principalmente, pelo tipo e quantidade de carboidratos, proteínas e aminoácidos presentes. Essas reações no produto de panificação normalmente têm caráter desejável, a exemplo a crosta do pão, contribuindo também para aroma e “flavour” agradável (ARAÚJO, 2008).

A reação de caramelização consiste em uma desidratação de açúcares com formação de ligações duplas e anéis insaturados, aos quais absorvem luz e promovem o aparecimento de cor. Estes anéis ainda podem condensar-se gerando polímeros com cor e aroma (ORDÓÑEZ, 2005).

Ainda a respeito do escurecimento não enzimático, a reação de Maillard têm grande influência no aparecimento da cor em produtos de panificação (DAMODARAN et al., 2010). Esta consiste, de um modo simplificado, na reação entre o grupo amina de um aminoácido e o grupo carbonila, geralmente provido de um açúcar redutor, dando origem ao composto glicosilamina, seguido por rearranjo de Amadori. Posteriormente, há uma desidratação de produtos intermediários, degradação de Strecker e

formação de compostos heterocíclicos, responsáveis pelo sabor e cor, com pigmentação escura e alta massa molecular, também chamado de melanoidinas, como no caso da caramelização (ARAÚJO, 2008; DAMODARAN et al., 2010; ORDÓÑEZ, 2005).

#### **2.5.1.5 Leveduras**

As leveduras são consideradas como a força motriz da fermentação, o processo que permite com que uma massa densa se torne aerada. A levedura têm três funções básicas: além da função conhecida de fermentação, também pode fortalecer o desenvolvimento do glúten e contribuir para um *flavour* característico nos produtos de panificação (MOULINEY et al. 2011).

#### **2.5.1.6 Gordura**

Os lipídeos desempenham papel importante na qualidade dos alimentos, pois podem contribuir em atributos como textura, sabor, nutrição e densidade calórica, onde uma gama enorme destes componentes pode ser usadas com propriedades funcionais específicas de maciez, textura, sensação bucal, integridade estrutural, umectação, entre outros em diversos produtos alimentícios, como tortas, pães, massas, produtos fritos e assados (DAMODARAN et al., 2010).

Na panificação o uso de gorduras está ligado a diminuição do enrijecimento da crosta que se acentua com o passar do tempo e também estabilizar as bolhas de gás presentes na massa para que este se mantenha até o processo de forneamento entre outras funcionalidades (MOULINEY et al. 2011).

### **2.6 O uso de farinhas mistas e de melhoradores tecnológicos**

Em diversas partes do mundo há uma demanda por mais variedade e novidades em se tratando de produtos à base de cereais, particularmente em produtos que ascrentem funcionalidade na dieta do ser humano (SCHOENLECHNER et al. 2013).

A composição de farinhas mistas com diversos tipos de cereais podem acrescentar nutricionalmente ao produto fontes de fibras e diversos aminoácidos distintos e importantes para a manutenção da saúde, no entanto a inserção destes pode prejudicar o desempenho tecnológico de algumas farinhas, e, conseqüentemente, seus produtos (RIBOTTA et al. 2010).

Diversos autores (MOAYEDALLEIE, MIRZAEI & PATERSON, 2010; SCHOENLECHNER et al. 2013) comentam que dentre as técnicas de otimização das farinhas, a adição de melhoradores é um dos recursos mais utilizados.

Nas últimas décadas, uma demanda por produtos com um maior tempo de prateleira, melhor aparência, maciez, entre outros atributos, fez com que uma gama enorme de melhoradores fossem utilizados na indústria da produção de produtos de panificação (MOAYEDALLEIE, MIRZAEI & PATERSON, 2010).

Os aditivos são comumente utilizados, principalmente para facilitar o processo de fabricação de alimentos e para compensar a inserção de matérias primas que, apesar de proporcionar benefícios à saúde e ou reduzir custos de produção, prejudicam a aceitação do produto final por parte do consumidor (RIBOTTA et al. 2010). Uma das alternativas que vêm inovando e despertando interesse acadêmico é o uso da enzima denominada transglutaminase (MOORE et al. 2006).

### **2.6.1 Uso da transglutaminase**

Segundo a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), a transglutaminase produzida pelo microrganismo *Streptovorticillium mobaraense* pode ser utilizada de acordo com a necessidade tecnológica, não estipulando valores mínimos e máximos de uso (BRASIL, 2003) sem o limitante de necessitar de íons cálcio para seu desempenho, como é o caso da transglutaminase extraída de fonte animal (MACEDO & SATO, 2005).

Como proteínas, as enzimas são polímeros de L-aminoácidos de ocorrência natural, no entanto possuem a característica de agir como catalizador e exibir seletividade sobre o substrato, considerada a forma mais comum de catálise biológica, sendo responsável por diversos processos vitais (DAMODARAN et al., 2010).

A transglutaminase (EC 2.3.2.12  $\gamma$ -glutamil-peptídeo, amino- $\gamma$ -glutamiltransferase) é catalisadora de reações de transferência entre o grupo  $\gamma$ -amino de resíduos lisil e o grupo amino de resíduos de glutamina, promovendo um aumento do tamanho das proteínas resultantes e formando uma ampla rede dentro da matriz alimentar (MACEDO & SATO, 2005). Na panificação, a adição da transglutaminase facilita a formação da rede do glúten e viscoelasticidade, melhorando assim o volume, a estrutura e a crosta do produto final (DAMODARAN et al. 2010), embora a extensibilidade da massa varie de acordo com a fonte protéica presente no produto e quantidade utilizada (MARCO & ROSELL, 2008a). Estudos promovidos por Moore et al. (2006), Onyango et al. (2010) e Gujral & Rosell (2004), utilizaram diferentes concentrações de transglutaminase, e dentre elas as mais utilizadas variam de 0,1 à 1,5 grama por 100 gramas de farinha utilizada.

Uma solução viável, tanto tecnologicamente quanto economicamente, é o uso do farelo de arroz desengordurado em conjunto com a transglutaminase. Este, possui quantidades significativas de glutamina, em concentração de 125 mg/g de proteína e lisina com 47 mg/g de proteína (WANG et al., 1999). Assim, esta técnica pode ser uma alternativa recomendada para a elaboração de rede de proteínas pela transglutaminase no processo de panificação.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento ocorreu no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” e no Laboratório do Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade, Centro de Engenharias, da Universidade Federal de Pelotas.

#### **3.1 Materiais**

Para realização dos testes de caracterização das farinhas e elaboração dos pães foram utilizadas farelo de arroz desengordurado obtido de grãos de arroz branco (*Oryza sativa* L.), do cultivar IRGA 410 da safra de 2010/2011, cedidos pela empresa Nelson Wendt Alimentos.

A transglutaminase WF (80u/G aproximadamente) foi doada pela empresa Ajinomoto do Brasil Ind. e Com. de Alimentos Ltda. Os demais ingredientes como sal refinado, gordura vegetal hidrogenada, fermento biológico seco, açúcar refinado e farinha de trigo tipo 1 foram obtidos no comércio local, respeitando o mesmo lote para todas as repetições realizadas. Todos os reagentes utilizados nas análises foram P.A.

#### **3.2 Métodos**

##### **3.2.1 Delineamento experimental**

A tabela 1 mostra o delineamento experimental do projeto desenvolvido.

**Tabela 1:** Delineamento experimental

Tratamentos	Variáveis Independentes		Variáveis dependentes
	Proporção % de FT:FAD <sup>1</sup>	TGase (%) <sup>2</sup>	
1	100:0	0,0	Capacidade de absorção de água
2	95:5	0,0	Composição centesimal <sup>3</sup>
3	90:10	00	Panificação
4	90:10	0,5	• Textura do pão
5	90:10	1,0	• Volume específico
6	90:10	1,5	• Coloração da casca
7	85:15	0,0	• Coloração do miolo
8	85:15	0,5	• Perda de peso ao assar
9	85:15	1,0	• Quantidade de poros
10	85:15	1,5	• Análise qualitativa da imagem

<sup>1</sup> FT: Farinha de Trigo; FAD: Farelo de arroz desengordurado

<sup>2</sup> TGase: % de TGase em base da farinha

<sup>3</sup> Apenas para o Farelo de Arroz Desengordurado

### 3.2.2 Classificação do arroz

O arroz foi classificado segundo instrução normativa número 6/2009 (BRASIL, 2009), conforme a quantidade em percentual de mofados e ardidos, gessados, picados ou manchados, rajados e amarelos, renda e rendimento, com análise em mesa classificatória de grãos, com amostra de aproximadamente 100g por repetição. A umidade do arroz em casca foi determinada segundo método AACC (2000), onde pesou-se aproximadamente 10g de amostra e levou-se a estufa à 105°C por 24 horas.

### **3.2.3 Obtenção do farelo de arroz desengordurado**

O FAD (Farelo de Arroz Desengordurado) foi obtido através do descascamento, retirada de marinheiros e polimento de grãos de arroz através de beneficiadora de bancada, onde a etapa de polimento durou 1 minuto e meio para cada lote de 50g de arroz integral depositado no equipamento.

O farelo de arroz integral foi desengordurado pelo método de Soxhlet de acordo com American Association of Cereal Chemists (2000), onde a amostra sofreu subsequentes lavagens com éter de petróleo de modo que a matéria graxa fosse arrastada pelo solvente e depositada no balão, onde também por este método se identificou o percentual de gordura do farelo integral utilizado.

### **3.2.4 Composição centesimal do farelo de arroz desengordurado**

A composição centesimal do FAD através da determinação de umidade, através da diferença de peso entre a amostra úmida e posteriormente seca em estufa por 24 horas, cinzas medida por diferença entre a amostra e o restante de material que foi carbonizado a 550°C por aproximadamente 6 horas, proteínas determinado pelo método de digestão e posterior destilação e titulação e fibra bruta através da digestão ácida, digestão básica dos demais componente. Todos os métodos de quantificação físico-química foram realizados de acordo com os métodos propostos pela American Association of Cereal Chemistry (2000). A quantidade de carboidratos foi dada pela diferença da soma destes componentes e o peso inicial da amostra.

### **3.2.5 Capacidade de absorção de água**

A capacidade de absorção de água (CAA) das farinhas analisadas foi realizada segundo o método proposto por Glória & Regitano-D'arce (2000) com adaptações. Um grama de amostra foi depositado em tubo previamente pesado para centrífuga, adicionado 5mL de água destilada, homogeneizado em vortex por 1 minuto, deixado em temperatura ambiente (em torno de 25°C) por 30 minutos, levado em centrífuga à 25°C por 30 minutos à 2600rpm. O

sobrenadante foi retirado com auxílio de pipeta de pasteur e em seguida o tubo foi pesado novamente, onde a CAA foi calculada segundo a equação 1.

$$\text{CAA (\%)} = \frac{\text{Peso (g) do sedimento}}{\text{Peso da amostra seca (g)}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

### 3.2.6 Elaboração dos pães

Os pães foram elaborados de acordo com método proposto por Gutkoski e Neto (2002) com modificações. A farinha de trigo, água, farelo de arroz desengordurado, sal, açúcar, gordura hidrogenada e transglutaminase foram devidamente pesados e colocados em batedeira planetária pelo método de massa direta, onde ocorreu a mistura mecânica por 6 minutos e 30 segundos. Acrescentou-se o fermento biológico e a mistura voltou a acontecer por mais 6 minutos e 30 segundos. A massa foi posta em repouso por 10 minutos a temperatura ambiente e em seguida 200g desta foi moldada manualmente e dispostas em um canto da forma, para evitar deformidades no processo fermentativo. As formas possuíam 7cm de largura, 14cm de comprimento e 4,3cm de altura.

A fermentação ocorreu em estufa à 38°C por 90 minutos e amostras assadas em forno elétrico à 180°C por 15 minutos. Os pães foram desenformados e resfriados por uma hora antes das avaliações subsequentes. As formulações utilizadas no experimento estão dispostos na Tabela 3.

A quantidade de água utilizada em cada formulação variou conforme análise de CAA, onde se realizou testes com apenas farinha de trigo e determinou-se a quantidade de água conforme a textura da massa e o volume do produto. A quantidade de água adicionada para cada 100g de farinha nas formulações foi determinada pela Equação 2 adaptado de Pereira (2011).

$$\text{mL} = \frac{\text{CAAT}}{\text{CAAP}} \times \text{mL utilizado no padrão} \quad \text{Eq (2)}$$

Onde:

mL = Água a ser adicionada

CAAT = Capacidade de absorção de água do tratamento

CAAP = Capacidade de absorção de água do padrão

**Tabela 2:** Formulações dos pães utilizadas no experimento

Ingredientes	Tratamentos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Farinha de trigo	100 <sup>1</sup>	95	90	90	90	90	85	85	85	85
FAD <sup>2</sup>	0	5	10	10	10	10	15	15	15	15
Transglutaminase	0	0	0	0,5	1,0	1,5	0	0,5	1,0	1,5
Açúcar	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Gordura vegetal	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Fermento	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Água <sup>3</sup>	55	54,21	55,6	56,26	55,93	56,03	56,93	56,96	58,72	58,01

1 – Porcentagem baseado em peso da farinha

2 – Farelo de arroz desengordurado

3– Calculada baseada no padrão e conforme análise de Capacidade de Absorção de Água, de modo que foi definido valores que se adequam melhor a capacidade de formação de uma massa de formato enovelado.

### 3.2.7 Avaliação dos pães

#### 3.2.7.1 Perda de peso ao assar

A de perda de peso ao assar (PPA) foi obtida utilizando o peso anterior e posterior ao forneamento, e foi calculada segundo a Equação 3.

$$\%PPA = \frac{(PA - PP)}{PA} \times 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

%PPA = Porcentagem da perda de peso ao assar

PA = Peso anterior ao assamento (gramas)

PP = Peso posterior ao assamento (gramas)

#### 3.2.7.2 Volume específico

O volume do produto final foi determinado por deslocamento de painço (*Panicum miliaceum* L.) segundo método proposto por Pizzianato e Campagnolli (1993). O volume específico foi calculado de acordo com a Equação (4).

$$VE \text{ (cm}^3\text{/g)} = \frac{V}{PP} \quad \text{Eq (4)}$$

Peso posterior ao forneamento

Onde:

VE= Volume específico, dado em cm<sup>3</sup>/g

V= Volume obtido através de deslocamento de painço, medido em proveta, dado em mL e convertido para cm<sup>3</sup>

#### 3.2.7.3 Coloração de casca e miolo

A coloração foi obtida com a utilização do aparelho Minolta modelo CR-310. Após a instalação do aparelho, realizou-se a calibragem conforme indicação do fabricante. Para medição da coloração da casca, os pães foram

colocados em bancada e escolhido um ponto central e aleatório da casca do produto, de modo que para cada repetição foram realizadas três medidas, totalizando 9 por amostra. Em seguida o pão sofreu um corte transversal e foi realizada a mensuração da cor do miolo, também em três medidas para cada repetição.

A medição se deu por leitura de cores em sistema tridimensional, em um total de três eixos. O eixo vertical “L” indica luminosidade, onde 0 corresponde a preto e 100 a branco, o eixo “a” onde -60 indica verde e +60 vermelho e o eixo “b” indica do amarelo ao azul (BORCHANI et al. 2011).

#### **3.2.7.4 Textura**

A textura do miolo foi determinada através do analisador TA.XT plus utilizando método padrão da AACC (74-09), cujo probe cilíndrico de 36mm comprimiu a uma velocidade de  $1,7 \text{ mm.s}^{-1}$  40% do seu tamanho original, ao qual foi determinado dureza (N), flexibilidade (mm), coesividade, gomosidade (N) mastigabilidade (N/mm) e elasticidade. Para a análise foram utilizadas três fatias centrais de 25mm de espessura.

#### **3.2.7.5 Captação e avaliação da imagem dos pães**

As imagens das fatias centrais dos pães elaborados no experimento foram scaneadas e salvas em formato JPEG e avaliadas segundo Alvarez-Jubette et al. (2010) e Ferrera-Rebollo et al. (2012), onde é discutido a distribuição de poros, formato, coloração aparente e demais características físicas pertinentes.

### **3.3 Estatística**

Para a capacidade de absorção de água das farinhas, classificação do arroz e composição centesimal realizou-se o experimento em triplicata. Para os pães foram realizadas três repetições para cada formulação, e para cada repetição realizou-se três verificações em cada teste. Os dados foram tratados

por ANOVA seguidos de Teste de Diferença Mínima Significativa por Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Classificação do arroz

Na caracterização do arroz, foram encontrados o percentual de  $1,72 \pm 0,18\%$  de impurezas e sua umidade representava  $12,1 \pm 0,35\%$ . A tab. 1 mostra o percentual de defeitos encontrados nas amostras.

**Tabela 3:** Percentual de mofados e ardidos, gessados, picados e manchados, rajados e amarelos presentes na amostra de arroz utilizada no experimento.

Defeito	Média e desvio padrão (%)
Mofados e ardidos	$0,075 \pm 0,02$
Gessados	$0,508 \pm 0,05$
Picado e manchado	$0,235 \pm 0,06$
Rajado	$0,058 \pm 0,04$
Amarelo	$0,107 \pm 0,04$

Com relação a renda e rendimento, o arroz utilizado no experimento demonstrou ter rendimento de grão inteiro de  $54,46 \pm 0,48\%$ .

### 4.2 Composição centesimal do farelo de arroz desengordurado

A composição centesimal do farelo de arroz desengordurado utilizado no experimento encontra-se na Tab. 4.

**Tabela 4:** Composição centesimal do farelo de arroz desengordurado

Componente	Composição (%)
Umidade	13,33 ± 0,08
Cinzas	10,19 ± 0,6
Lipídeos	-
Proteína bruta	15,44 ± 0,87
Fibra bruta	10,35 ± 0,49
Carboidratos	50,69

Segundo Sharif & Butt (2006), a quantidade de umidade do FAD analisado corresponde a 7,6% do peso total, cinzas de 10,66%, fibras brutas de 10,73% e 18,97 de proteína bruta, e encontra-se de acordo com os resultados obtidos. No entanto, para Sairam, Krishna e Urooj (2011), o farelo de arroz desengordurado a umidade encontra-se em 13,3%, cinzas 15,6%, fibra bruta de 7,41% com um percentual de proteína de 16,6%;

### 4.3 Capacidade de absorção de água

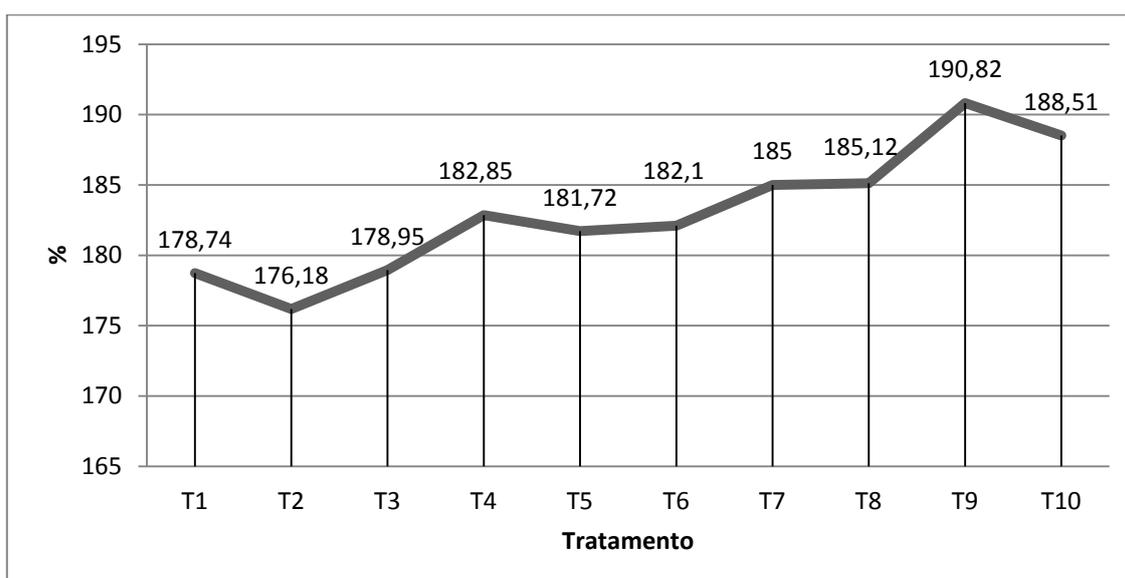
A capacidade de absorção de água das farinhas analisadas estão dispostas na Tab. 5.

**Tabela 5:** Capacidade de absorção de água das farinhas analisadas.

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Capacidade de absorção de água (%)
T1 (100:0:0)	178,74 c
T2 (95:5:0)	176,18 c
T3 (90:10:0)	178,95 c
T4 (90:10:0,5)	182,85 b
T5 (90:10:1,0)	181,72 cb
T6 (90:10:1,5)	182,1 cb
T7 (85:15:0)	185 b
T8 (85:15:0,5)	185,12 b
T9 (85:15:1,0)	190,82 a
T10 (85:15:1,5)	188,51 ba

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferente entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Segundo Sairam et al. (2011), conforme há um aumento da quantidade de fibra insolúvel e de proteína providos do farelo de arroz desengordurado, há um aumento considerável na capacidade de absorção de água da farinha, como mostra a Fig. 3.

**Figura 3:** Capacidade de absorção de água das farinhas analisadas

Os resultados demonstram que conforme houve uma maior substituição da FT por FAD, houve um aumento substancial da CAA. Segundo Ordóñez (2005) e Damodaran et al. (2010), dependendo da composição química e estrutural, os resíduos polares e apolares das proteínas podem dar maiores características de hidratação, assim como a ação capilar e ou aprisionamento físico, dependendo da conformação espacial da proteína.

A ligação da água com a proteína dar-se primeiramente através de ligações iônicas, seguidas de ligações polares e por ultimo nas áreas apolares da proteína (DAMODARAN et al., 2010). Fatores ambientais como pH, força iônica, temperatura, tipos de sais envolvidos no meio podem influenciar sua capacidade de absorção de água (ORDÓNEZ, 2005).

A presença de íons no sistema tende a alterar as características de absorção de água, considerando o efeito *salting in* e *salting out*, onde uma maior concentração de íons na solução aquosa onde encontra-se a proteína tende a fazer com que a água interaja mais fortemente com os íons presentes no meio, resultando em uma menor absorção de água (ORDÓNEZ, 2005).

A capacidade de ligação com a água é influenciada também pela temperatura, onde com o aumento mais significativo desse parâmetro se têm redução nessa capacidade (DAMODARAN et al., 2010). Na análise realizada, a temperatura manteve-se constante em 25°C, para evitar variações nos resultados obtidos, conforme metodologia consultada (GLÓRIA & REGITANO-D'ARCE, 2000).

O grau de desnaturação que as proteínas apresentam no meio também pode influenciar na interação do sistema proteína x água, podendo aumentar a CAA devido a exposição de alguns grupamentos hidrofóbicos e aumento da área da molécula, portanto, maior interação entre esses componentes (DAMADORAN et al., 2010). Por outro lado, caso a proteína alcance níveis maiores de desnaturação, poderá haver uma interação entre a própria molécula, fazendo com que os grupamentos receptores de água tornem-se indisponíveis (ORDÓNEZ, 2005).

Considerando que a enzima transglutaminase influencia de forma significativa a estrutura das proteínas envolvidas nas farinhas analisadas com formação de rede entre grupamentos proteicos (JONG & KOPPERLMAN, 2002), pode-se notar que apenas houve diferença estatística na concentração

de 10% de FAD com relação ao controle (sem enzima) apenas na adição de 0,5% de TGase .

Na substituição de 15% apenas na adição de 1,0% da enzima TGase mostrou-se diferente da controle. Os valores encontrados encontram-se aproximados dos reportados por Storck (2009), onde a CAA só aumentou significativamente com adição de 1,0% de TGase.

Com relação a concentração de enzima adicionada, o resultado obtido mostrou que essa interação tende a influenciar significativamente a capacidade das proteínas de interagirem com a água apenas na substituição com 15% de FAD, demonstrando que a adição de 1,0% de TGase difere da adição de 0,5% de TGase, dado que a adição da enzima nos níveis de 0,5, 1,0 e 1,5% para a substituição de 10% de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado não causou influência na CAA das farinhas analisadas.

Esse resultado é afetado pelo substrato proteico cujo qual é forçado interação com a enzima adicionada, sendo que a farinha de trigo apresenta um perfil proteico diferente do farelo de arroz desengordurado (WANG et al. 1999).

#### **4.4 Avaliação dos pães**

##### **4.4.1 Perda de peso ao assar**

Perda de peso ao assar é definida como a quantidade de água e materiais orgânicos como açúcares fermentados e liberados como CO<sub>2</sub> perdidos durante a elaboração do produto (ALVAREZ-JUBETE et al. 2010).

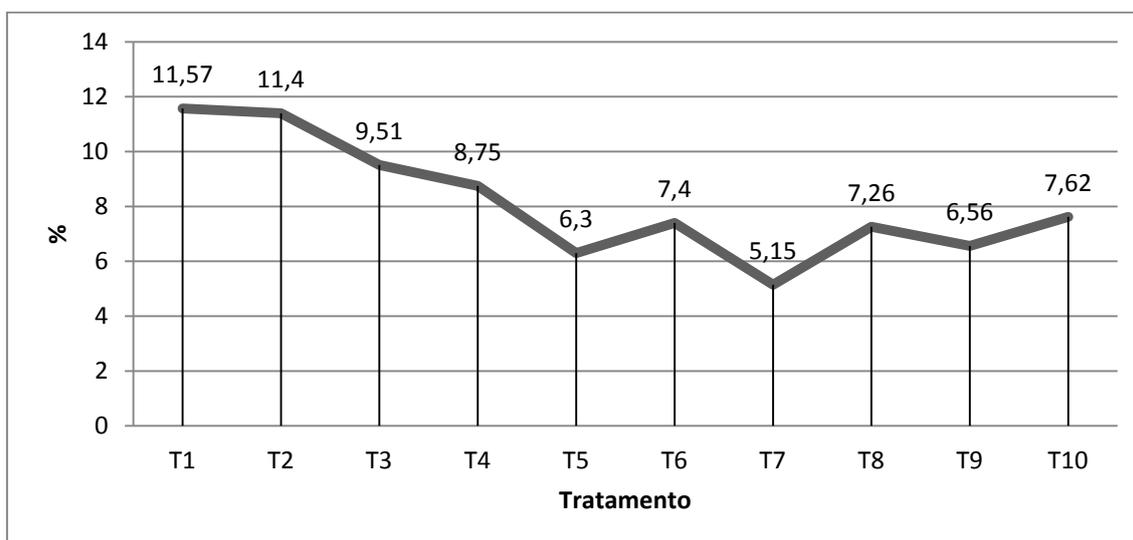
Os resultados da perda de peso ao assar estão dispostos na Tabela 6.

**Tabela 6:** Perda de peso ao assar dos pães analisados.

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Perda de peso ao assar (%)
T1 (100:0:0)	11,57 a
T2 (95:5:0)	11,40 b
T3 (90:10:0)	9,51 cdeh
T4 (90:10:0,5)	8,75 d
T5 (90:10:1,0)	6,31e
T6 (90:10:1,5)	7,40 f
T7 (85:15:0)	5,15 g
T8 (85:15:0,5)	7,26 cd
T9 (85:15:1,0)	6,56 ce
T10 (85:15:1,5)	7,62 gh

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferente entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os valores encontrados para a perda de peso ao assar estão em desacordo com o encontrado na literatura e podem ser vistos na Fig. 4.

**Figura 4:** Perda de peso ao assar dos pães analisados

Para Sairan et al. (2011), a perda de peso do padrão correspondeu a 12,99%, sem diferença estatística entre o padrão as amostras com substituição

de 5, 10 e 15% de FT por FAD. No entanto o encontrado no experimento demonstrou que houve diferença entre todas as substituições, sendo o pão com substituição de 15% perda de 5,15%, de 10% perda de 9,51% e perda de 11,40% para a substituição com 5% de FT por FAD.

Dado que o pão é vendido por peso, uma maior retenção de líquido seria benéfica no caso da indústria. No entanto, uma maior retenção de líquido na massa do pão pode estar associado um menor volume específico, e, conseqüentemente, numa menor aceitação do consumidor (PALLÁRES et al., 2007).

#### 4.4.2 Volume específico

Os resultados para volume específico dos pães do experimento estão dispostos na tabela 7.

**Tabela 7:** Volume específico dos pães analisados.

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)
T1 (100:0:0)	4,31 a
T2 (95:5:0)	4,26 a
T3 (90:10:0)	3,57 b
T4 (90:10:0,5)	2,77 c
T5 (90:10:1,0)	1,96 e
T6 (90:10:1,5)	1,76 f
T7 (85:15:0)	2,90 c
T8 (85:15:0,5)	2,91 c
T9 (85:15:1,0)	2,56 d
T10 (85:15:1,5)	1,78 ef

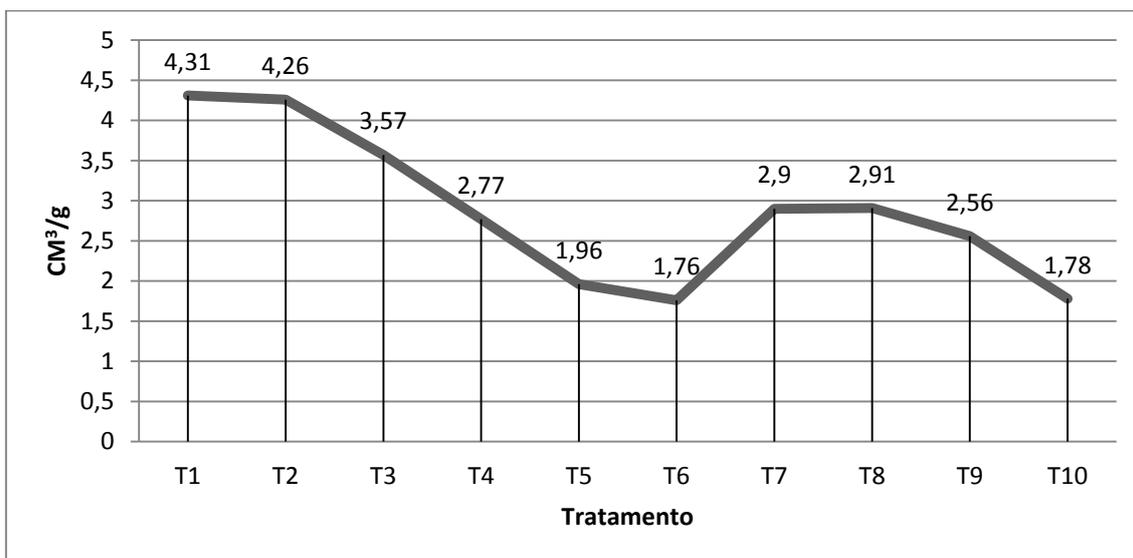
Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferente entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O volume específico é determinado segundo o calculo dado pelo peso posterior ao assamento, resfriado e o volume determinado por método de

deslocamento de painço (PIZZIANATO & CAMPAGNOLLI; 1993), e é uma importante ferramenta para detectar fatores que interferem na elasticidade da massa frente a fermentação, já que o volume do produto final é um dos fatores de grande relevância para a aceitação de um produto de panificação (PALLÁRES, et al. 2007), que pode afetar consecutivamente o poder de compra e o lucro da indústria de alimentos.

Os resultados encontrados demonstram que não houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) do padrão para a substituição com 5% de FAD, resultado esse que corrobora com os encontrados por Sairam et al., (2011), onde essa substituição pode ser efetuada sem atenuar os problemas tecnológicos causados pela inserção do FAD na massa.

Estudos realizados por Sairam et al., (2011) sobre a inserção de farelo de arroz desengordurado na formulação de pães demonstrou que conforme houve uma maior substituição do farelo de arroz desengordurado, menor foi o volume específico apresentado, como mostra a Figura 5.



**Figura 5:** Volume específico (em  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) dos pães analisados no experimento

Uma substituição de 5% correspondeu a um volume específico de 2,93  $\text{cm}^3/\text{g}$ , ao qual o volume específico passou para 2,55  $\text{cm}^3/\text{g}$  e 2,15  $\text{cm}^3/\text{g}$  com substituição de 10% e 15% respectivamente (SAIRAM et al., 2011), o que entra de acordo com os valores obtidos, onde houve um decréscimo do volume específico.

Júnior et al (2009) com testes realizados com farelo de arroz torrado obteve resultados semelhantes, com valores de 4,43 cm<sup>3</sup>/g para pão com formulação padrão, 3,68 cm<sup>3</sup>/g para substituição de 7,5% e 3,48 cm<sup>3</sup>/g para formulação com 15% de substituição, apresentando maiores resultados de volume específico ao se utilizar o farelo de arroz torrado, nesta substituição.

Esse decréscimo, segundo Wang et al. (2002), tem relação com a quantidade e do tipo das fibras adicionadas, que tendem a uma descontinuidade na rede proteica do glúten, além de aprisionar mais facilmente água, tornando a massa mais coesa, de difícil retenção de gases promovidos pelas leveduras na etapa de fermentação.

Com relação à inserção da TGase, pode-se notar que a adição desta enzima como melhorador não foi significativa para um aumento do volume específico como consultado em literatura (MACEDO & SATO, 2005; DAMODARAN et al., 2010; ONYANGO et al. 2010; GUJRAL & ROSELL, 2005) dado que a adição de 0,5% deste componente não interferiu significativamente no aumento deste parâmetro para a formulação com substituição de 15% de farelo de arroz desengordurado. Já na substituição de 10% de FAD com adição de 0,5% a TGase, o volume específico alcançou níveis menores ao comparar-se com a substituição de 10% sem a presença da enzima, o que pode ser explicado pela disponibilidade dos aminoácidos para catalize da rede proteica (MACEDO & SATO, 2005).

Segundo Gujral & Rossel (2005), a melhor concentração de uso da TGase para pães com uso de farinha de arroz é 1% p/p, discordando dos resultados obtidos, onde os melhores valores de volume específico, com inserção da enzima, se deu com a adição de 0,5% desta. Onyango et al. (2010) comenta que para farinhas de amido de sorgo e fécula de mandioca a melhor concentração de TGase encontra-se na faixa de 0,5%, salientando que o perfil proteico onde a enzima é adicionada influencia nesse parâmetro.

Menores valores de volume específico se deram com a inserção de 1,5% de transglutaminase, tanto para as formulações com 10 e 15% de substituição de farinha de trigo por FAD, com volumes específicos de 1,76 e 1,78 cm<sup>3</sup>/g, respectivamente, sem diferença estatística entre as substituições analisadas ( $p < 0,05$ ). Estes valores encontram-se condizentes com a literatura

consultada, onde o uso de 1,5% resultou em volumes próximos de 1,5 cm<sup>3</sup>/g, para formulações com farinha de arroz (GUJRAL & ROSELL, 2005).

#### 4.4.3 Coloração da casca

Os resultados da coloração da casca podem ser observados na Tab. 8.

**Tabela 8:** Coloração da casca dos pães analisados.

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Coloração		
	a	b	L
T1 (100:0:0)	7,62 a	30,79 a	71,57 a
T2 (95:5:0)	4,44 b	30,91a	68,30 b
T3 (90:10:0)	4,85 c	31,26 a	71,60 a
T4 (90:10:0,5)	0,64 d	21,82 b	78,29 c
T5 (90:10:1,0)	-0,03 e	16,57 cf	81,10 d
T6 (90:10:1,5)	-0,17 de	15,30 bc	80,87 d
T7 (85:15:0)	0,88 d	20,66 bd	75,28 e
T8 (85:15:0,5)	1,99 g	24,25 e	73,81 f
T9 (85:15:1,0)	0,67 d	19,16 d	80,48 d
T10 (85:15:1,5)	0,20 e	17,37f	79,89 d

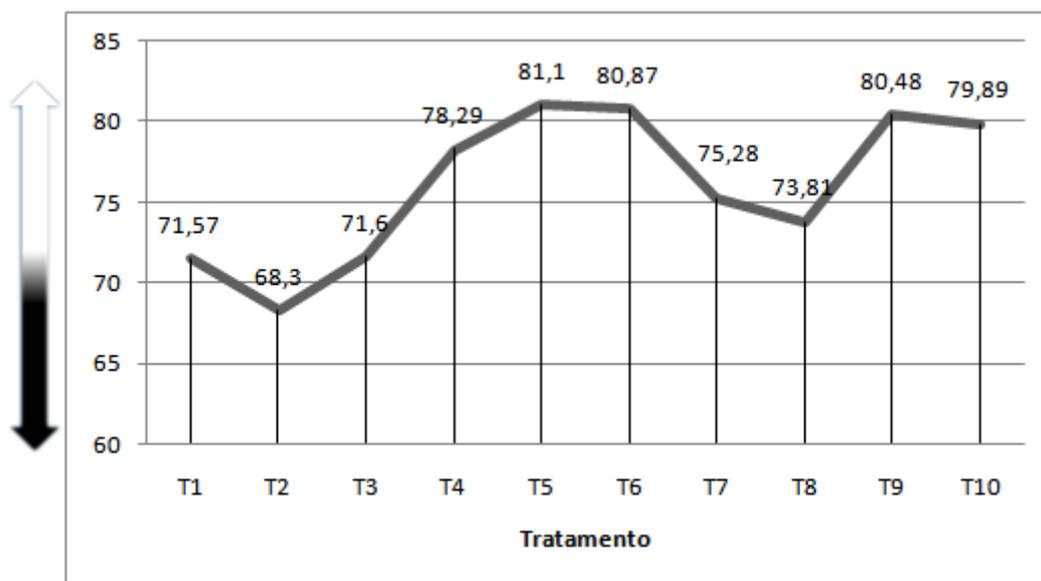
Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferente entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Dentre os aspectos sensoriais de grande importância para o controle de qualidade, a cor pode ser um dos fatores determinantes na aceitação do consumidor por um produto (DUTCOSKY, 2009). O impacto visual é comumente utilizado como ferramenta para tornar o alimento mais atrativo, o que pode induzir o consumidor a assimilar um sabor correspondente (DUTCOSKY, 2009).

No momento em que a transglutaminase atua na formação da rede utilizando a lisina (MACEDO & SATO, 2005), ela torna-se inacessível para que a reação de Maillard ocorra (DAMODARAN et al., 2010; ORDÓNEZ, 2005). A

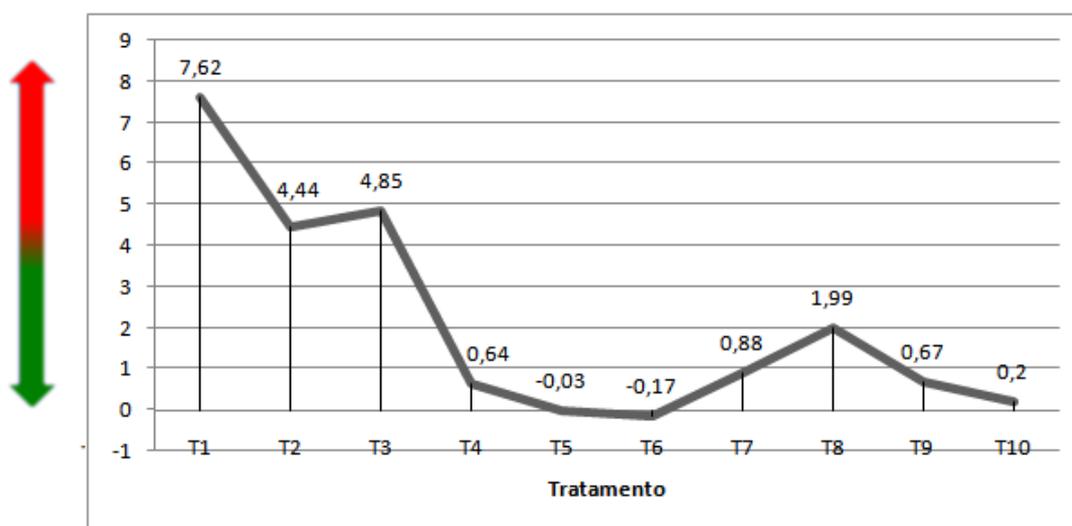
lisina com seu grupo amina épsilon é um dos aminoácidos mais reativos para a reação de Maillard, pois o grupo amina encontra-se afastado da influência do grupo COOH. Assim sendo, a densidade do par de elétrons está no grupamento amina livre, aumentando sua disponibilidade para condensação com o grupamento carbonila de um açúcar redutor (ARAÚJO, 2008).

Pode-se observar através da Fig. 6 conforme houve uma adição maior de transglutaminase na amostra.



**Figura 6:** Parâmetro luminosidade (L) para casca dos pães analisados.

A figura 7 mostra o parâmetro “a” da casca dos pães analisados.



**Figura 7:** Parâmetro “a” para a casca dos pães analisados.

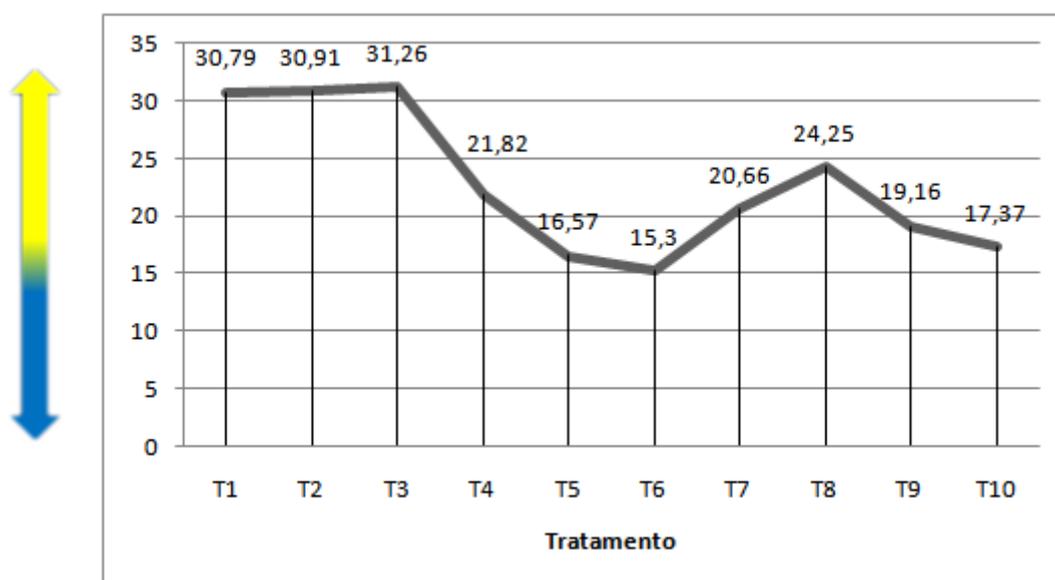
Conforme houve uma substituição maior de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado, o valor “a” apresentou um decréscimo substancial. Sharif & Butt (2006) comentam que conforme houve um aumento da concentração de farelo de arroz desengordurado na panificação, houve uma diminuição no escore sensorial do produto com relação a esse atributo.

O resultado para o parâmetro “a” pode ser explicado pela interferência da enzima no processo da Reação de Maillard, que contribui também para pigmentos de coloração escuro-avermelhados (ARAÚJO, 2008).

O parâmetro “a” da casca também foi afetado pela presença da enzima, onde apenas na substituição com 15% e adição de 1,0% de TGase de FT por FAD não houve diferença com relação ao pão controle.

Para a substituição com 10% de FT por FAD, houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) (Tabela 8) entre o controle e em todas as adições de TGase feitas no experimento, mostrando que nessa substituição, a TGase afeta mais significativamente a coloração da casca para o parâmetro “a” do que a substituição com 15% de FAD.

A figura 8 mostra uma queda nos valores para o parâmetro “b”, com menores valores para adição de 1,0% e 1,5% de enzima em ambas as substituições (10 e 15%).



**Figura 8:** Parâmetro “b” para casca dos pães analisados.

Segundo Sciarini et al. (2010) que realizou um estudo sobre avaliação das características tecnológicas de pães com adição de melhoradores, dentre os hidrocolóides analisados, apenas a adição de goma carragena e goma xantana não diferiram significativamente no parâmetro “b” da casca dos pães analisados, onde a adição de carboximetil celulose, alginato e gelatina interferiram neste parâmetro.

Pode-se notar que não houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) no valor “b” para casca nas substituições de 5% e 10% de FT por FAD, sendo apenas pesceptível a mudança na substituição com 15%.

Para os tratamentos com TGase, o melhor resultado tanto para o parâmetro “L”, “a” e “b” foi a formulação 85:15:0,5, que mesmo diferente do padrão, mostrou resultados mais próximos. No entanto, para o parâmetro “L”, os resultados mais distantes do padrão estão nas formulações 90:10:1,0 e 85:15:1,5. Tanto para o parâmetro “b” quanto para o parâmetro “a”, a formulação 90:10:1,5 demonstrou os piores resultados nesse parâmetro.

#### **4.4.4 Coloração do miolo**

Os resultados da coloração do miolo dos pães analisados podem ser observados na Tab. 9.

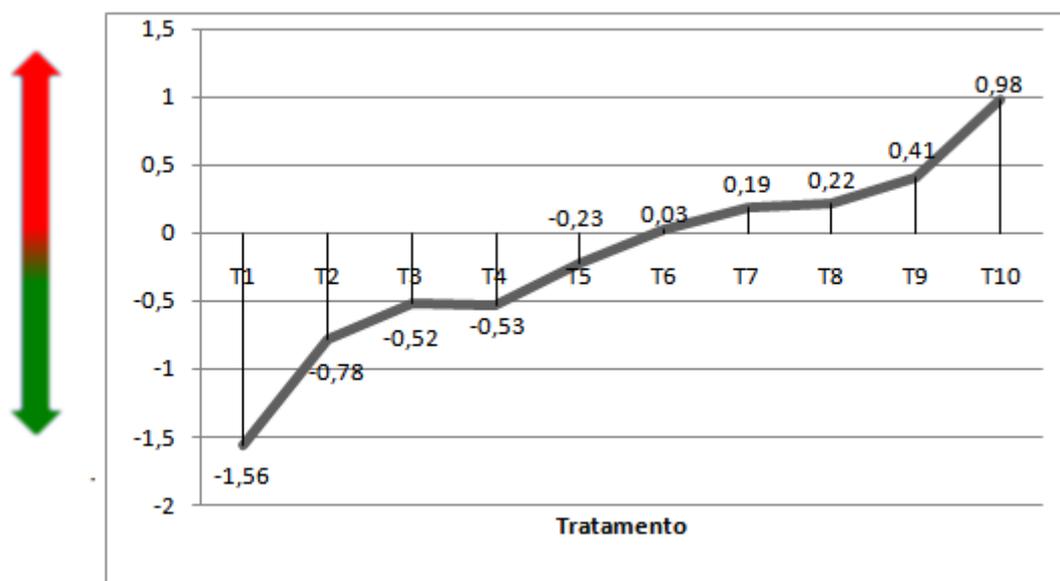
**Tabela 9:** Coloração do miolo dos pães analisados.

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Coloração		
	a	b	L
T1 (100:0:0)	-1,56 a	10,58 a	79,41 a
T2 (95:5:0)	-0,78 b	13,44 b	79,64 a
T3 (90:10:0)	-0,52 c	15,62 c	71,57 b
T4 (90:10:0,5)	-0,53 c	16,54 cd	77,90 c
T5 (90:10:1,0)	-0,23 d	17,46 de	80,38 ac
T6 (90:10:1,5)	0,03 e	17,16 df	76,93 d
T7 (85:15:0)	0,19 ef	18,26 e	71,57 bf
T8 (85:15:0,5)	0,22 f	16,72 d	72,08 bf
T9 (85:15:1,0)	0,41g	17,81 ef	75,43 e
T10 (85:15:1,5)	0,98 h	20,21g	71,94 f

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferente entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Como mostra a Fig. 9, houve um aumento do parâmetro “a” para o miolo do pão conforme houve uma maior substituição da farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado.

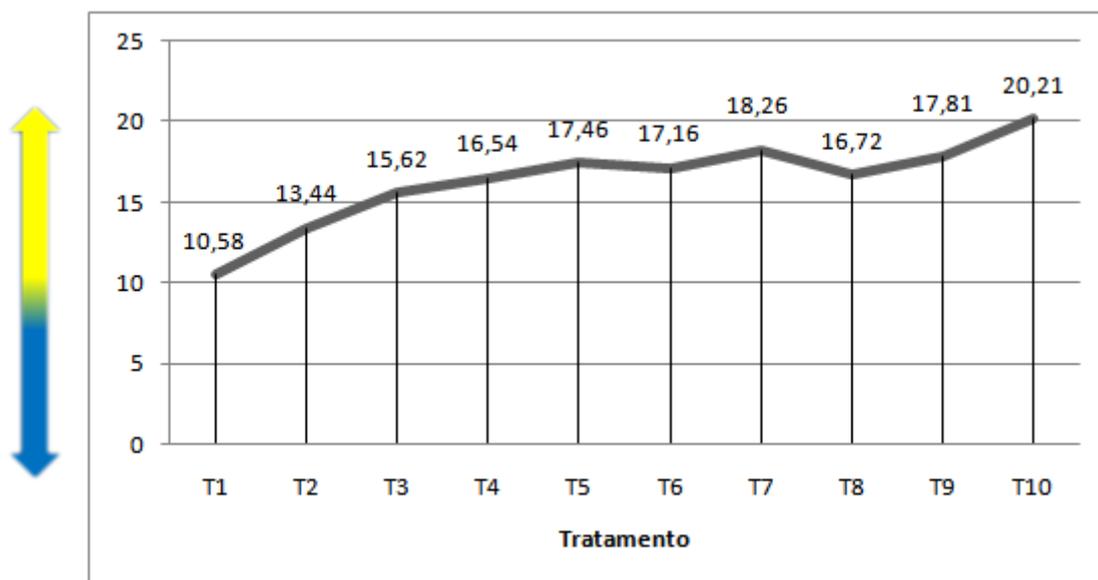
Esse aumento é explicado pela adição mais substancial de FAD nas formulações, e, por apresentar-se na camada externa do grão, tende a uma coloração mais escura pela presença de carotenóides e de compostos de coloração mais vermelho-amarelada (PESTANA et al., 2008).



**Figura 9:** Parâmetro “a” para miolo dos pães analisados

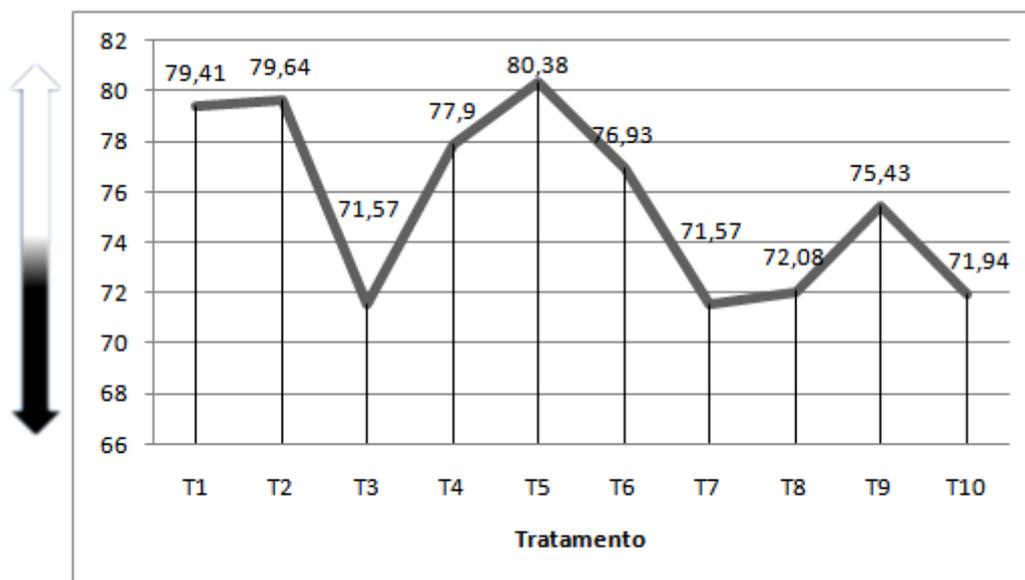
A adição da TGase influenciou o parâmetro “a” para miolo tanto na formulações 90:10 e 85:15, diferindo apenas na adição de 1,0% e 1,5%. A concentração da adição de TGase de 0,5% não diferiu estatisticamente ( $p < 0,05$ ) dos pães controle, independente da concentração de FAD utilizada.

A figura 10 demonstra um aumento no parâmetro “b” do miolo conforme houve uma maior substituição de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado. Esses valores podem também, assim como o parâmetro “a”, serem associados aos pigmentos presentes no próprio FAD (PESTANA et al., 2008).



**Figura 10:** Parâmetro “b” para miolo dos pães analisados.

Pode-se notar pela Fig 11. que houve uma variação da luminosidade dos miolos dos pães analisados, principalmente nas formulações com adição de 10% de FAD. Apenas as formulações 95:0 e 90:10:1,0 não diferiram do padrão (100:0:0).



**Figura 11:** Parâmetro luminosidade para miolo dos pães analisados.

Com relação a adição da TGase, a enzima afetou as características de cor do miolo, onde houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os pães com presença de enzima e a formulação controle, na substituição de 10% de FT por

FAD. Já para a substituição de 15%, houve diferença estatística apenas nas formulações com adição de 1,0 e 1,5% de TGase.

Os resultados para o parâmetro “a” e “b” do miolo, como já era esperado, foram as formulações 95:5:0 e 90:10:0; a formulação com adição de TGase com o melhor resultado foi a 90:10:0,5. Ao passo que, para o parâmetro “L” , os melhores resultados foram apresentados pela formulação 90:10:1,0.

#### 4.4.5 Perfil de textura

##### 4.4.5.1 Dureza

A dureza é denominada como o máximo de força durante a primeira compressão que é utilizada para obter uma deformação (HUIDOBRO et al. 2005). Os resultados para dureza estão dispostos na Tab. 10.

**Tabela 10:** Resultado de dureza dos pães analisados.

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Dureza (Newtons)
T1 (100:0:0)	0,039 c
T2 (95:5:0)	0,038 c
T3 (90:10:0)	0,12 c
T4 (90:10:0,5)	10,33 b
T5 (90:10:1,0)	22,03 a
T6 (90:10:1,5)	28,30 a
T7 (85:15:0)	0,068 c
T8 (85:15:0,5)	8,11b
T9 (85:15:1,0)	8,18 b
T10 (85:15:1,5)	21,21 a

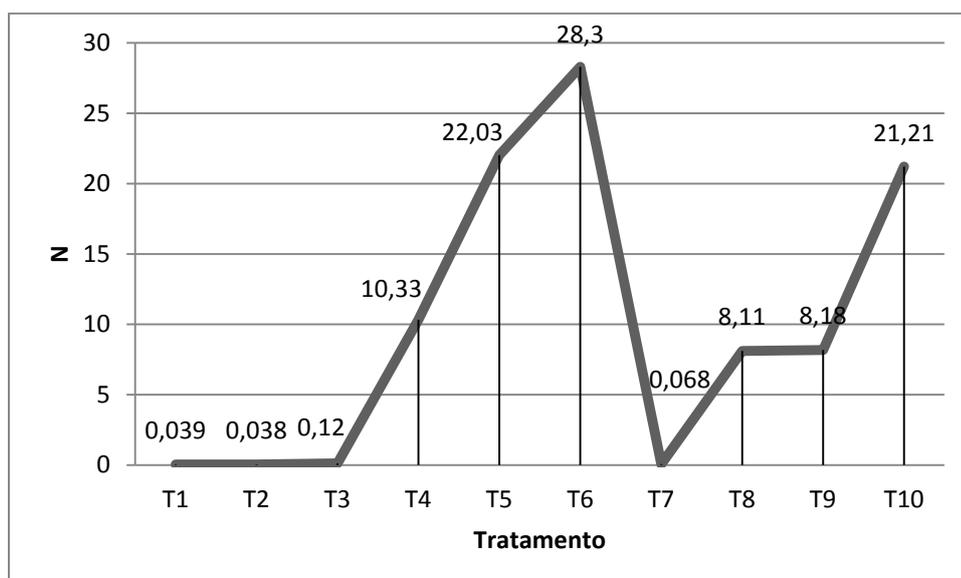
Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Segundo os dados apresentados, não houve diferença entre o padrão e as amostras com substituição de 5, 10 e 15% de FAD sem adição de enzima.

Pode-se notar através da Fig.12, que houve um grande acréscimo na dureza dos pães analisados, sendo os maiores valores representados pela adição de 1,5% de TGase, independente da concentração de FAD.

Uma dureza elevada influencia negativamente na aceitação do consumidor. Este é um aspecto negativo que deve ser proposto como desafio para novos estudos.

Os resultados concordam com o proposto por Storck (2009), onde nessa concentração a enzima teve forte influência na dureza para pães elaborados com farinha de arroz, provocando um aumento substancial nesse parâmetro quando usado 1,5% de TGase.



**Figura 12:** Dureza dos pães analisados

Houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) para a concentração de 1,0% de TGase nas diferentes adições de FAD, onde a substituição com 10% obteve resultados superiores de dureza do que a substituição com 15%, esta última não diferindo significativamente das adições de 0,5% de TGase.

#### 4.4.5.2 Elasticidade

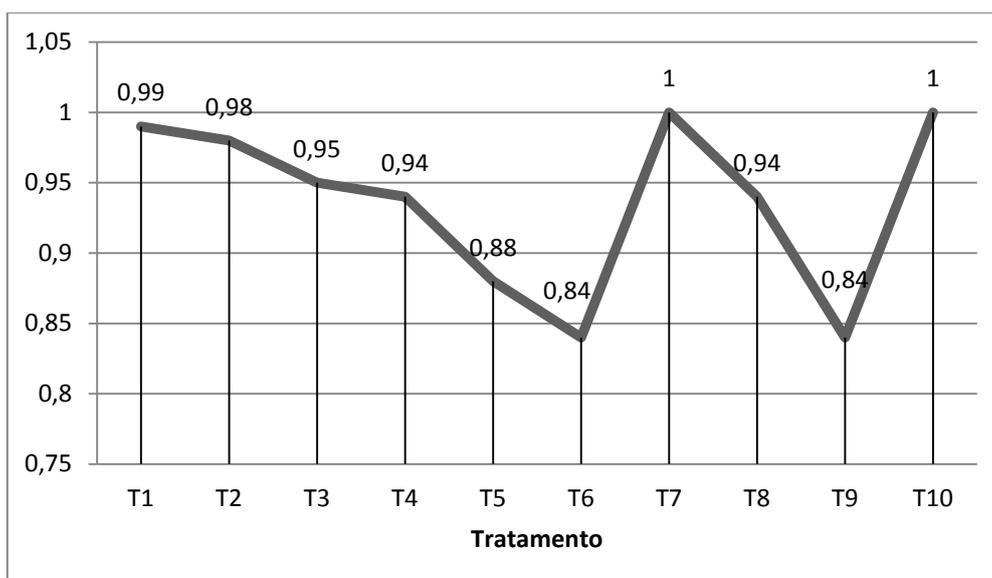
A elasticidade é o percentual que volta pela primeira compressão, sendo dimensionalmente medida (ULZIJARGAL et al. 2013). A elasticidade dos pães analisados está disposto na Tab. 11.

**Tabela 11:** Elasticidade dos pães analisados

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Elasticidade
T1 (100:0:0)	0,99 a
T2 (95:5:0)	0,98a
T3 (90:10:0)	0,95 a
T4 (90:10:0,5)	0,94 ab
T5 (90:10:1,0)	0,88 cd
T6 (90:10:1,5)	0,84 bc
T7 (85:15:0)	1,00 a
T8 (85:15:0,5)	0,94 ad
T9 (85:15:1,0)	0,84 c
T10 (85:15:1,5)	1,00 a

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Pode-se notar que nesse parâmetro do perfil de textura, as formulações 95:5:0, 90:10:0, 90:10:0,5, 85:15:0 e 85:15:0,5 não diferiram estatisticamente do padrão. No entanto, a adição de 1,0% e 1,5% de TGase demonstrou que afetar a elasticidade dos pães. Os resultados em ordem crescente de elasticidade podem ser vistos na Fig. 13.



**Figura 13:** Elasticidade dos pães analisados

Segundo Ulzijiargal et al (2013), o pão padrão correspondeu valores de elasticidade de 0,88, valores próximos aos encontrados no experimento. Segundo o autor, os valores de elasticidade variaram de 0,98 à 0,88. Para Gerrard (2002), a TGase tem influência significativa nesse parâmetro, onde uma maior concentração da enzima tende a diminuição da elasticidade.

Uma maior elasticidade pode representar características sensoriais mais aceitáveis ao consumidor, dado que a textura é um importante quesito na escolha de um produto (GULARTE, 2009).

#### 4.4.5.3 Coesividade

A coesividade segundo Ulzijiargal et al. (2013) é dimensionalmente medida de um modo geral e simplificado, pelo modo como material permanece unido após a compressão. A Tab. 12. mostra os resultados de coesividade dos pães analisados no experimento.

**Tabela 12:** Coesividade dos pães analisados

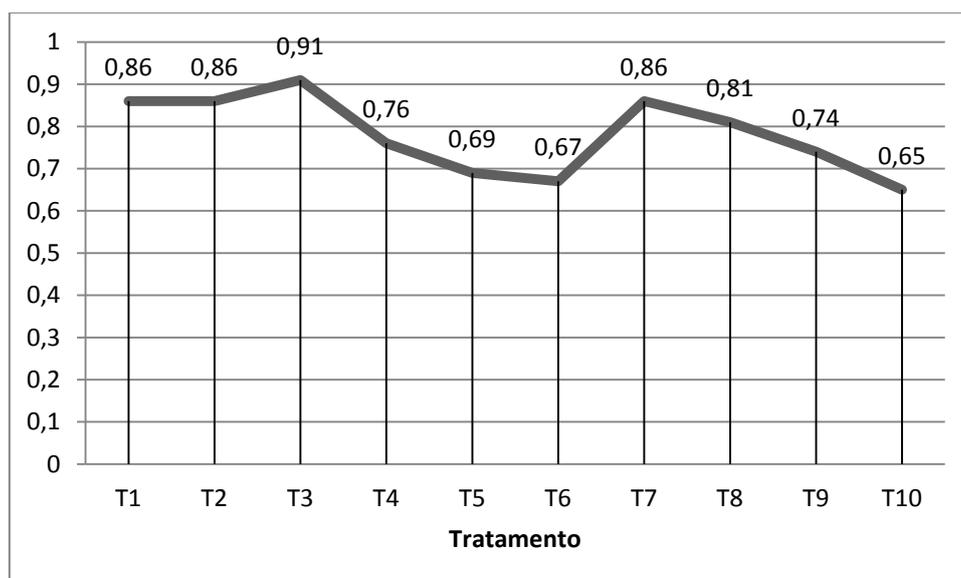
Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Coesividade
T1 (100:0:0)	0,86 ab
T2 (95:5:0)	0,86 ab
T3 (90:10:0)	0,91a
T4 (90:10:0,5)	0,76 cd
T5 (90:10:1,0)	0,69 ce
T6 (90:10:1,5)	0,67 e
T7 (85:15:0)	0,86 ab
T8 (85:15:0,5)	0,81bd
T9 (85:15:1,0)	0,74 de
T10 (85:15:1,5)	0,65 e

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o padrão e as diferentes substituições de FT por FAD. Apenas a concentração de 0,5% para a formulação 85:15 de TGase não diferiu significativamente entre as amostras com a enzima e as controle.

De acordo com Jong & Koppelman (2002), a TGase pode modificar parâmetros como coesividade, por formar novas redes de interação entre os resíduos proteicos.

Os resultados de coesividade pode ser vistos na Fig. 14.



**Figura 14** – Coesividade dos pães analisados

Este parâmetro, segundo Ulzijargal (2013), é um importante parâmetro a ser avaliado, dado que têm relação direta com outros parâmetros de textura envolvidos.

#### 4.4.5.4 Gomosidade

A gomosidade é dada pela multiplicação da dureza x coesividade (HUIDOBRO et al. 2005). Os resultados para a gomosidade dos pães analisados estão dispostos na Tab. 13.

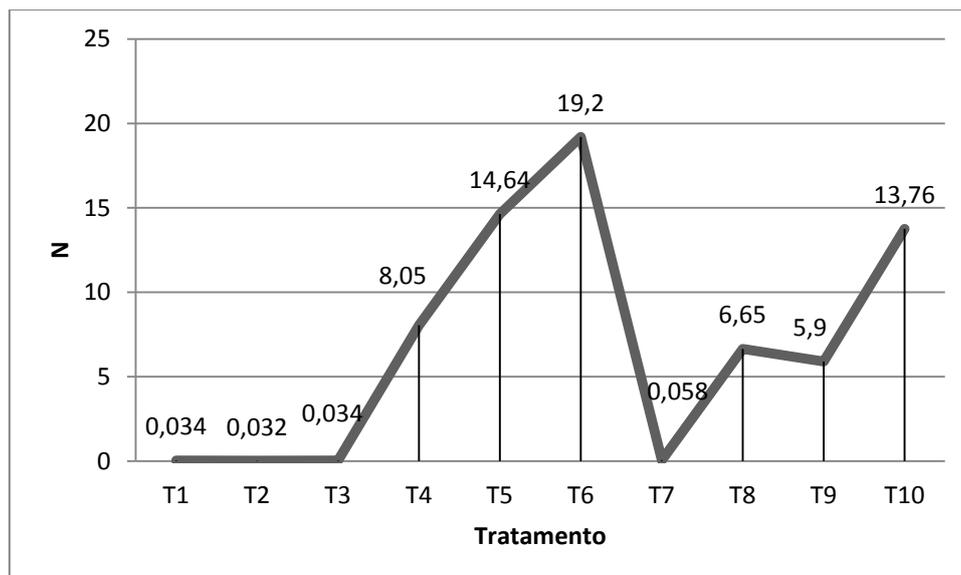
**Tabela 13:** Gomosidade dos pães analisados

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Gomosidade (N)
T1 (100:0:0)	0,034 a
T2 (95:5:0)	0,032 a
T3 (90:10:0)	0,034 a
T4 (90:10:0,5)	8,05 b
T5 (90:10:1,0)	14,64 cd
T6 (90:10:1,5)	19,20 c
T7 (85:15:0)	0,058 a
T8 (85:15:0,5)	6,65 b
T9 (85:15:1,0)	5,90 b
T10 (85:15:1,5)	13,76 d

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Semelhante a coesividade, a gomosidade não diferiu significativamente para nenhuma substituição de FAD por FT. As distinções ocorreram com a adição de enzima, onde na concentração de 1,0 e 1,5% mostrou ter maiores valores de coesividade para a pães com substituição de 10%. Nas substituições de 15%, os maiores valores foram encontrados na adição de 1,5% de TGase.

Segundo Ulziijargal et al. (2013), a inserção de outros componentes na panificação tende a alterar características de textura, dentre elas a gomosidade. Valores encontrados a adição de farinha de cogumelos demonstrou uma gomosidade na faixa de 18 à 21.



**Figura 15:** Homogeneidade dos pães analisados

#### 4.4.5.5 Mastigabilidade

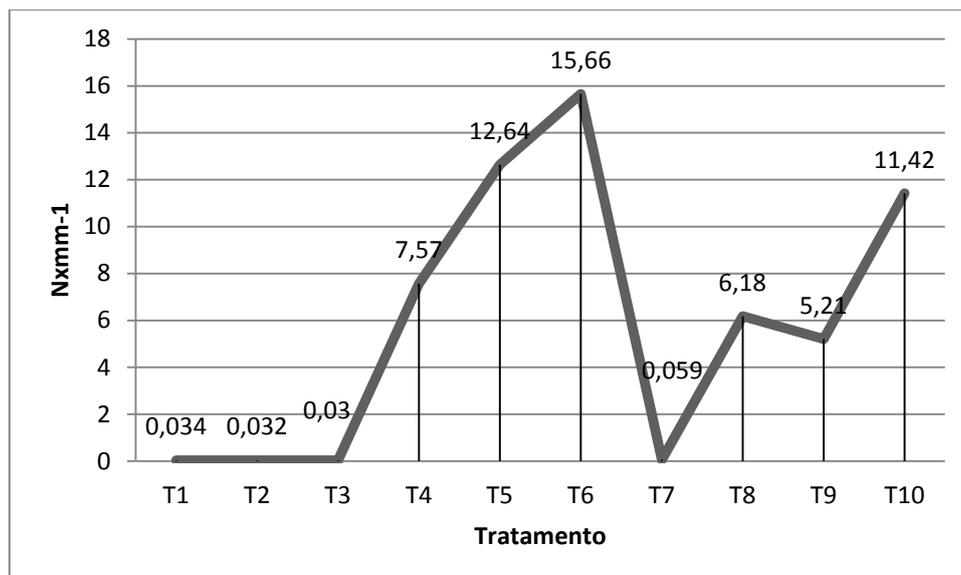
A mastigabilidade é a energia requerida para morder uma amostra sólida, em um estágio estacionário de glutição, e é expressa pela dureza dividida pela flexibilidade (HUIDOBRO et al. 2005). Os resultados de mastigabilidade estão dispostos na Tab. 14.

**Tabela 14** : Mastigabilidade dos pães analisados

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Mastigabilidade (N x mm <sup>-1</sup> )
T1 (100:0:0)	0,034 a
T2 (95:5:0)	0,032 a
T3 (90:10:0)	0,030 a
T4 (90:10:0,5)	7,57 b
T5 (90:10:1,0)	12,64 cd
T6 (90:10:1,5)	15,66 c
T7 (85:15:0)	0,059 a
T8 (85:15:0,5)	6,18 b
T9 (85:15:1,0)	5,21 b
T10 (85:15:1,5)	11,42 d

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Através dos resultados obtidos, pode-se notar que a quantidade de FAD adicionado nas amostras e o padrão não diferiu estatisticamente. No entanto, a adição de TGase, principalmente com a adição de 1,5% e 1,0% para formulações 90:10 (FT/FAD) 1,5% de TGase nas formulações 85:15 (FT/FAD) demonstraram possuir os maiores escores de mastigabilidade encontrados, com pode ser visto na Fig. 16.



**Figura 16:** Mastigabilidade dos pães analisados

Todas as concentrações de TGase adicionada as diferentes formulações testadas diferiram da amostra controle (sem adição de TGase) demonstrando que, não importando a concentração, a TGase aumenta a mastigabilidade dos pães analisados.

Segundo um estudo realizado por Gokmen et al. (2011) sobre a inserção de capsulas de omega 3 na panificação, houve um aumento da mastigabilidade dos pães analisados conforme ocorreu o aumento da quantidade de óleo adicionado, ficando na faixa de 16,8 à 37,8, com diferença estatística entre todos os tratamentos com adição desse componente e o padrão analisado.

Resultados maiores de mastigabilidade denota uma força maior no processo de glutição, o que pode acarretar em um produto com uma baixa aceitação.

#### 4.4.5.6 Flexibilidade

A flexibilidade é a força (em mm) da compressão máxima durante o segundo ciclo de compressão (HUIDOBRO, et al. 2005) ou seja, de como o objetivo se recupera entre a primeira e a segunda compressão (ULZIJARGAL et al. 2013). Os resultados de flexibilidade dos pães analisados encontram-se na Tab. 15.

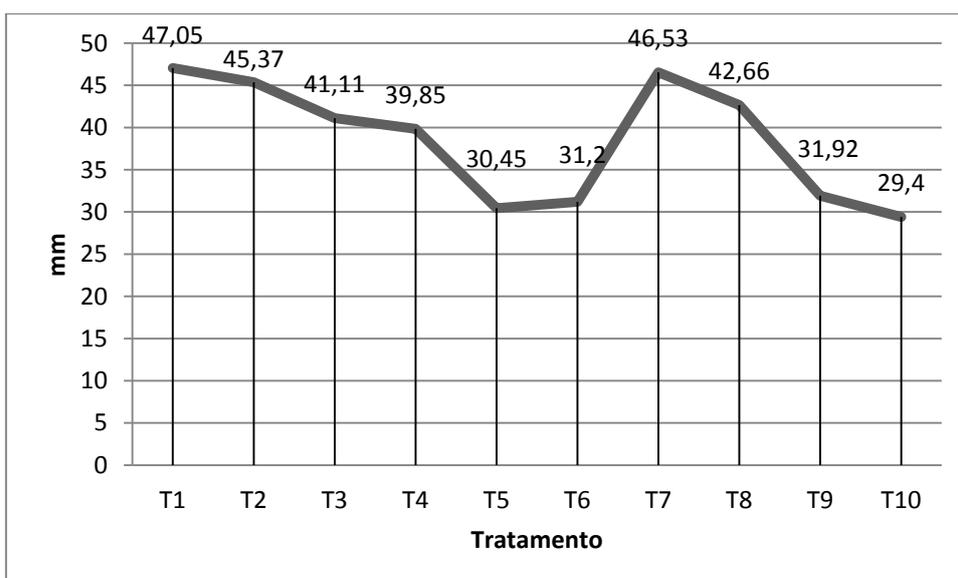
**Tabela 15:** Flexibilidade dos pães analisados

Tratamento (Proporção Farinha de Trigo:farelo de arroz:transglutaminase)	Flexibilidade (mm)
T1 (100:0:0)	47,05 a
T2 (95:5:0)	45,37 a
T3 (90:10:0)	41,11 bc
T4 (90:10:0,5)	39,85 c
T5 (90:10:1,0)	30,45 d
T6 (90:10:1,5)	31,20 d
T7 (85:15:0)	46,53 a
T8 (85:15:0,5)	42,66 ac
T9 (85:15:1,0)	31,92 d
T10 (85:15:1,5)	29,40 d

Médias de três repetições, seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Pode-se observar que ao contrário da coesividade, elasticidade e mastigabilidade, houve diferença entre a formulação 90:10:0 e padrão. Apenas as formulações 95:5:0, 85:15:0 e 85:15:0,5 não diferiram estatisticamente com relação a formulação somente com farinha de trigo, isso pode-se dar pelo grau de substituição do FAD e pela quantidade de enzima aceitável para a modificar drasticamente o parâmetro analisado.

Pode-se notar através da Fig. 17 que os menores valores de flexibilidade encontram-se nas concentrações de 1,0% e 1,5% de adição da TGase, independente da formulação ter 10% ou 15% de substituição de FAD.

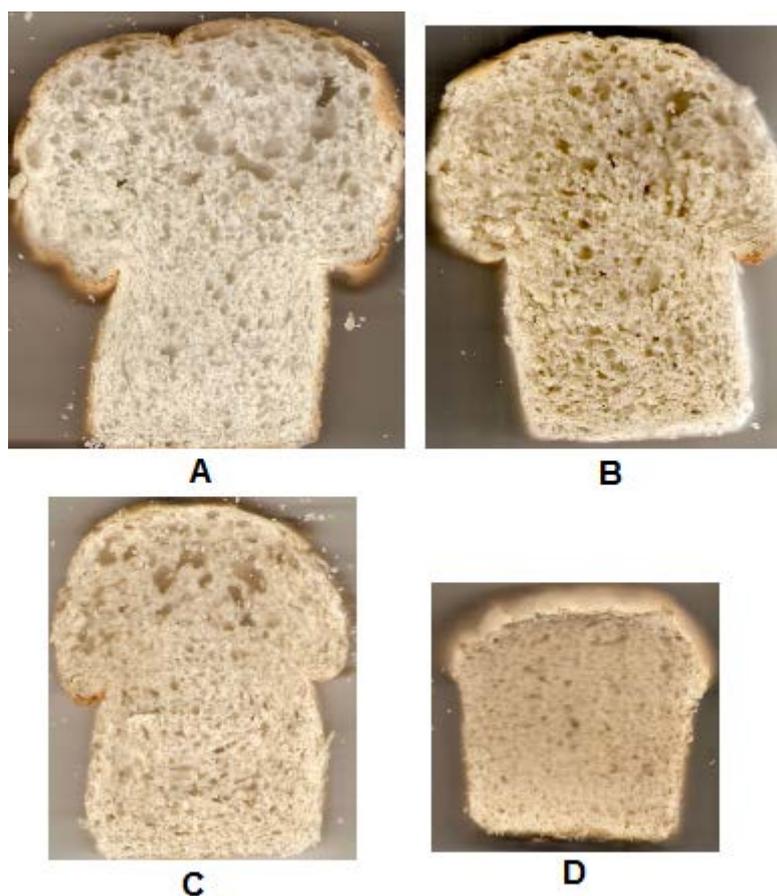


**Figura 17:** Flexibilidade dos pães analisados

Uma flexibilidade maior pode demonstrar que o pão possui uma facilidade no processo de glutição, assim como a mastigabilidade ao qual está diretamente envolvida, esse parâmetro pode resultar em uma maior aceitação do produto, e, conseqüentemente, maior lucro empresarial.

#### 4.4.6 Avaliação das imagens

A Fig. 18 representa a comparação de aparências entre o pão padrão (100:0:0) e os pães controle utilizados no experimento, com 5, 10 e 15% de substituição de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado. Pode-se notar que a substituição de 15% de FT por FAD piorou mais as características tecnológicas do produto final, principalmente pela alteração na cor e no volume dos pães analisados.



**Figura 18:** Comparação visual entre pão padrão e pães controle

Onde:

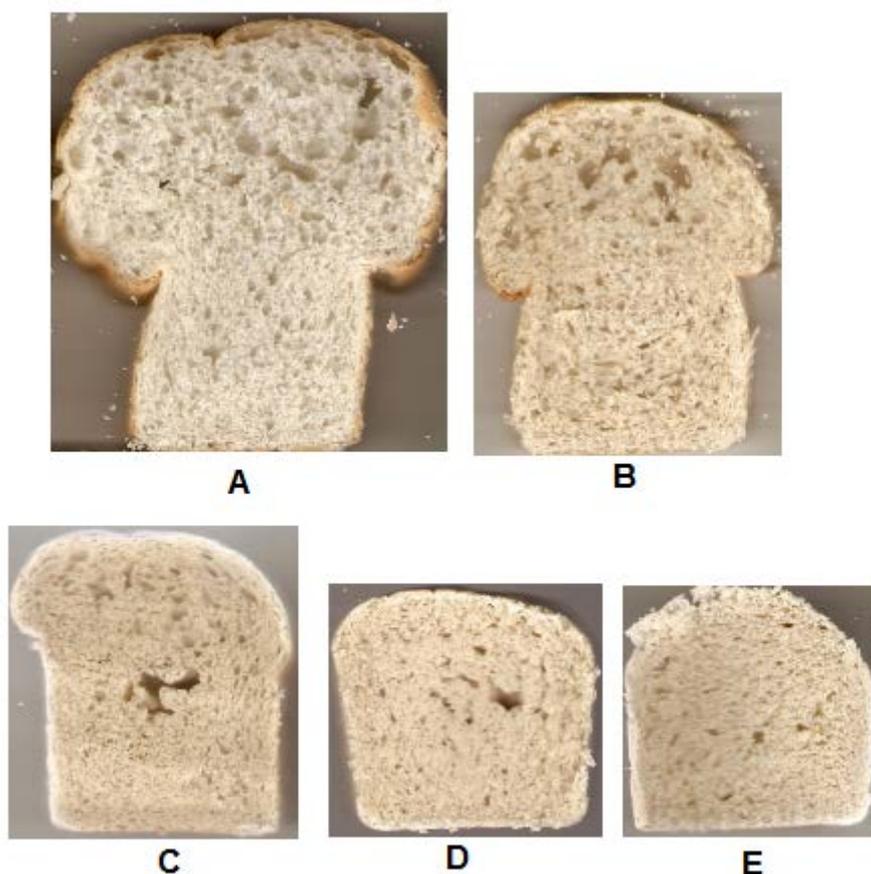
A: 100:0:0

B: 95:5:0

C: 90:10:0

D: 85:15:0

A figura 19 representa a comparação de aparências entre o pão padrão (100:0:0) e o pão controle com substituição de 10% de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado (B), seguido de adição de 0,5, 1,0 e 1,5% de TGase, C, D e E, respectivamente.



**Figura 19:** Relação visual entre pão padrão e pães com substituição de 10% de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado com presença de enzima em diferentes concentrações

Onde:

A: 100:0:0

B: 90:10:0

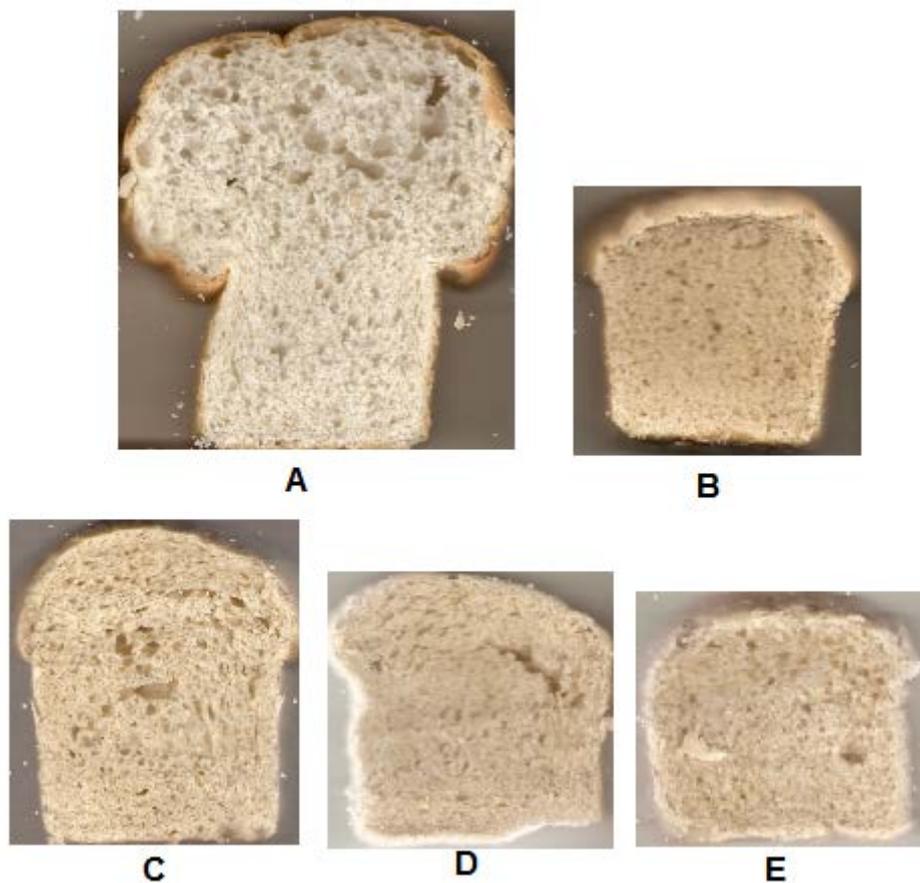
C:90:10:0,5

D: 90:10:1,0

E: 90:10:1,5

Pode-se observar que um aumento da concentração de TGase adicionada se têm um produto final mais coeso, com uma massa com poros menores e de menor volume.

A figura 20 representa a comparação de aparências entre o pão padrão (100:0:0) e o pão controle com substituição de 15% de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado (B), seguido de adição de 0,5, 1,0 e 1,5% de TGase, C, D e E, respectivamente.



**Figura 20:** Relação visual entre pão padrão e pães com substituição de 15% de farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado com presença de enzima em diferentes concentrações

Onde:

A: 100:0:0

B: 85:15:0

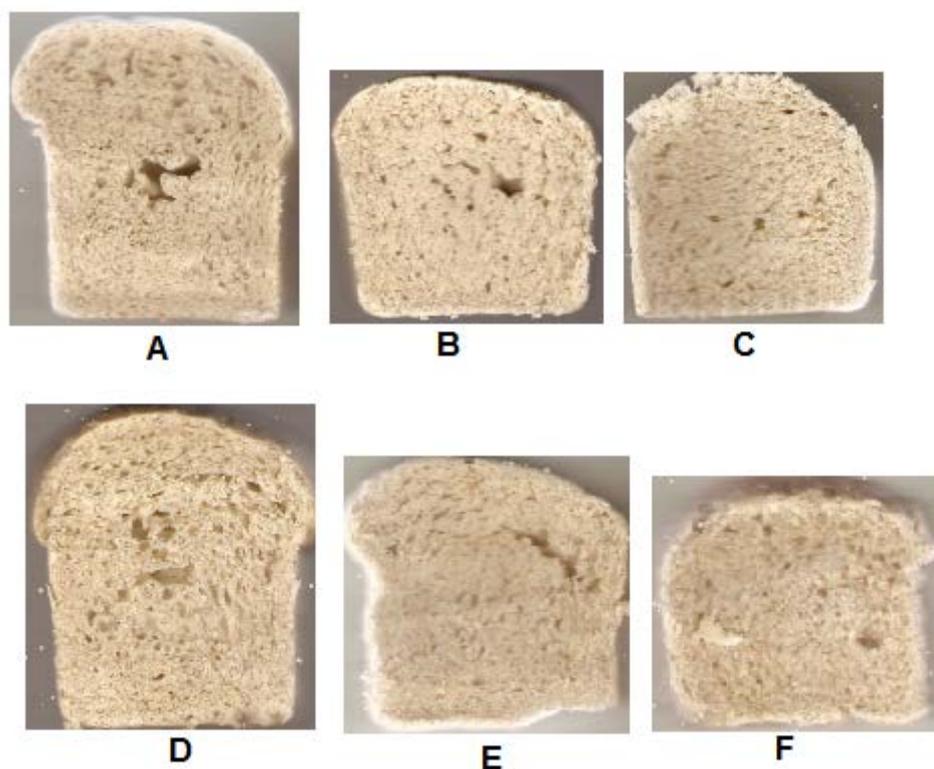
C: 85:15:0,5

D: 85:15:1,0

E: 85:15:1,5

Através da Fig. 20 pode-se notar que a TGase diminuiu o volume dos pães analisados apenas na formulação com 1,0% e 1,5%. Na concentração com adição de 0,5% de TGase houve uma melhora no volume do pão, com formação de poros mais definidos e em maior quantidade.

A Fig. 21 representa a comparação de aparências entre os pães com 0,5, 1,0 e 1,5% de TGase para 10% de substituição (A, B e C, respectivamente) e para 15% de substituição (D, E e F, respectivamente).



**Figura 21:** Relação visual entre pães com diferentes concentrações de farelo de arroz desengordurado e diferentes concentrações de TGase adicionada

Onde:

A: 90:10:0,5

B: 90:10:1,0

C: 90:10:1,5

D: 85:15:0,5

E: 85:15:1,0

F: 85:15:1,5

De acordo com a Fig. 21, pode-se ter uma idéia global das características dos pães analisados com relação a adição de TGase, onde a concentração de 0,5%, embora não significativa na melhoria das características tecnológicas do produto, tenha obtido resultados mais positivos principalmente com relação ao volume e distribuição e tamanho dos poros, tanto na

concentração de 10% e 15% de FAD. Pode-se observar também que os pães com uma concentração de 1,0% e 1,5% de TGase apresentam um miolo mais coeso com características mais compactas, de poros menores e em menor quantidade.

Segundo Reynold et al. (2012), as “células” do miolo também podem ser chamadas de “poros”, e é possível avaliar tecnologicamente o pão através de conceitos de fase sólida e fase “fluída”, onde há presença de poro que se deu por fermentação, e, dependendo do produto final e dos materiais utilizados na confecção deste, pode apresentar diferentes tipos e quantidades de poros.

Pães com maior quantidade de poros pode indicar um volume específico maior, o que pode ser benéfico na indústria, dado que um pão deste tipo tende a uma maior aceitação por parte do consumidor (SCHOENLECHNER et al. 2013).

## 5 CONCLUSÕES

Para as características tecnológicas dos pães analisados, com relação a perda de peso ao assar houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre as amostras com substituição de 5, 10 e 15% de FT por FAD. Houve diferença estatística nos diferentes percentuais de TGase adicionada. O volume específico do pão não diferiu significativamente o padrão para a substituição com 5% de FT por FAD. Na substituição de 10%, houve diferença estatística significativa entre todas as concentrações de TGase adicionada. Nas formulações com 15% de substituição de FT por FAD, não houve diferença apenas na adição de 0,5% de TGase.

Em se tratando da textura, a TGase afetou consideravelmente a dureza dos pães analisados independente na concentração de TGase adicionada, aumentando esse parâmetro. Sendo os maiores valores encontrados na adição 1,0 e 1,5% de TGase na amostra.

Para a elasticidade, não houve diferença estatística entre a amostra padrão as formulações 95:5:0, 90:10:0, 90:10:0,5, 85:15:0 e 85:15:0,5. Nas demais concentrações da enzima, houve alteração na elasticidade do pão.

Em se tratando de mastigabilidade, as formulações com 5, 10 e 15% de substituição de FT por FAD não diferiu significativamente, embora a adição de 0,5, 1,0 e 1,5% de TGase tenham aumentado a mastigabilidade dos pães analisados.

Para a coesividade, não houve diferença entre o padrão e as diferentes substituições de FT por FAD. Apenas a concentração de 0,5% de TGase na formulação 85:15 diferiu estatisticamente da formulação controle.

Ao que tange a flexibilidade, apenas as formulações 95:5:0, 85:15:0 e 85:15:0,5 não diferiram estatisticamente com relação ao padrão, demonstrando que a TGase em uma concentração maior afeta as características de flexibilidade dos pães analisados.

Com relação a coloração da casca houve uma alteração global nos parâmetros “a”, “b” e “L”. É interessante salientar que no parâmetro “L”, ao qual indica luminosidade, houve um acréscimo dos valores nas adições de 1,0 e 1,5% de TGase, independente da concentração de FAD na amostra.

Para a coloração do miolo também houve modificações gerais nos parâmetros analisados, onde um acréscimo no parâmetro “b” pode ser explicado pela inserção do FAD, ao qual possui quantidades significativas de pigmentos naturais como carotenóides.

Com as imagens dos pães do experimento pode-se notar que a substituições superiores a 5% de FT por FAD tende a alterar completamente as características tecnológicas. Pode-se notar também que a inserção da enzima modificou os pães analisados, muitas vezes diminuindo o volume e densificando o pão, tornando a massa mais coesa e com poros menores, principalmente nas formulações onde 1,0 e 1,5% da enzima foi adicionada.

## 6 REFERÊNCIAS

AACC, AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. Decima edição. Ed. St. Paul, 2000.

ALESSI, M. O. et al. Caracterização do processamento da farinha de milho biju para aproveitamento dos subprodutos. **Publ. UEPG Exatas Terra, Ci. Agr. Eng. Ponta Grossa**, v. 9, n.2, p. 31-39, 2003.

ALVAREZ-JUBETE, L.; AUTY, M.; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. **Rev. Eur Food Res Technol**, v. 230, p. 437-445, 2010.

ARAÚJO, M. A. **Química de Alimentos – Teoria e Prática**. Ed. da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, Minas Gerais. 478, 2008.

BALASUNDRAM, N. et al. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by products: Antioxidant activity, occurrence and potential uses. **Rev. Food Chemistry**, v. 99, p. 191-203, 2006.

BENNEKUM, A. M. et al. Mechanisms of cholesterol-lowering effects of dietary insoluble fibres: relationships with intestinal and hepatic cholesterol parameters. **Rev. British Journal of Nutrition**, v. 94, p. 331-337, 2005.

BELZ, M. C. E.; MAIRINGER, R.; ZANNINI, E. RYAN, L. A. M.; CASHMAN, K. D. ARENDT, E. K. The effect of sourdough and calcium propionate on the microbial shelf-life of salt reduced bread. **Rev. Applied Microbial and cell physiology**. v. 96, p. 493-501, 2012.

BILCK, A. P. et al. Aproveitamento de subprodutos: restaurantes de Londrina. **Rev. em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.2, n.1, p. 87-104, jan./abr. 2009.

BORCHANI et al. Effect of date flesh fiber concentrate addition on dough performance and bread quality. **Journal of Texture Studies**, v. 42, p. 300-308, 2011.

BRASIL. Política Nacional de Alimentação e Nutrição – Brasília, DF, outubro de 2011. Acessado em: 2 de jan. de 2012. Online. Disponível em: <<http://189.28.128.100/nutricao/docs/geral/pnan2011.pdf>>.

BRASIL. ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC nº 348, de 02 de dezembro de 2003**. Acessado em 6 abr. 2012. Online. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/rdc/348\\_03rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/rdc/348_03rdc.htm)>.

BRASIL. MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. IN – Instrução normativa **nº 6, de 16 de fevereiro de 2009**. Acessado em 5 de novembro de 2012. Online. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/regulamentos/BRA\\_264\\_add\\_1.htm](http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/regulamentos/BRA_264_add_1.htm)>.

BRUM, A. L. MULLER, P. K. A realidade da cadeia do trigo no Brasil: o elo produtores/cooperativas. **Revista de Economia E Sociologia Rural**. Rio de Janeiro, v. 46, n. 1, p. 145-169, jan/mar, 2008.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira para grãos**. Safra 2011/2012, nono levantamento, junho/2012. Acessado em 18 jun, 2012. Online. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_06\\_12\\_16\\_15\\_32\\_boletim\\_portugues\\_junho\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_06_12_16_15_32_boletim_portugues_junho_2012.pdf)>.

CORRÊA, E. K.; AVANCINI, A. R.; MONCKS, R. B. PAZ, M. F. CORRÊA, L. B. Utilização de ferramentas de educação ambiental na implantação do programa de coleta seletiva no centro de engenharias da Universidade Federal de Pelotas. **Rev. REMEA**. v. 29, 2012.

DAMODARAN, et al. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DAOU, C.; ZHANG, H. Physico-chemical properties and antioxidant activities of dietary fiber derived from defatted rice bran. **Advanced J. of Food Science and Tecnology**.v.3, n. 5, p. 339-347, 2011.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Ed. Champagnat, 2007. 239p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Food Summit – Rome declaration on world food security. Acessado em: 02 de jan. 2012.

FERRERA-REBOLLO, R. R.; SALGADO-CRUZ, M. de la P.; CHANONA-PÉREZ, J.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; ALAMILA-BELTRÁN, L.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G. Evaluation of Image Analysis Tools for Characterization of Sweet Bread Crumb Structure. **Rev. Food Bioprocess Technol.** v. 5, p. 474-484, 2012.

FISBERG, R. M. et al. Questionário de frequência alimentar para adultos com base em estudo populacional. **Rev. de Saúde Pública**. v. 42, n.3., p. 500-504. 2008.

GERRARD, J. A. Protein-protein crosslinking in food: methods, consequences, applications. **Rev. Trends in Food Science and Tecnology**, v. 13, p. 391-399, 2002.

GLÓRIA, M. M. REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do Pará: obtenção e caracterização química e funcional. **Rev. Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 240-245, 2000.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Rev. Science**, v. 327, p.812-818, 2010.

GOKMEN, V. et al. Development of functional bread containing nanoencapsulated omega-3 fatty acids. **Journal of Food Engineering**. n. 105, p. 585-591, 2011.

GULARTE, M. A. **Manual de Análise Sensorial de Alimentos**. Pelotas: Ed. da Universidade Federal de Pelotas, 2009. 105p.

GUTKOSKI, L. C. NETO, R. J. Procedimento para teste laboratorial de panificação – pão tipo forma. **Rev. Ciência Rural**. Santa Maria, v. 32, n.2, p.873-879, 2002.

GUJRAL, H. S.; ROSELL, C. M. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. **Journal of Cereal Science**. v. 39, p. 225-230, 2004.

HELBIG, E.; Consumo de arroz e Implicações Nutricionais. In: ELIAS, M.C. et al. **Qualidade de Arroz na Pós-Colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2010. cap. 10. p. 407-425.

HUIDOBRO, F. R. de, et al. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. **Rev. Meat Science**. n. 69, p. 527-536, 2005.

JONG, G.A.H. de; KOPPELMAN, S. J. Transglutaminase catalyzed reactions: Impact of Food Applications. **Journal of Food Science**. v. 67, n. 8, 2002.

JÚNIOR, M. M. S.; BASSINELLO, P. Z.; LACERDA, D. B. C. L.; KOAKUZU, S. N.; GEBIN, P. F. C.; JUNQUEIRA, T. de L.; GOMES, V. A. Características físicas e tecnológicas de pães elaborados com farelo de arroz torrado. **Revista de Ciências Agrárias**. Londrina, v. 29, n.4, p. 815-828, out-dez 2008.

LACERDA, D. B. C. L. et al. Qualidade de farelo de arroz cru, extrusado e parboilizado. **Revista de Pesquisa. Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 521-530, out./dez. 2010.

LAIRON, D. et al. Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. **The American Journal of Clinical Nutrition**. v. 82, p. 1185-1194, 2005.

LAMPIGNANO, et al. Microstructure, textural and sensorial properties of durum wheat bread as affected by yeast content. **Rev. Food Research International**. v. 50, p. 369-376, 2013.

LUDUEÑA, L. et al. Nanocellulose from rice husk following alkaline treatment to remove silica. **Bioresources**. v. 6, n. 2, p. 1440-1453, 2011.

MACEDO, J. A.; SATO, H. H. Propriedades e aplicações da transglutaminase microbiana em alimentos. **Rev. Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.16, n.4, p.413-419, out-dez. 2005.

MARCO, C.; ROSELL, C. M. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. **Journal of Food Engineering**. v. 84, p.132-139, jan. 2008a.

MARCO, C.; ROSELL, C. M. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. **Journal Food Engineering**, v.88, n.1, p.94-103, 2008b.

MOORE, M. M. et al. Network Formation In Gluten-Free Bread with Application of Transglutaminase. **Cereal Chemistry**. V. 83, n. 1, p.28–36, 2006.

MOULINEY, et al. Waxy durum and fat differ in their actions as improvers of bread quality. **Journal of Cereal Science**. v. 54, p. 317-323, 2011.

NICOLETTI, A. M. **Enriquecimento nutricional de macarrão com uso de subprodutos agroindustriais de baixo custo.**2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria.

NOORT, M. W. J.; BULT, J. H. F.; STIEGER, M. Saltiness enhancement by taste contrast in bread prepared with encapsulated salt. **Journal of Cereal Chemists.** v. 55, p. 218-225, 2012.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia.**6 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 2004. p. 930.

ONYANGO, C. et al. Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. **Journal of Food Engineering.** v. 97, p. 465-470, 2010.

ONYANGO, C. et al. Modification of glúten free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. **Journal of Food Science and Technology.** v. 44, p. 681-686, 2011.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos** -Componentes dos Alimentos e Processos. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2005. 296p. 1v.

PALLARÉS. M. G. et al. Trigo. In: LEON, A. E.; ROSELL, C. M. **De tales harinas, tales panes** – Granos, arinas y productos de panificación en Iberoamérica. Córdoba: Hugo Báez, 2007. cap. 1. p. 17-71.

PAZ, M. F.; ELIAS, M. C.; MARQUES, R. M.; CORRÊA, L. B. CORRÊA, E. K. Resíduos da indústria de beneficiamento de arroz. In: CORRÊA, E. K.; CORRÊA, L. B. **Gestão de Resíduos Sólidos.**Porto Alegre: Ed. Evangraf, 2012. Cap. 5. p. 75-96.

PESTANA, V. R.; et al. Farelo de arroz: Características, benefícios à saúde e aplicações. **Rev. B.CEPPA**, Curitiba v. 26, n. 1, p. 29-40, jan./jun. 2008.

RIBOTTA P. D. et al. Optimization of additive combination for improved soy-wheat bread quality. **Rev. Food Bioprocess Technol.** n. 3, p. 395-405, 2010.

ROSELL, C. M et al. Arroz. In: LEON, A. E.; ROSELL, C. M. **De tales harinas, tales panes** – Granos, arinas y productos de panificación en Iberoamérica. Córdoba: Hugo Báez, 2007. cap. 3. p. 125-259.

PEREIRA, J. M. Aplicação de beta-glúten e amido oxidado de aveia em pães elaborados com farinha de arroz. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 88p. 2011.

PIZZINATTO, A.; CAMPAGNOLLI, D. M. F. **Avaliação tecnológica de produtos derivados de farinhas de trigo (pão, macarrão, biscoito)**. Centro de Tecnologia de Farinhas e Panificação, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 54p. Campinas, SP, 1993.

QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnologia de la panificación**. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, Espanha. 1991.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004, 184p.

SAIRAM, S. et al. Physico-chemical characteristics of defatted rice bran and its utilization in bakery product. **Journal of Food Science and Technology**. v. 48, n. 4, p. 478-483, 2011.

SCIARINI, et al. Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 11, p. 2306-2312, 2010.

SHARIF, K. BUTT, M. S. Preparation of fiber and mineral enriched pan bread by using defatted rice bran. **International Journal of Food Properties**. Qaboos, Sultão. v. 9, p. 623-636, 2006.

SCHMIDHUBER, J.; TUBIELLO, F. N. Global food security under climate change. **Rev. Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**. v. 104, n. 50, p. 19703-19708, 2007.

STORCK, C.R. Aplicação de transglutaminase e de fontes protéicas na panificação com farinha de arroz. **Tese**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 147 f. 2009.

TANAKA, T. et al. Production of D-lactic acid from defatted rice bran by simultaneous saccharification and fermentation. **Rev. Bioresource Technology**. v. 97, p. 211–217, 2006.

ULGIATI, S. BROWN, M. T. Emergy and ecosystem complexity. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**. v. 14, p. 310-321, 2009.

ULZIJARGAL, E. et al. Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. **Rev. Food Chemistry**, n. 138, p. 70-76, 2013.

WANG, J. et al. . Effect of addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**. v. 79, p. 221-226, 2002.

WANG, M. et al. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. **Journal Agric. Food Chem.** n. 47, p. 411-416, 1999.

WIBOONSIRIKUL, J. et al. Properties of Extracts from Defatted Rice Bran by Its Subcritical Water Treatment. **J. Agric. Food. Chem.**, v. 55, p. 8759–8765, 2007.