

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**Elaboração de *Fishburger* com Resíduos da Filetagem da
Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758)
adicionado de Transglutaminase**

Bruno Vilarinho Victorino Pinto

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS**

**ELABORAÇÃO DE *FISHBURGER* COM RESÍDUOS DA FILETAGEM
DA TILÁPIA DO NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*, LINNAEUS 1758)
ADICIONADO DE TRANSGLUTAMINASE**

BRUNO VILARINHO VICTORINO PINTO

Sob a Orientação da Professora
Gesilene Mendonça de Oliveira

e Co-orientação do Professor
Rômulo Cardoso Valadão

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração Ciência de Alimentos

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2017

P659e Pinto, Bruno Vilarinho Victorino , 1984-
Elaboração de Fishburger com Resíduos da Filetagem
da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus
1758) adicionado de Transglutaminase / Bruno
Vilarinho Victorino Pinto. - 2017.
96 f.: il.

Orientadora: Gesilene Mendonça Oliveira.
Coorientador: Rômulo Cardoso Valadão.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2017.

1. Enzima. 2. Polpa de Pescado. 3. Coprodutos. I.
Oliveira, Gesilene Mendonça, 1972-, orient. II.
Valadão, Rômulo Cardoso , -, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

BRUNO VILARINHO VICTORINO PINTO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08/02/17

Gesilene Mendonça de Oliveira. Dr^a. UFRRJ
(Orientadora)

Cristiane Hess de Azevedo Meleiro. Dr^a. UFRRJ
(Membro Interno)

Renata Torrezan. Dr^a. EMBRAPA – CTAA
(Membro Externo)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais André e Rosane que sempre me incentivaram e me deram todas as condições para avançar nos estudos.

A minha irmã Lívia pelo apoio, carinho e compreensão.

A minha noiva Amanda pelo amor, carinho, compreensão e companheirismo em todas as horas; pela ajuda na realização deste projeto.

Aos amigos e familiares que torceram pelo meu sucesso e me apoiaram.

Expresso aqui os meu sincero obrigado a todos!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Gesilene Mendonça pelo apoio, confiança, paciência e amizade, e por ter me aceitado como aluno orientado, mesmo passado 6(seis) meses de curso; por toda sua dedicação com seus alunos, mesmo durante o trabalho prático dos projetos.

A técnica Elizete Amorin que esteve sempre presente na realização das análises, por sua dedicação, amizade, paciência, compreensão e ensinamentos;

A direção do Centro Federal Tecnológico Celso Suckow da Fonceca (CEFET), campus Valença/RJ por ter permitido a utilização de seus laboratórios para realização das análises centesimal e de textura.

Ao técnico do laboratório do CEFET/RJ, campus Valença/RJ, Plínio e as técnicas Larissa e Silvana pelo disponibilidade durante as análises.

A médica veterinária da FIPERJ Dra. Dalva Ribas por promover o contato com a Cooperativa de Aquicultores do Sul Fluminense – Peixe Sul LTDA para aquisição da matéria-prima.

A Cooperativa de Aquicultores do Sul Fluminense – Peixe Sul LTDA por permitir o acompanhamento do processo de obtenção da matéria-prima.

A minha noiva Amanda pelo grande auxílio na realização dos ensaios práticos e análises.

Ao Professor Rômulo Cardoso Valadão por ter aceitado ser meu co-orientador e pelos ensinamentos.

A Professora Cristiane Hess por possibilitar o envio do produto para o Laboratório de óleos da UNICAMP e sua disponibilidade na interpretação dos resultados.

A técnica Edilene pela disponibilidade em levar a amostra do produto até o Laboratório em Campinas/SP

RESUMO

PINTO, Bruno Vilarinho Victorino. **Elaboração de *Fihburgers* com Resíduos da Filetagem de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758) Adicionado de Transglutaminase**. 2017. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

O consumo de pescado tem sido associado a hábitos saudáveis, principalmente pelo alto teor de proteínas e pela presença de ácidos graxos poli-insaturados ômega 3 e 6, além de vitaminas e minerais. A tilápia vem se destacando no cenário nacional como uma das principais espécies da aquicultura, sendo a espécie mais cultivada. Este crescimento vem causando um aumento na demanda pela industrialização deste peixe, tendo em vista que o principal produto comercializado é o filé, porém, resíduos do beneficiamento da tilápia correspondem a 65%. Parte destes resíduos, como é o caso do espinhaço de tilápia (carcaça com a carne aderida após o processo de filetagem), pode ser destinado a obtenção de carne mecanicamente separada (CMS) para elaboração de coprodutos de pescado com boa qualidade nutricional. Neste contexto, o uso da enzima transglutaminase na elaboração de derivados de pescado, principalmente produtos formatados de pescado, torna-se interessante por fornecer boas propriedades texturais, aumentando a aceitabilidade dos produtos. O objetivo deste estudo foi desenvolver um *fishburger* a partir da CMS de espinhaços de tilápia adicionado de transglutaminase, visando agregação de valor e otimização do uso dos resíduos gerados no processamento da tilápia. A matéria prima (CMS) foi analisada quanto a composição centesimal, característica físico química e microbiológica. A qualidade nutricional do produto foi avaliada através do perfil em ácidos graxos, além da avaliação centesimal, físico química e microbiológica. Tanto o produto como a matéria prima apresentaram característica físico química e microbiológica satisfatória. Para avaliação das melhores respostas na elaboração dos *fishburgers* foi utilizado a metodologia de superfície de resposta, usando como variáveis independentes: percentual de água (5, 9, 15, 21 e 25%), fécula de mandioca (0, 2, 5, 8, 10%) e transglutaminase (0; 0,4; 1; 1,6 e 2%), e como variáveis dependentes: teor de umidade, capacidade de retenção de água, percentual de encolhimento, rendimento na cocção e perfil de textura (dureza, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade). Resultados satisfatórios foram obtidos para as maiores concentrações de fécula e transglutaminase e para os menores percentuais de água. Deste modo, foram elaborados duas novas formulações de *fishburgers* fixando-se a água e fécula em 0 e 10%, respectivamente, e variando a transglutaminase em 2,3 e 2,5%. Estes *fishburgers* foram destinados à avaliação centesimal e nutricional. Tanto o produto cru como o grelhado obtiveram bons índices quanto a composição centesimal, destacando-se o baixo conteúdo lipídico e elevado teor de proteínas. O aproveitamento dos espinhaços para obtenção de CMS e sua destinação para elaboração de coprodutos de pescado para alimentação humana mostrou-se viável, uma vez que o produto obtido apresentou boa qualidade nutricional, com baixo conteúdo de gordura. A aplicação da enzima transglutaminase foi eficiente na melhoria das propriedades texturais. Porém, para as demais variáveis respostas a fécula de mandioca mostrou-se mais eficiente.

Palavras-chave: enzima, polpa de pescado, coprodutos.

ABSTRACT

PINTO, Bruno Vilarinho Victorino. **Elaboration of Fishburgers with Nile Tilapia Filleting Residues (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758) Transglutaminase Addition**. 2017. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Fish consumption has been associated with healthy habits, mainly due to the high protein content and the presence of polyunsaturated fatty acids omega 3 and 6, as well as vitamins and minerals. Tilapia has been prominent in the national scenario as one of the main aquaculture species, being the most cultivated species. This growth has caused an increase in the demand for the industrialization of this fish, considering that the main product commercialized is filet. However, residues from tilapia processing correspond to 65%, generating large volumes. Part of these residues, such as the tilapia ridge (carcass with meat adhered after the filleting process), can be used to obtain mechanically separated meat (CMS) for the production of fish co-products with good nutritional quality. In this context the use of the transglutaminase enzyme in the elaboration of fish derivatives, mainly fish shaped products, becomes interesting to provide good textural properties, increasing the acceptability of the products. The objective of this study was to develop a fishburger from the TMS of tilapia spines, added with transglutaminase aiming at adding value to the product and optimizing the use of the residues generated in tilapia processing. The raw material (CMS) was analyzed for the composition centesimal, chemical and microbiological physical characteristics. The nutritional quality of the product was evaluated through the fatty acid profile, besides the centesimal, chemical and microbiological evaluation. Both the product and the raw material presented satisfactory chemical and microbiological physical characteristics. For the evaluation of the best answers in the elaboration of the fishburgers, the response surface methodology was used, using as independent variables: water percentage (5, 9, 15, 21 and 25%), manioc starch (0, 2, 5, 8, 10%) and transglutaminase (0, 0.4, 1, 1.6 and 2%), and as dependent variables: moisture content, water retention capacity, percentage of shrinkage, cooking yield and texture (hardness, cohesiveness, elasticity, guminess and chewing). Satisfactory results were obtained for the highest concentrations of starch and transglutaminase and for the lowest percentages of water. Thus, two new formulations of fishburgers were prepared by fixing the water and starch to 0 and 10%, respectively, and varying the transglutaminase by 2.3 and 2.5%. These fishburgers were intended for centesimal and nutritional evaluation. Both the raw and the grilled product had good indices as to the centesimal composition, being the low lipid content and high protein content. The nutritional quality of the fishburgers showed a good profile in fatty acids, highlighting. The utilization of the spine to obtain CMS and its destination for the elaboration of co-products of fish for human consumption proved to be feasible, since the product obtained presented good nutritional quality, with low fat content. The application of the transglutaminase enzyme was efficient in improving textural properties. However, for the other variables, cassava starch proved to be more efficient.

Key words: enzyme, fish pulp, co-products.

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1	Composição centesimal da CMS de tilápia obtida por diferentes autores	16
Tabela 2	Valores reais utilizados no DCCR 2 ³ para otimização da formulação	21
Tabela 3	Matriz do delineamento experimental	22
Tabela 4	Formulação das amostras de <i>fishburger</i> utilizando o DCCR 2 ³	23
Tabela 5	Composição centesimal da Carne mecanicamente separada de Tilápia	29
Tabela 6	Avaliação microbiológica da carne mecanicamente separada de espinhaço de tilápia	32
Tabela 7	Composição centesimal dos <i>fishburgers</i> de Tilápia crú e grelhado	32
Tabela 8	Valores de pH dos <i>fishburgers</i> de Tilápia crú e grelhado	35
Tabela 9	Avaliação microbiológica dos <i>fishburgers</i> de tilápia	35
Tabela 10	Resultado do teor umidade dos <i>fishburgers</i> em função da quantidade de água, fécula e MTGase	36
Tabela 11	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no teor de umidade (%) dos <i>fishburgers</i>	37
Tabela 12	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no teor de umidade	37
Tabela 13	Formulação para repetição dos ensaios com base no modelo matemático	40
Tabela 14	Teores de umidade obtidos experimentalmente e previstos pelo modelo	41
Tabela 15	Resultado da Capacidade de retenção de água dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	42
Tabela 16	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na CRA (%) dos <i>fishburgers</i>	43

		Página
Tabela 17	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na CRA dos <i>fishburgers</i>	43
Tabela 18	Capacidade de retenção de água obtida experimentalmente e previstas pelo modelo	45
Tabela 19	Resultado do rendimento na cocção dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	46
Tabela 20	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no rendimento na cocção (%) dos <i>fishburgers</i>	47
Tabela 21	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no percentual de rendimento na cocção	47
Tabela 22	Percentual de rendimento na cocção obtida experimentalmente e previstas pelo modelo	50
Tabela 23	Resultado do encolhimento dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	51
Tabela 24	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no percentual de encolhimento dos <i>fishburgers</i>	52
Tabela 25	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTgase no percentual de encolhimento dos <i>fishburgers</i>	52
Tabela 26	Resultado no percentual de encolhimento dos <i>fishnurgers</i> de acordo com a variação na quantidade de MTgase	54
Tabela 27	Resultado da dureza dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	55
Tabela 28	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTgase no parâmetro dureza dos <i>fishburgers</i>	56
Tabela 29	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTgase na dureza dos <i>fishburgers</i>	56
Tabela 30	Dureza obtida experimentalmente e previstas pelo modelo	57

		Página
Tabela 31	Resultado da coesividade dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	58
Tabela 32	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTgase no parâmetro coesividade dos <i>fishburgers</i>	59
Tabela 33	Resultado na coesividade dos <i>fishnurgers</i> de acordo com a variação na quantidade de MTgase	59
Tabela 34	Resultado da elasticidade dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	60
Tabela 35	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTgase no parâmetro elasticidade dos <i>fishburgers</i>	61
Tabela 36	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTgase na elasticidade dos <i>fishburgers</i>	62
Tabela 37	Resultado na elasticidade dos <i>fishnurgers</i> de acordo com a variação na quantidade de MTgase	62
Tabela 38	Resultado da gomosidade dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	63
Tabela 39	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTgase no parâmetro gomosidade dos <i>fishburgers</i>	64
Tabela 40	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTgase na gomosidade dos <i>fishburgers</i>	64
Tabela 41	Gomosidade obtida experimentalmente e previstas pelo modelo	66
Tabela 42	Resultado da mastigabilidade dos <i>fishburgers</i> em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase	67
Tabela 43	Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTgase no parâmetro mastigabilidade dos <i>fishburgers</i>	68
Tabela 44	Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTgase na mastigabilidade dos <i>fishburgers</i>	68
Tabela 45	Gomosidade obtida experimentalmente e previstas pelo modelo	70

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Crescimento da produção mundial de pescado	4
Figura 2	Produção mundial de pescado por segmento	5
Figura 3	Comparação entre o pescado destinado e não destinado ao consumo humano	8
Figura 4	Consumo nacional <i>per capita</i> de pescado no Brasil	9
Figura 5	Reações catalisadas pela MTgase: a) ligação cruzada entre glutamina e lisina de proteína ou peptídeo, b) incorporação de amina, c) desaminação	18
Figura 6	Fluxograma de Processamento do <i>fishburger</i> de Tilápia	24
Figura 7	(A) CMS de tilápia descongelada (B) Lavagem e drenagem da CMS (C) Ingredientes pesados e acondicionados (D) Homogeneização da massa (E) Moldagem (F) Formatação	25
Figura 8	Processo de grelhagem dos <i>fishburgers</i> de Tilápia	27
Figura 9	Texturômetro com sonda SMS P/35 para teste de compressão	28
Figura 10	Curva típica de análise de perfil de textura (TPA)	28
Figura 11	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do teor de umidade (%) em função da concentração de fécula de mandioca e de água	38
Figura 12	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do teor de umidade (%) em função da concentração de água e MTgase	39
Figura 13	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do teor de umidade (%) em função da concentração de MTgase e fécula	39
Figura 14	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) da capacidade de retenção de água (%) em função da concentração de MTgase e fécula	44
Figura 15	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de rendimento na cocção em função da concentração (%) de água e fécula	48

		Página
Figura 16	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de rendimento na cocção em função da concentração (%) de água e MTgase	48
Figura 17	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de rendimento na cocção em função da concentração (%) de fécula e MTgase	49
Figura 18	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de encolhimento em função da concentração (%) de água e fécula	53
Figura 19	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) da gomosidade em função da concentração (%) de MTgase e fécula	65
Figura 20	Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) da mastigabilidade em função da concentração (%) de MTgase e fécula	68

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Aw	Atividade de água
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
CMS	Carne Mecanicamente Separada
CHO	Carboidratos
Cnz	Cinzas
Coesiv.	Coesividade
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRA	Capacidade de Retenção de Água
CTP	Carne Triturada de Pescado
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DHA	Ácido Docosaheptaenoico
DTA	Departamento de Tecnologia de Alimentos
Elastic	Elasticidade
EPA	Ácido Eicosapentaenoico
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
Gomos	Gomosidade
IAL	Instituto Adolfo Lutz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IT	Instituto de Tecnologia
LAAB	Laboratório Analítico de Alimentos e Bebidas
Lip.	Lipídeos
Mastig	Mastigabilidade
MPA	Ministério da Pesca e Aquicultura
MAPA	Ministério da Agricultura, Pesca e Pecuária
MSR	Metodologia de Superfície de Resposta
MTGase	Transglutaminase bacteriana
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial de Saúde
POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares
pH	Potencial de hidrogênio
ptn	Proteínas
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
RIISPOA	Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
RTIQ	Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade
TPA	Análise do Perfil de Textura
UFC	Unidade Formadoras de Colônia
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1 Panorama Mundial e Nacional da Produção de Pescado	3
3.2 Consumo Mundial e Nacional de Pescado	7
3.3 Panorama Geral da Produção de Tilápia	10
3.4 Composição Química do Pescado	11
3.5 Geração de Resíduos na Indústria do Pescado	12
3.6 Elaboração de Coprodutos a Base de Resíduos de Pescado	14
3.7 Transglutaminase	17
3.8 Perfil de Textura em Alimentos	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Matéria-Prima	20
4.1.1 Obtenção	20
4.1.2 Caracterização Química e Avaliação da Qualidade	20
4.1.3 Determinação da Centesimal	20
4.1.4 Caracterização Físico Química	20
4.1.5 Avaliação da Qualidade Microbiológica	21
4.2 Planejamento Experimental para Elaboração dos <i>Fishburgers</i>	21
4.2.1 Planejamento Experimental	21
4.2.2 Formulação	22
4.3 Pesagem dos Ingredientes	23
4.4 Preparo dos <i>Fishburgers</i>	23
4.5 Produto Final	25
4.5.1 Avaliação Nutricional e Sanitária	25
4.5.1.1 Determinação Centesimal dos <i>Fishurgers</i>	25
4.5.1.2 Análises Físico Química dos <i>Fishburgers</i>	26
4.5.1.3 Avaliação Microbiológica dos <i>Fishburgers</i>	26
4.6 Análises para a Avaliação dos Parâmetros Estudados no DCCR	26
4.6.1 Umidade	26
4.6.2 Capacidade de Retenção de Água	26
4.6.3 Porcentual de Rendimento na Cocção	27
4.6.4 Percentual de Encolhimento	27
4.6.5 Análise do Perfil de Textura (TPA)	27
4.7 Análise Estatística	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Caracterização Química e Qualidade da Matéria-Prima	30
5.2 Avaliação Microbiológica da Matéria-Prima	31
5.3 Característica Centesimal, Físico Química e Microbiológica dos <i>Fishburgers</i>	32
5.3.1 Composição Centesimal dos <i>Fishburgers</i>	32
5.3.2 Avaliação Físico Química dos <i>Fishburgers</i>	35
5.3.3 Avaliação Microbiológica dos <i>Fishburgers</i>	35

5.4 Variáveis Respostas	36
5.4.1 Teor de Umidade	36
5.4.2 Capacidade de Retenção de Água (CRA)	41
5.4.3 Percentual de Rendimento na Cocção	46
5.4.4 Percentual de Encolhimento	51
5.4.5 Análise do Perfil de Textura (TPA)	54
5.4.5.1 Dureza	51
5.4.5.2 Coesividade	57
5.4.5.3 Elasticidade	59
5.4.5.4 Gomosidade	63
5.4.5.5 Mastigabilidade	66
6 CONCLUSÃO	71
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 INTRODUÇÃO

O consumo e a produção de pescado vêm crescendo nos últimos anos, tanto a nível nacional como a nível mundial. Este crescimento é resultado, além de outros fatores, de um aumento na demanda de pescado, muito pela mudança de hábitos dos consumidores ao optar por fontes proteicas com menores teores de gordura. Neste contexto, o pescado adequa-se perfeitamente, ao fornecer proteínas de alto valor biológico, aminoácidos essenciais, vitaminas, minerais e ácidos graxos das famílias ômega-3 e ômega-6, importantes na prevenção de doenças cardiovasculares. Do mesmo modo, coprodutos obtidos a partir da tilápia apresentam baixo teor de gordura, o que é ponto positivo, tendo em vista a tendência alimentar por dietas com baixo conteúdo lipídico, e consequentemente efeitos benéficos à saúde.

Por outro lado, o aumento na produção e consumo de pescado provoca, paralelamente, a geração de grandes volumes de resíduos. No caso da tilápia, peixe originário da África, o beneficiamento da espécie tem o rendimento médio em filé de 35%, sendo o 65% restante resíduos do beneficiamento. Se considerarmos que, atualmente, a tilápia é a espécie mais cultivada na aquicultura nacional, com produção anual de aproximadamente 198 mil toneladas em 2014 segundo o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, o montante de resíduos gerado torna-se expressivo, sendo necessário realizar o correto gerenciamento para promoção da sustentabilidade ambiental, social e econômica. Resíduos do beneficiamento da tilápia são formados por cabeça, vísceras, escamas, aparas do filé e o espinhaço (carcaça com a carne aderida após a filetagem). Destes, o espinhaço e as aparas do filé são classificados como resíduos comestíveis, ou seja, destinado à obtenção de subprodutos para a alimentação humana.

Pesquisas avaliando a qualidade dos resíduos do beneficiamento de pescado destacam o valor nutricional em sua composição, indicando a presença de alto teor de proteínas, além de minerais e lipídeos, incluindo ácidos graxos ômega-3 e ômega-6, e deste modo podendo ser destinados à elaboração de produtos derivados de pescado. Entretanto, mesmo com estudos sendo feitos para melhor aproveitamento dos resíduos gerados no processamento do pescado, ainda sim a diversidade de produtos encontrados no mercado consumidor é baixo, o que contribui para os baixos índices de consumo de pescado *per capita* no Brasil.

A elaboração de formatados de pescado, mais especificamente *fishburgers*, a partir da carne mecanicamente separada (CMS) obtida de espinhaços vem sendo considerado uma tecnologia inovadora e de baixo custo. Além disso, seu processo de fabricação é simples e não requer equipamentos sofisticados, o que pode ser uma vantagem para a cadeia da pesca artesanal, uma vez que permite a produção destes produtos com baixos investimentos. No entanto, no desenvolvimento de coprodutos, como o *fishburger*, a textura, aroma e a aparência são fatores importantes a serem considerados. Neste sentido, a aplicação da enzima transglutaminase (MTGase) traz melhorias as propriedades de textura e aparência, tornando estes produtos mais atrativos para os consumidores.

A MTGase é uma enzima que atua como coadjuvante de tecnologia, formando ligações cruzadas covalentes, estáveis, ocorrendo entre os aminoácidos glutamina e lisina. Seu uso possibilita a otimização do aproveitamento de subprodutos comestíveis, como aparas da filetagem de peixes e a CMS obtida de espinhaços, na elaboração de produtos reestruturados, e assim agregação de valor. Sendo assim, o uso dos resíduos da filetagem da tilápia no desenvolvimento de produtos reestruturados, adicionados de MTGase, torna-se interessante, tanto no ponto de vista nutricional e tecnológico, como nas questões ambientais, contribuindo assim para agregação de valor à matéria-prima e seus subprodutos, bem como à redução dos impactos ambientais ocasionados pelo descarte inadequado desses resíduos no ambiente.

Portanto, este trabalho propõe uma opção de aproveitamento do resíduo denominado espinhaço de tilápia para a obtenção de CMS, visando a produção de *fishburgers* com a aplicação da enzima MTGase em sua formulação a fim de promover características particulares de textura e aparência ao produto, o que contribuirá para a redução do descarte inadequado do resíduo, além do aumento na oferta de coprodutos de fácil e preparo e conveniência ao mercado consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este projeto objetiva o desenvolvimento de um produto denominado *Fishburger*, a partir do resíduo da filetagem de tilápia (espinhaço), adicionado da enzima transglutaminase, visando agregação de valor ao produto e otimização do uso dos resíduos gerados durante o processamento da tilápia.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a composição nutricional e qualidade sanitária da matéria-prima denominado polpa de tilápia e do produto *fishburger*, obtidos através do espinhaço;
- Analisar por metodologia de superfície de resposta a influência dos teores de água, fécula de mandioca e da enzima transglutaminase microbiana nas variáveis resposta percentual de umidade, capacidade de retenção de água (CRA), encolhimento, rendimento e textura instrumental;
- Caracterizar quimicamente o produto *fishburger* da melhor formulação prevista pelo modelo matemático;
- Avaliar a aplicação tecnológica da enzima transglutaminase na formulação do produto;
- Oferecer subsídios para a geração de novas alternativas para aproveitamento dos resíduos do processo de filetagem da tilápia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Panorama Mundial e Nacional da Produção de Pescado

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), no período entre 2000 a 2014, a produção mundial de pescado variou de 131,1 a 167,2 milhões de toneladas (Figura 1) (FAO, 2007; FAO, 2012; FAO, 2014b; FAO 2016).

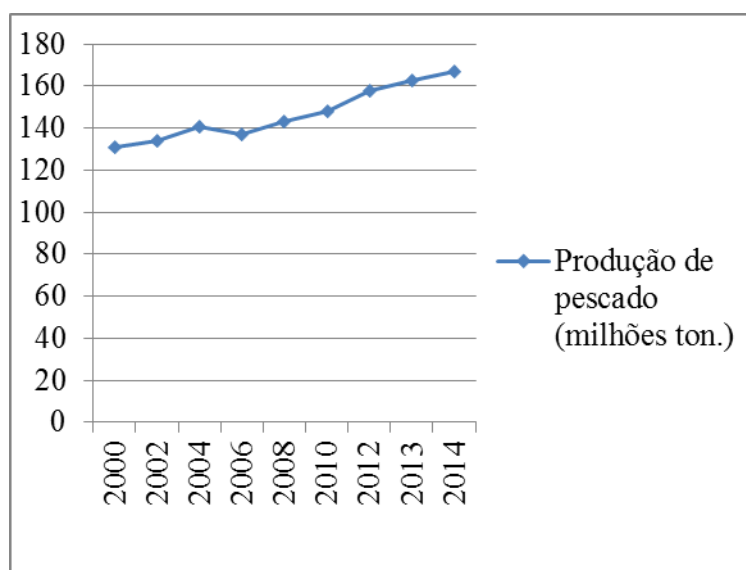


Figura 1. Crescimento da produção mundial de pescado
Fonte: FAO, 2016

Levando-se, ainda, em consideração os dados da FAO apresentados na Figura 2, estes revelam que a produção oriunda da aquicultura, neste período, saltou de 35,5 milhões de toneladas para 73,8 milhões de toneladas. Em comparação, a pesca extrativista permaneceu estagnada ao longo desses anos, com a variação entre 86,6 e 93,4 milhões (FAO, 2012; FAO, 2014b; FAO, 2016).

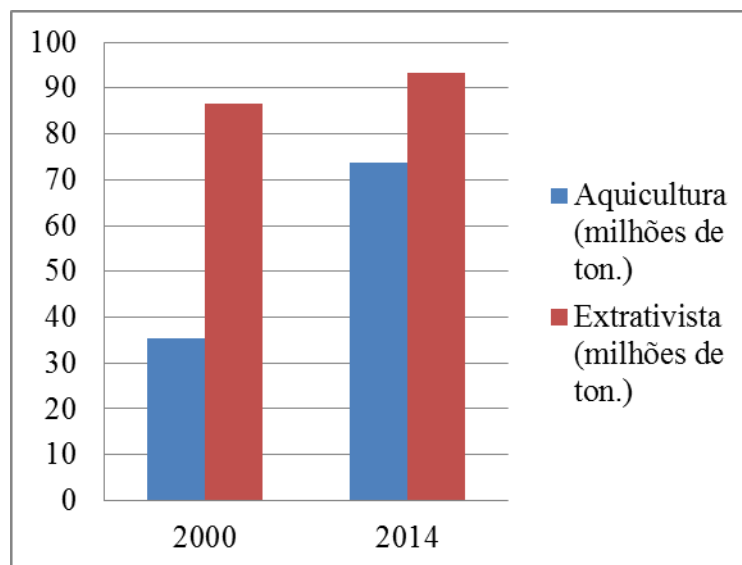


Figura 2. Produção mundial de pescado por segmento
Fonte: FAO, 2016

O pescado tem se mostrado um dos alimentos mais negociados mundialmente, com uma parcela superior a 9% de todas as exportações agrícolas e a 1% de todo o comércio de mercadorias do mundo. Em 2011, foram exportados 129,8 bilhões de dólares, aumento de 17% em relação ao ano anterior. Porém, no ano de 2012 houve ligeira redução para 129,2 bilhões de dólares. Em 2014, países em desenvolvimento exportaram 80 bilhões de dólares em produtos da pesca, e alcançaram uma receita líquida de 42 bilhões de dólares, maior do que os outros produtos agrícolas combinados, como carne, tabaco, arroz e açúcar. A comercialização do pescado torna-se importante, principalmente para países em desenvolvimento, pois em alguns casos representam metade do valor total das mercadorias comercializadas (FAO, 2012; FAO, 2014b; FAO 2016).

Nos últimos anos a China tem se destacado como maior produtor e exportador de pescado, mas desde 2011 tornou-se o terceiro maior importador, atrás dos Estados Unidos e do Japão, devido a terceirização do processamento de outros países, bem como pelo crescimento no consumo doméstico de espécies não produzidas localmente. Em 2015, após anos de crescimento o comércio de pescado na China apresentou uma desaceleração. Ainda com relação à China, esta permanece na liderança da pesca extrativista e na produção aquícola, com aproximadamente 17% e 60% da produção mundial, respectivamente. Em 2014 e 2015, a União Europeia manteve-se como o maior mercado importador de pescado. Embora com algumas reduções, os países desenvolvidos continuam dominando as exportações mundiais de pescado (FAO, 2007; FAO, 2012; FAO, 2014b; FAO 2016).

No Brasil, a produção de pescado é pouco expressiva quando comparada à produção mundial. Enquanto a produção mundial atingiu 158 milhões de toneladas em 2012, o Brasil produziu em 2011 cerca de 1,4 milhões de toneladas (aumento de 13,2 % em relação a 2010), equivalendo a menos de 0,8% da produção mundial de 2011. Atualmente, o Brasil ocupa a 19ª posição no ranking da produção mundial de pescado (BRASIL, 2013a; FAO, 2014b). Na pesca extrativa o Brasil representa aproximadamente 0,9% da produção global. Em 2010 a produção aquícola brasileira representou 0,61% da produção mundial, ocupando a 17ª posição no ranking dos maiores produtores aquícolas (BRASIL, 2013a; FAO, 2014b). Em 2011 a aquicultura nacional atingiu 628.704,3 toneladas produzidas (BRASIL, 2013a). Em 2014 a aquicultura brasileira produziu 562.5 toneladas de pescado, ocupando o 14º lugar no ranking dos maiores produtores (FAO, 2016)

Apesar da baixa contribuição para a produção mundial de pescado, o Brasil tem despontado como grande produtor de pescado obtido na aquicultura, sendo o segundo país de maior importância na América Latina, produzindo cerca de 217,6 mil toneladas por ano (SUCASAS, 2011).

A produção nacional de pescado por Unidade de Federação para o ano de 2011 demonstrou que o estado de Santa Catarina se manteve como o maior produtor do Brasil, com 194.866,6 t (13,6%), seguido pelos estados do Pará com 153.332,3t (10,7%) e Maranhão com 102.868,2 t (7,2%). Em relação as regiões do país, o nordeste foi o maior produtor de pescado com 454.216,9 t , respondendo por 31,7% da produção nacional. A região sul corresponde a segunda região produtora de pescado, seguido da região norte, sudeste e centro-oeste, produzindo respectivamente, 336.451,5 t (23,5%), 326.128,3 t (22,8%), 226.233,2 t (15,8%) e 88.944,5 t (6,2%) (BRASIL, 2013a).

Em 2013, o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) apontava na região norte, o Pará como líder da produção de pescado, com 153 mil toneladas, seguido do Amazonas e Roraima, ambos produzindo 91 e 25 mil toneladas, respectivamente. No nordeste, Maranhão e Bahia ocupavam o topo do ranking de produtores de pescado, com 102.868 e 102.052 mil toneladas respectivamente, seguido do Ceará com 98 mil toneladas produzidas. Santa Catarina seria o maior produtor de pescado da região sul, com 194 mil toneladas. No sudeste, Rio de Janeiro e São Paulo destacam-se como os principais produtores, com 86 e 77 mil toneladas respectivamente. Somados, equivaleriam a cerca de 72% da produção do sudeste. Já o centro-oeste foi representado pelo Mato Grosso sendo maior produtor de pescado com 55 mil toneladas (BRASIL, 2013b).

No mesmo ano, o IBGE passou a incluir nas estatísticas da Produção Pecuária Municipal (PPM) os dados a respeito da produção aquícola. Vale ressaltar que a pesquisa considerou apenas a criação de animais, não incluindo a produção oriunda da pesca extrativa de estabelecimentos de lazer (pesque-pague), de hotéis-fazenda e de animais ornamentais. Para o ano em questão, o valor da produção de pescado oriundo da aquicultura nacional atingiu R\$ 3,055 bilhões. A produção de peixes liderou o setor, com a participação de 66,1% do valor total da produção, seguido pela criação de camarões (25%). O total de peixes produzidos em 2013 foi de 392,5 mil toneladas. A região centro-oeste foi a maior produtora, com 26,8% do total (105 mil toneladas), com destaque para o estado do Mato Grosso equivalendo a 19,3% da produção nacional. Em segundo lugar ficou a região Sul (22,4%), seguido das regiões Nordeste (19,5%), Norte (18,6%) e Sudeste (12,8%). A produção oriunda da carcinicultura, em 2013, foi de 64,6 mil toneladas, com os estados do Ceará e Rio Grande do Norte equivalendo a 78,7% da produção nacional (33,9 mil toneladas e 16,9 mil toneladas, respectivamente) (BRASIL, 2013b)

Em 2014, o valor da produção total foi de R\$ 3,87 bilhões, sendo a maior parte oriunda da criação de peixes (70,2%) seguida da criação de camarões (20,5%). O aumento registrado para a produção de peixes em 2014 foi de 20,9% em relação ao ano anterior, alcançando 474,33 mil toneladas de peixes cultivados. A região Norte, que em 2013 ficou à frente apenas da Região Sudeste, despontou na liderança da participação entre as grandes regiões produtoras. Esse crescimento da região Norte, em 2014, foi impulsionado, sobretudo pelo estado de Rondônia, que subiu para a primeira posição do ranking das Unidades da Federação, com despesa de 75,02 mil toneladas de peixes. O estado do Mato Grosso, por sua vez, caiu para a segunda posição, com despesa de 16,92 mil toneladas. Com relação a carcinicultura, em 2014, a região Nordeste concentrava 99,33% da produção nacional, sendo que Ceará e Rio Grande do Norte continuam liderando. O Ceará manteve a liderança do ranking nacional da produção de camarões, registrando uma produção de 35,39 mil toneladas, seguido do Rio Grande do Norte, com 18,29 mil toneladas. Estes estados juntos contribuíram com 82,6% da produção nacional (BRASIL, 2014b).

O objetivo do Brasil, segundo perspectivas governamentais, é alcançar, até 2030, a produção de 20 milhões de toneladas de pescado por ano, atendendo assim as expectativas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), que aponta a chance do Brasil tornar-se um dos maiores produtores de pescado do mundo até 2030 (FAO, 2014b; BRASIL, 2014a). O Brasil dispõe de vantagens excepcionais para o desenvolvimento da aquicultura e da pesca extrativista marinha, apresentando uma extensa costa litorânea, com cerca de 8,4 mil quilômetros, 5,5 milhões de hectares de reservatórios de água doce, clima favorável, terras disponíveis, mão de obra, relativamente, com custo baixo e crescente mercado interno.

3.2 Consumo Mundial e Nacional de Pescado

Peixe e produtos da pesca tiveram um papel crucial na segurança alimentar global e nas necessidades nutricionais das pessoas nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. O fornecimento global de alimento a base de peixe aumentou constantemente nas últimas cinco décadas, a uma média anual na taxa de 3,2%, ultrapassando o crescimento da população mundial, que foi de 1,6%, no mesmo período. Conseqüentemente, aumentou a média de disponibilidade *per capita*. O consumo aparente mundial *per capita* de peixe aumentou a uma média de 9.9 kg em 1960 para 17.0 kg em 2000, e 19.2 kg em 2012 (FAO, 2014b). Dados provisórios publicados no último boletim da FAO apontam para um consumo *per capita*, em 2014, de 20.1 kg (FAO, 2016)

O alimento pescado, independente dos grupos explorados economicamente, apresentam baixas quantidades de gordura saturada, carboidratos e colesterol, fornecendo altos valores de proteína, vitaminas (D, A e B), minerais (incluindo cálcio, zinco, ferro e selênio), além de ácidos graxos ômega 3 poliinsaturados. De acordo com a FAO, o consumo médio *per capita* no período entre 2000 e 2005 foi de 16 quilogramas (kg) / habitante (hab.) / ano. Para os anos seguintes, o consumo saltou de 17,4 em 2006 para 19,2 kg / hab. / ano em 2012. No topo do *ranking* mundial de consumo *per capita* de pescado está o continente Asiático com aproximadamente 20 kg *per capita*, e a África sendo o continente com menor consumo *per capita* com aproximadamente 9 kg / hab. / ano (FAO, 2007; FAO, 2012; FAO, 2014b).

A Figura 3 apresenta a relação entre o pescado destinado e não destinado ao consumo humano. Observa-se ao longo dos anos que esta relação do pescado destinado ao consumo humano e o não destinado a consumo humana vem aumentando.

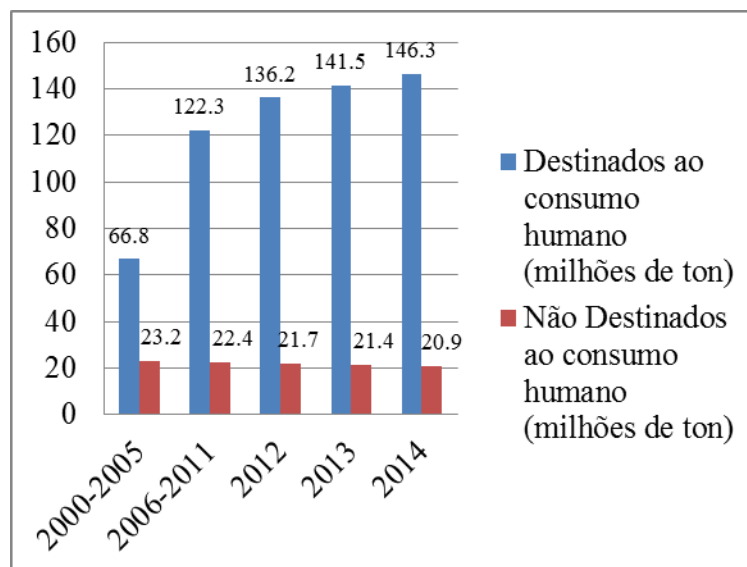


Figura 3. Comparação entre o pescado destinado e não destinado ao consumo humano
Fonte: FAO, 2014

Entre os anos de 2000 e 2011, 45,6 milhões de toneladas de pescado não foram utilizados para consumo humano, sendo descartados como resíduo (FAO 2012; PIRES et al, 2014). Segundo a FAO entre 2000 e 2005 foram utilizadas para consumo humano aproximadamente 66,8 milhões de toneladas por ano e para fins não alimentícios uma média de 23,2 milhões de toneladas anuais. Entre os anos de 2006 a 2011, 122,3 e 22,4 milhões de toneladas anuais foram destinadas ao consumo humano direto e para fins não alimentícios, respectivamente (FAO, 2012; FAO, 2014b; PIRES et al., 2014).

Em 2012 dos 158 milhões de toneladas produzidos, 136,2 milhões de toneladas (86%) foram destinadas ao consumo humano direto e 21,7 milhões de toneladas teve uso não alimentício para a fabricação de farinha e óleo de pescado (FAO, 2014b). Nos anos seguintes, a quantidade de pescado não destinado ao consumo humano diminui em relação aos anos anteriores. Em 2013 e 2014, 21,4 e 20,9 milhões de toneladas teve seu uso não empregado na alimentação humana, respectivamente. A maior parte deste pescado não aproveitado na alimentação humana, cerca de 76%, foi reduzido na forma de farinha de peixe e óleo de peixe (FAO, 2016).

Esse panorama mostra que cada vez mais o pescado vem sendo destinado para a alimentação humana, refletindo a existência de um foco crescente da indústria do pescado para a utilização dos subprodutos, e como consequência a diminuição do desperdício desse alimento. Em 2014, 67 milhões de toneladas (46%) do pescado para consumo humano direto foi na forma de peixes vivos, frescos ou refrigerados, o que em alguns mercados atingem um preço mais elevado. O restante do pescado para consumo humano foi na forma de processados diferentes, com cerca de 12% (17 milhões de toneladas) em pescado seco, salgados, defumados ou outras formas curados. Para conservas foram 19 milhões de toneladas (13%), e 30% do pescado para consumo humano foi na forma de congelados, o que equivale a aproximadamente 44 milhões de toneladas (FAO, 2016).

Os brasileiros consomem cada vez mais pescado, que é a proteína animal mais saudável e consumida no mundo. A Figura 4 ilustra o consumo de pescado no Brasil entre os anos de 1996 a 2011. Nota-se, que a partir do ano de 2005, o consumo nacional obteve um crescimento considerável. Neste mesmo ano, o consumo foi de aproximadamente 7,0 kg / hab., e em 2009 aumentou para aproximadamente 8 kg / hab. Analisando-se o crescimento obtido entre os anos de 2005 a 2011, observa-se um incremento aproximado de 59% no

consumo de pescado no Brasil, passando de 7,0 para 11,17 kg / hab., respectivamente (BRASIL, 2014a).

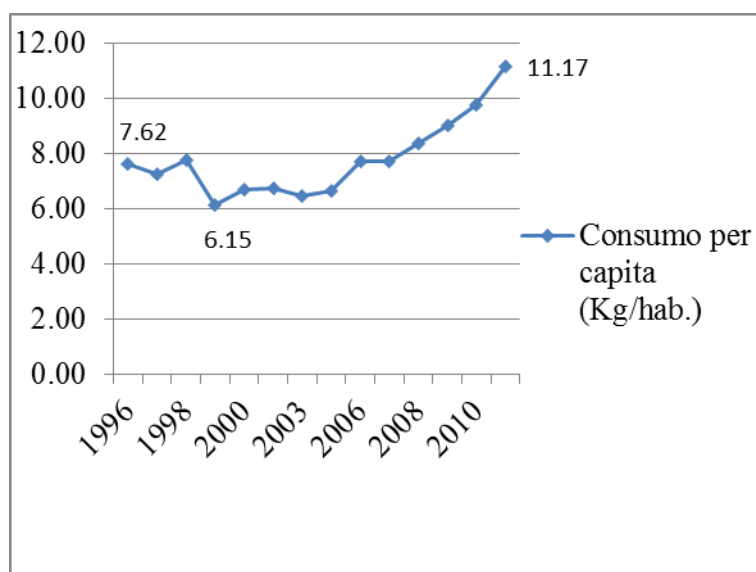


Figura 4. Consumo nacional *per capita* de pescado no Brasil
Fonte: BRASIL, 2014a

Apesar de possuir grande mercado consumidor e do consumo ser crescente, o Brasil ainda apresenta baixo índice de consumo de pescado segundo a orientação da Organização Mundial da Saúde (OMS), que recomenda a ingestão média de 12 kg / hab. / ano (FAO, 2007; FAO, 2012). Segundo Pereira, (2000) o baixo consumo de pescado no Brasil é atribuído à falta de tradição (gostos e hábitos do consumidor), bem como a falhas da indústria processadora em não oferecer produtos de conveniência de fácil preparo. Ainda de acordo com Moreira (2005) a indústria de pescado não tem sido inovadora, quando comparada às indústrias de carnes e aves, que fazem melhor uso da matéria-prima e desenvolvem outra via de incorporação da mesma, na forma de diferentes produtos alimentícios. Sendo assim, existe a necessidade de mudanças na indústria de pescado, uma vez que há pouca oferta de produtos processados.

De acordo com a última Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), realizada entre os anos de 2008 a 2009, considerando as diversas regiões do país, existe uma disparidade no consumo interno, sendo que o consumo deste tipo de alimento é maior na zona rural em comparação à zona urbana. Na zona urbana a aquisição alimentar domiciliar *per capita* anual de pescado foi 3,3 kg e na zona rural 7,6 kg. Na região norte, por exemplo, onde o peixe é um elemento fundamental na alimentação local, a aquisição *per capita* anual de pescado alcança 17 kg, com destaque para o estado do Amazonas com 30 kg. No Rio Grande do Sul, devido a forte presença da pecuária bovina, o consumo de pescado é baixo, com uma aquisição alimentar domiciliar *per capita* anual de 1,5 kg. Na região sudeste esta aquisição *per capita* anual de pescado é de 2 kg, sendo o Rio de Janeiro o estado com maior aquisição, 3,4 kg por ano. O centro oeste e nordeste possuem, respectivamente, aquisição *per capita* anual de 1,6 e 4,9 kg, com destaque para o Maranhão, com 10 kg por ano, e para Distrito Federal com 2,6 kg por ano (BRASIL, 2010a).

O maior consumo de pescado nas regiões Norte e Nordeste deve-se ao fato da maior produção nestas regiões, bem como ao hábito de consumi-los próximo ao local de captura. Por ser um produto altamente perecível, seu consumo de forma rápida e próximo aos locais de captura permite uma melhor qualidade sensorial, microbiológica e nutricional do produto,

além de diminuir custos com transporte e manutenção da cadeia do frio, em relação às demais regiões (SARTORI; AMANCIO, 2012).

3.3 Panorama Geral da Produção de Tilápia

A tilápia é um peixe originado da África e a nomenclatura se refere a mais de 70 espécies da família *Cichlidae* (ARAÚJO et al., 2012). A criação desta espécie teve início no Quênia em 1924, inicialmente como fonte de sobrevivência (FULBER et al., 2009). No Brasil, a primeira espécie a ser introduzida foi a *Tilapia rendalli* Boulenger, 1896 no século XX, porém, a mais cultivada atualmente no Brasil e no mundo é a Tilápia do Nilo (BESSA et al. 2016). Em 2011 a produção mundial de tilápia alcançou 3,95 milhões de toneladas (FAO, 2014b)

A criação de tilápia é o mais difundido tipo de aquicultura no mundo. Estatísticas de produção da FAO apontam a presença de viveiros de tilápia em 135 países e territórios em todos os continentes. A produção está se expandindo na Ásia, América do Sul e África, onde os produtores africanos estão observando, tanto o potencial para consumo doméstico, como para exportação. A expansão da produção de tilápia é consequência da grande aceitabilidade por partes dos consumidores, principalmente nos países asiáticos, onde está entre os peixes mais consumidos. No mercado americano, apesar do declínio geral no consumo *per capita* aparente de peixes, a tilápia permaneceu popular, sendo que o consumo de peixe de carne branca, incluindo a tilápia, superou o de camarão, subindo 6,2% em 2012. Juntamente com o *Pangasius*, a tilápia tem sido a principal espécie por trás do crescimento no consumo de peixes branco nos últimos anos (FAO, 2014b).

A expectativa global para a produção de tilápia é quase que o dobro dos 4,3 milhões de toneladas por ano obtida em 2010 para 7,3 milhões de toneladas em 2030. Com essas estimativas, a tilápia provavelmente será um dos principais contribuintes para o crescimento mais rápido da aquicultura mundial. A China é o país que mais contribui para a produção de tilápia, ocupando a liderança do ranking da produção mundial da espécie. Porém, o fornecimento a partir da América do Sul também é esperado para aumentar a produção mundial. A região de Santa Fé do Sul, no Brasil é uma das maiores produtoras, com uma produção anual de cerca de 22 mil toneladas por ano. As exportações globais de tilápia durante o primeiro semestre de 2014 atingiu aproximadamente 200 mil toneladas, com o maior fornecimento originando da China sob a forma congelada, sendo os Estados Unidos o maior mercado (FAO, 2014a; FAO, 2016).

Nos Estados Unidos, a tilápia continua a ser um dos principais peixes consumidos pela população, o que pode ser confirmado pelo forte crescimento nas importações, aumentando 5% no primeiro semestre de 2014 em comparação ao mesmo período do ano passado (FAO, 2014a; FAO, 2016). Os Estados Unidos continua como o maior mercado para a espécie, sendo os países da Ásia (produtos congelados) e América Central (produto fresco) os principais fornecedores. No entanto, na Europa o mercado para a tilápia continua sendo limitado e as importações registraram uma queda em 2015 (FAO, 2016).

No Brasil, a tilápia é cultivada do Sul ao Nordeste (BRASIL, 2014a). Estima-se que no período de 1996 a 2005, a produção de tilápias no Brasil cresceu em média 23% ao ano (JUNIOR; JUNIOR, 2008). Dados do 1º Anuário brasileiro da pesca e aquicultura (BRASIL, 2014a) aponta um crescimento expressivo do volume produzido de 130% do período de 2008 a 2011. O crescimento acelerado da produção de tilápia é atribuído ao paladar e aceitabilidade da carne, além das diferentes possibilidades de processamento. Em setembro do ano de 2013, durante a abertura da Conferência Mundial sobre Tilápia, no Rio de Janeiro, o ministro da Pesca e Aquicultura, naquela ocasião, destacou a oportunidade de criar novos negócios com a

espécie (BRASIL, 2014a). Em 2000 a produção de tilápia representava cerca de 18,4% do total produzido pela aquicultura, e em 2004 representou 38% do total, com uma produção de 69.078 toneladas (BRASIL, 2005).

Dados do Boletim da Pesca e Aquicultura, (BRASIL, 2013a) entre 2009 e 2011 a produção de tilápia a partir da pesca extrativa continental, no Brasil, cresceu pouco mais de 4,5%, sendo produzidas 28.538,5 toneladas. Juntamente com o Tambaqui, a tilápia representou 67% da produção da aquicultura continental no país em 2011. Nesse contexto, a produção de tilápia foi de 253.824,1 toneladas (BRASIL, 2013a).

Em 2013, a tilápia foi a espécie mais cultivada no Brasil (169.309,011kg), respondendo por 43,1% da produção de peixes. O município de Jaguaribara (CE) foi o maior produtor, com 8,6% da produção nacional da espécie, seguidos dos municípios de Santa Fé do Sul (SP) e Orós (CE), ambos sendo responsáveis, respectivamente, por 3,8% e 3,1% da produção de tilápia. Em 2014, esta continuou como a principal espécie de peixe cultivada no país, com 198,49 mil toneladas despescadas, o equivalente a 41,9% do total da piscicultura. O registro para o crescimento da espécie foi de 17,3% em relação a obtida em 2013. Em relação a produção por municípios, Jaguaribara (CE) continuou como líder no ranking municipal da produção de tilápia, única espécie nele produzida, com despesca de 16,92 mil toneladas em 2014. A segunda posição, antes ocupada por Santa Fé do Sul (SP), passou a ser de Orós (CE), com despesca de 6,28 mil toneladas de tilápia. Enquanto a produção de Orós aumentou 18,9% a de Santa Fé do Sul decresceu 11,2% em relação à observada em 2013 (BRASIL, 2013b; BRASIL, 2014b).

3.4 Composição Química do Pescado

O pescado é um alimento conhecido por sua excelente composição química e por seu elevado valor nutricional. Sua composição compreende água, proteínas, lipídios, carboidratos, sais minerais e vitaminas. Trata-se de um alimento de fundamental importância para a alimentação, pois garante benefícios à saúde humana como o fornecimento completo balanceado de aminoácidos essenciais e ácidos graxos da família ômega-3 (RIBEIRO et al., 2009; GODOY et al., 2010; GONÇALVES, 2011; LARSEN et al., 2011)

A água é o principal componente do pescado, cerca de 80% da porção comestível. Também é o constituinte que apresenta maior variabilidade, devido a diferença entre as espécies, época do ano, idade, sexo e estado nutricional. Admite-se que há uma correlação inversa entre o conteúdo de água e lipídeo total, sendo mais acentuado nas espécies gordas. Uma parte da água presente na musculatura do pescado encontra-se ligada a proteínas e carboidratos (15 a 25%), chamada de água de constituição, e a outra parte, chamada água livre, atua como meio de dissolução, e está envolvida na rede do músculo fibrilar e do tecido conectivo (GONÇALVES, 2011).

As proteínas do pescado apresentam alto valor nutritivo, com um bom balanceamento de aminoácidos essenciais, sendo uma excelente fonte de lisina, metionina e cisteína (FAO, 2013b). Estas são divididas de acordo com a solubilidade, sendo classificadas em sarcoplasmáticas, miofibrilares, insolúveis e do estroma. As proteínas sarcoplasmáticas correspondem de 20 a 30% das proteínas presentes, são solúveis em água e, em sua maioria, apresentam atividade enzimática. As proteínas miofibrilares, importantes do ponto de vista nutricional e tecnológico, são as mais abundantes, representando de 65 a 75%, sendo 50 a 54% miosina, 25 a 27% actina e 15 a 20% tropomiosina. As proteínas insolúveis estão presentes nos vasos sanguíneos, nervos e etc, e as do estroma são importantes na textura do pescado (GONÇALVES, 2011).

Da mesma forma que ocorre com o teor de água, a quantidade de lipídeos também sofre variações significativas. Tais variações estão relacionadas ao tipo de dieta, época do ano, temperatura da água, espécie, salinidade. A distribuição de gordura no corpo do pescado não é igual, podendo variar entre tecidos e órgãos, bem como entre partes do corpo. A ocorrência de lipídeos no corpo dos peixes se dá na forma de dois grupos amplos: lipídeos neutros e lipídeos polares. O primeiro é a principal fonte de estocagem energética e consiste de triacilgliceróis, hidrocarbonetos, carotenóides, vitaminas, esteróis, alquil e alquenilésteres de diacilgliceróis, álcoois graxos e ceras. O segundo, o grupo dos lipídeos polares é constituído de componentes essenciais da parede celular, mitocôndria e outras subunidades celulares, e compreende os glicolipídeos, fosfolipídeos e colesterol (GONÇALVES, 2011). Diversos benefícios têm sido atribuídos ao consumo de pescado, principalmente devido a presença de ácido graxos poli-insaturados da família ômega 3, ácido eicosapentaenoico (EPA) e o ácido docosahexaenóico (DHA), o qual fazem parte da estrutura lipídica. Seus efeitos benéficos para saúde incluem redução dos teores de triglicerídeos e colesterol sanguíneo, fato que contribui para minimizar os riscos da incidência de doenças cardiovasculares (LARSEN et al., 2011).

Os elementos minerais do pescado representam 1,5% da composição química bruta, sendo influenciados pela qualidade da água, ambiente e alimentação. Os principais sais minerais presentes no pescado são sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, cloro, enxofre, cobre, ferro, manganês, cobalto, alumínio, níquel, iodo, bromo, selênio e zinco. Dentre esses elementos o sódio, potássio, cálcio e cloro encontram-se no estado inorgânico. Os demais, na sua maioria, estão ligados a proteínas, lipídeos e açúcares e apresentam-se no estado inorgânico (GONÇALVES, 2011).

O teor de carboidratos no pescado é relativamente baixo, em torno de 0,3% a 1%. Os principais carboidratos são glicogênio, mucopolissacarídeos e açúcares livres. Em relação ao conteúdo de vitaminas, o pescado é muito similar a carne de mamíferos. Possuem vitaminas hidrossolúveis como as do complexo B, principalmente a vitamina B12 e lipossolúveis como as vitaminas A e D. As vitaminas A e D são encontradas em grandes quantidades nas espécies gordas de pescado, sendo a vitamina D mais abundante no pescado do que nos mamíferos (FAO, 2013a).

3.5 Geração de Resíduos na Indústria do Pescado

Por definição, resíduo é todo material não aproveitado durante a produção ou consumo, devido a limitações tecnológicas ou mercadológicas, que não apresenta valor de uso ou mercado, podendo resultar em danos ao meio ambiente quando não manejado de forma adequada (NOLASCO, 2000; SUCASAS, 2011; REBOUÇAS et al., 2012; PIRES et al., 2014). A Resolução Conama nº 313 de 29 de outubro de 2002, que dispõe sobre o Inventário de Resíduos Sólidos, define resíduo sólido industrial como todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso – quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2002).

No tocante a resíduos sólidos, a legislação mais atual, Lei nº 12.305 de 12 de agosto de 2010, que institui o Plano Nacional de Resíduo Sólido no Brasil, define como resíduo sólido qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou

em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Nas últimas décadas a questão ambiental vem sendo destacada como uma das principais preocupações da sociedade, e deste modo a população em geral e as organizações governamentais e não governamentais têm se mostrado mais conscientes em relação aos danos ambientais causados por atividades exploratórias não sustentáveis (LIMONGI et al., 2013). Nesse sentido, o desenvolvimento sustentável deve basear-se no desenvolvimento tecnológico, na manutenção das condições ambientais adequadas para a existência das diferentes populações no planeta e a garantia da perpetuidade dos fatores tecnológicos e ambientais para as futuras gerações. Em relação a sustentabilidade ambiental, vários aspectos têm sido valorizados por consumidores de vários países, tais como apresentar menor “*footprint*” de carbono, baixo impacto ambiental, não estar associada a maus tratos aos animais, apresentar rotulagem ambiental, implantar a rastreabilidade, e reciclar os resíduos do processo produtivo (BRASIL FOOD TREND, 2010; SUCASAS, 2011).

A indústria de beneficiamento de pescado constitui-se em uma das principais atividades econômicas de diversos países. Porém, aproximadamente 60% do pescado processado é responsável pela geração de resíduos, e os outros 40% é designado para o consumo humano. Os resíduos sólidos de pescado são constituídos de pequenos pedaços de tecido muscular, cabeças, nadadeiras, escamas, conchas, vísceras, carcaça e pele. Como esses resíduos, em geral, possuem grande concentração de material orgânico, o seu lançamento em corpos hídricos pode proporcionar decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido nesse meio, cuja magnitude depende da concentração da carga orgânica e da quantidade lançada, além da vazão do curso d'água receptor (SUCASAS, 2011). Neste sentido, o setor pesqueiro deve estar engajado nas propostas de emissão zero de resíduos (ZERI, “Zeri Emission Research Initiative”), devendo ainda, dispor de alternativas para o gerenciamento dos resíduos que venham a ser gerados, tornando-se um fator diferencial para as empresas, garantindo a diversificação da linha de produtos, o crescimento sustentável e a responsabilidade sócio-ambiental (PIRES et al., 2014). Além disso, as indústrias geradoras de resíduos sólidos de pescado devem realizar ações que contemplem as etapas de coleta, transporte, transbordo e tratamento de seus resíduos (BRASIL, 2010).

A comercialização do pescado pode ser feita na forma de apresentação *in natura* ou industrializada. Sua industrialização envolve basicamente, a sua obtenção, sua conservação, o seu processo/elaboração, a embalagem, o transporte e a comercialização. A quantidade de resíduos e o rendimento de carcaça do pescado podem variar de acordo com: a espécie, tipo de corte, tamanho da cabeça, peso do peixe, sistema de criação, entres outros (VIDOTTI, 2011). Os entrepostos que beneficiam o pescado na forma de apresentação de filés geram resíduos que representam entre 50 e 70% da matéria-prima (CHAMALALIAH et al., 2012). Na industrialização da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis* Steindachner, 1879) são gerados em média, 35% e 47,8% de resíduos nas linhas de evisceração e de espalmados, respectivamente. No enlatamento do atum ocorre a geração de 60% de resíduos, compostos principalmente por cabeça, espinhaço, vísceras, carne escura e uma pequena quantidade de carne branca destinados, em sua totalidade, à alimentação animal (FELTES et al., 2010). O resíduo gerado durante a filetagem da tilápia representa entre 62,5% e 66,5% da matéria-prima, que é desperdiçado, sendo fundamental o aproveitamento para redução do impacto ambiental (SUCASAS, 2011). Nas indústrias de obtenção do filé de salmão são gerados 45% de resíduos. Os resíduos do beneficiamento de crustáceos são constituídos de carapaças de caranguejo e siris, cabeça e casca de camarões, que ultrapassam 40% de seu peso inicial, e as conchas de moluscos bivalvos podem corresponder até 60 a 80% do peso total destes animais (GONÇALVES, 2011). Nas empresas do sul do país são gerados 68% de resíduos que são

encaminhados para indústria de farinha de pescado, 23% são destinados para aterros sanitários e 9% são lançados em rios causando poluição ambiental (REBOUÇAS et al., 2012).

O resíduo de unidades beneficiadoras pode ser convertido em produtos comerciais ou em matéria-prima para processos secundários, pois além de diminuir custos e aumentar a eficiência da produção, minimiza problemas de poluição ambiental (SUCASAS, 2011). Os resíduos podem ser divididos em dois grupos, sendo um destinado à produção animal/vegetal e o outro para uso na alimentação humana. Os destinados à produção animal são compostos por vísceras, escamas, pele e esqueleto, incluindo a cabeça, sendo descartados ou utilizados na produção de farinhas, óleos e silagens. Os resíduos destinados à alimentação humana inclui, principalmente, a carcaça com carne aderida, chamada espinhaço, após a retirada do filé, além das aparas obtidas durante a toailete dos filés, o qual são processados e destinados à elaboração de empanados, formatados, embutidos, entre outros (PIRES et al., 2014).

O órgão responsável pela normatização dos resíduos sólidos no Brasil é o Ministério do Meio Ambiente, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Em 2002, o CONAMA publicou a Resolução nº 313 de 29 de outubro que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Esta resolução traz como finalidade fomentar a política de gestão dos resíduos, de modo a considerar que todo resíduo sólido industrial existente ou gerado pela indústria seja objeto específico de controle, sendo parte integrante no processo de licenciamento ambiental (BRASIL, 2002). A Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 institui a política nacional de resíduos sólidos, se integrando a política Nacional do Meio Ambiente em consonância com a Política Nacional de Educação Ambiental e com a Política Federal de Saneamento Básico. O objetivo principal da política nacional de resíduos sólidos é a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, como incentivo a práticas sustentáveis voltados a não geração e/ou redução de resíduos, reciclagem, reutilização e tratamento, além da destinação ambientalmente correta dos resíduos (BRASIL, 2010).

3.6 Elaboração de Coprodutos a Base de Resíduos de Pescado

A sociedade moderna está direcionada ao consumo de produtos semi-prontos ou prontos denominados “ready to eat”, e que possuam elevado valor nutritivo, custos acessíveis, boa apresentação e embalagem de qualidade (SANTOS et al., 2011). Porém, a preocupação com os impactos ambientais resultante de práticas não sustentáveis no beneficiamento do pescado, também, é uma preocupação (PIRES et al., 2014). É sabido que aproximadamente 60% do material beneficiado nas indústrias do pescado constituem-se em resíduos, acarretando sérios problemas ambientais em países desenvolvidos e em desenvolvimento (CHAMALIAH et al., 2012). Neste contexto, vários estudos têm sido feitos para o correto aproveitamento dos resíduos gerados no processamento do pescado, uma vez que possuem alto potencial nutritivo (SUCASAS, 2011). O conteúdo nutricional deste material inclui ácidos graxos de cadeia poli-insaturada e proteínas de excelente qualidade nutricional (CHAMALIAH et al., 2012).

Peixes descartados e resíduos do processamento, principalmente do enlatamento, podem ser aproveitados para a produção de óleo de peixe, podendo ser utilizado para a produção de tintas, vernizes e acabamento de couro, ou para a aquicultura, como ocorre no Brasil (FELTES et al., 2010; PIRES et al., 2014). Porém, nos últimos anos o óleo de peixe, fonte de ácido ômega-3, vem sendo utilizado para fins de suplemento e fortificação de alimentos nutritivos, destinados ao consumo humano e relacionados à melhoria nas condições hemodinâmicas e coronarianas (MOZZAFARIAN; WU, 2011).

Resíduos do beneficiamento de peixe podem ser valorizados mediante a hidrólise da biomassa para obtenção de silagem de peixe, tendo grande potencial para utilização em rações

como fonte proteica. Arruda e colaboradores (2006) na elaboração de silagem química a partir dos resíduos da filetagem da tilápia (*Oreochromis niloticus*) encontraram 59,27% de proteína bruta, apresentando todos os aminoácidos essenciais.

Outro destino dado aos resíduos do beneficiamento, neste caso, subprodutos não comestíveis, é a produção de farinha de peixe para alimentação animal. Devido ao seu alto valor biológico, equilíbrio em aminoácidos e ácidos graxos, alto teores de sais minerais (cálcio e fósforo), presença de vitaminas liposolúveis (B2 e B12), a farinha de peixe é considerada a principal fonte de proteína dietética em rações para peixe, atuando também como palatilizante (ARRUDA et al., 2006), quando a introdução é feita na dieta animal de forma gradativa. O produto chega a apresentar 70% de proteína (FELTES et al., 2010).

Apesar da maioria dos resíduos de pescado, tanto coproduto comestível quanto não comestível, serem empregados para a produção de farinha de pescado, destinados a elaboração de rações, esta prática vem acarretando problemas de sanidade às instalações, devido a presença de resíduos da industrialização do pescado junto aos pontos de beneficiamento e comercialização. Com isto, demandam-se maiores custos de eficiência de produção e energéticos (GONÇALVES et al., 2011). Assim ao longo dos últimos anos, tem sido observada a necessidade de desenvolver estratégias de processamento capazes de maximizar o reaproveitamento de componentes funcionais e presentes nos coprodutos comestíveis de pescado e destiná-los à fabricação de produtos de alto valor nutricional voltados para o consumo humano (TAHERGORABI et al., 2013).

Assim, Godoy et al. (2010) avaliou a aceitação de caldos e canjas elaborados com farinhas aromatizadas, elaborada com resíduo da filetagem, desenvolvidas a partir de carcaças de tilápia do Nilo, carpa e pacu defumadas, para inserção na merenda escolar. Os autores constataram que os caldos e as canjas elaborados a partir das farinhas aromatizadas tiveram boa aceitabilidade pelos consumidores, podendo ser empregados, no caso da farinha, no enriquecimento de produtos para consumo humano. Além disso, a pesquisa conclui que esses produtos podem ser aplicados na merenda escolar, contribuindo na nutrição das crianças. Shankar et al. (2010) avaliaram a inclusão de 5 a 20% de farinha de tilápia em pães, enquanto Veit et al. (2012) estudaram a adição de 20% e 12% de filés de tilápia cozidos e triturados em bolo de chocolate e cenoura, respectivamente. Ambos os autores concluíram que os produtos estudados obtiveram índices de aceitabilidade satisfatórios e incremento no valor nutricional.

Outra alternativa para o aproveitamento dos resíduos de pescado é a destinação para obtenção da carne mecanicamente separada (CMS) para a produção de formatados, embutidos e reestruturados de pescado. A CMS de pescado é obtida pela passagem do pescado eviscerado e descabeçado ou de seus resíduos por uma máquina separadora de carne e ossos podendo ser lavado com água ou não, drenado, ajustado à umidade, acondicionado em bloco e congelado (GONÇALVES, 2011). No entanto, a legislação brasileira não referencia em seus regulamentos de identidade e qualidade, relacionados ao tema, a CMS de pescado. O anexo I da Instrução Normativa nº 04 de 31 de Março de 2000 aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) de Carne Mecanicamente Separada para aves, bovinos e suínos (BRASIL, 2000). Estudos relacionados aos componentes da CMS de tilápia são mostrados na Tabela 1. Observa-se que a composição química da CMS de tilápia possui semelhança com a do filé, exceto para o teor de lipídeos (OLIVEIRA FILHO et al., 2010; DALLABONI et al., 2011), cuja variação está relacionada a diversos fatores como: forma de obtenção e processamento da CMS, época do ano, dieta, idade e sexo (GONÇALVES, 2011).

Tabela 1. Composição centesimal da CMS de Tilápia obtida por diferentes autores

Umidade (%)	Proteína (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Referências
79,83	15,13	2,91	1,35	KIRSCHINIK, 2007
76,3	17,74	3,86	0,88	MARENGONI et al., 2009
75,47	12,76	10,54	1,14	OLIVEIRA FILHO et al., 2010
79,05	14,63	4,66	0,87	BORDIGNON et al., 2010

Bordignon et al. (2010) elaboraram croquete de tilápia do Nilo a partir de CMS e aparas do corte em ‘V’ do filé e verificaram uma aceitação moderada, e concluíram que o produto pode ser uma forma de agregação de valor aos resíduos da filetagem, tendo boa aceitação pelos consumidores e atendendo aos padrões de qualidade da legislação. Marengoni et al. (2009) desenvolveram *fishburgers* de carne de tilápia mecanicamente separada, e observaram que todas as quatro formulações foram aceitas pelos consumidores, variando de moderadamente a muito aceitos.

A partir da CMS de pescado também pode ser elaborado um extrato de proteínas miofibrilares, denominado surimi (GODOY et al., 2010). O surimi é definido como músculo de pescado moído previamente, desossado, lavado várias vezes com água fria para a remoção de todas as proteínas e substâncias hidrossolúveis e outras substâncias indesejáveis, sendo posteriormente misturado a crioprotetores para maior vida útil deste produto intermediário (GONÇALVES et al., 2011). Os produtos elaborados a partir de surimi são classificados em três grupos principais: produtos tradicionais japoneses, novos produtos e análogos de pescado e embutidos, e produtos extrusados e moldados. Os produtos tradicionais japoneses incluem o “Kamaboko”, “chikuwa”, “hanpen” e “satsumaage”. Em relação aos análogos de crustáceos, podemos citar imitações de caranguejo, denominado “kanikama”, camarão e lagosta (GONÇALVES, 2011).

Produtos elaborados a partir de surimi têm sido desenvolvido em algumas pesquisas. Mello et al. (2012) produziram *fishburger* de tilápia a partir de polpa e surimi obtidos do espinhaço residual da linha de filetagem da tilápia. Os autores concluíram que o produto elaborado obteve bons resultados, tanto na composição nutricional como na aceitação pelos consumidores. Fogaça et al. (2015) desenvolveram *fishburger* a partir de surimi elaborado de tilápias do Nilo e concluíram que o produto apresentou elevado teor proteico, estabilidade lipídica e boa aceitação sensorial. Em outro estudo realizado por Santana et al. (2012), os autores elaboraram pó de surimi através de algumas espécies de peixe, e observaram que as propriedades funcionais do pó de surimi variaram conforme a espécie e método de secagem. Outro ponto observado foi que a adição de sacarose e sorbitol podem prevenir a desnaturação das proteínas durante a secagem e manter as propriedades funcionais das proteínas miofibrilares, como a capacidade de formar gel e retenção de água, de importância tecnológica. Além disso, foi constatado, também, que o pó de surimi incrementa nutricionalmente produtos como “snack” de peixes.

A Carne Triturada de Pescado (CTP) também pode ser destinada a elaboração de *fishburgers*, *nuggets*, almôndegas, *sticks*, linguças, salsichas, patês e etc. A CTP pode ser obtida a partir de uma única espécie ou de uma mistura de espécies com características sensoriais similares, e as espécies subutilizadas com potencial para exploração são as mais indicadas para a obtenção da CTP (GONÇALVES, 2011; PIRES et al., 2013). Fernandes e colaboradores (2009) elaboraram empanados a partir de resíduos da filetagem de tilápia do Nilo, utilizando o resíduo denominado “costelinha”, obtido das regiões hipoxial e abdominal.

Os autores concluíram que o processo de elaboração dos empanados mostrou-se eficiente, podendo a massa de “costelinha”, obtida pela trituração do resíduo, ser empregada como matéria-prima de baixo custo para elaboração de produtos a base de peixe, com valor agregado, a serem utilizados na alimentação humana. Oliveira et al. (2012) elaboraram um reestruturado, tipo almôndega, com polpa de tilápia e proteína texturizada de soja. A aceitabilidade do produto foi superior a 70% para todos os atributos avaliados e a intenção de compra superou os 50% sendo viável a utilização da polpa de tilápia.

3.7 Transglutaminase

A transglutaminase (TGase) é uma enzima que atua como coadjuvante de tecnologia, catalisando as reações de ligação cruzadas entre moléculas de proteínas. As ligações formadas são covalentes e bastante estáveis, o que ocorre entre os aminoácidos glutamina e lisina. Seu efeito de reestruturação, juntamente com sua capacidade de melhoramento das propriedades físicas do produto, torna seu uso bastante considerável pela indústria, visto a possibilidade de uso de co-produtos como aparas da filetagem de peixe. (GONÇALVES, 2011).

A TGase é uma enzima da classe das transferases, sendo ϵ - glutaminil-peptídeo:aminoglutamiltransferase [E.C.2.3.2.13]. É uma enzima que pode ser endógena (tecidos animais) ou produzida por microrganismos, esta também chamada de transglutaminase bacteriana (MTGase) (NIELSEN, 1995). A enzima é encontrada no fígado, sangue e tecidos em geral de origem animal (mamíferos), relacionada à coagulação sanguínea em humanos, podendo ser encontrada também em músculos de peixe. Pode estar presente em microrganismos e plantas (PAYNE, 2000).

A MTGase é produzida comercialmente por fermentação pelo microorganismo *Streptococcus mobaraensis*. A enzima age em uma ampla faixa de pH, entre 5.0 – 8.0, e temperatura (temperatura ótima de 50°C, porém com atividade entre 40 a 70°C), sua ativação não requer cofatores especiais, sendo cálcio independente inclusive, diferente da produzida por tecidos animais que requer a presença de Cálcio (YOKOYAMA et al., 2004; GOES FAVONI; GASPAR, 2015). As reações promovidas pela enzima criam profundas mudanças na matriz proteica do pescado, levando a uma melhor textura e estabilidade em termos de temperatura, sinérese, propriedades emulsificantes, gelatinização e aumento de capacidade de retenção de água, sem alterar pH, cor, sabor ou qualidade nutricional do alimento, podendo até mesmo torna-lo mais nutritivo devido a possibilidade da adição de aminoácidos essenciais (AHMED; BABIKER, 2010; GOES FAVONI; GASPAR, 2015).

Vários estudos tem relatado uma variedade de proteínas alimentícias como substrato para MTGase, como por exemplo: leite e proteínas do soro, globulinas de soja, proteínas miofibrilares, albuminas, etc (HONG; XIONG, 2012). Uma das principais aplicações industriais da MTGase é como reestruturante em produtos cárneos. Através das ligações cruzadas formadas, a enzima fornece estabilidade e melhora propriedades mecânicas (textura) e diminui as perdas durante o cozimento, dando ao produto reestruturado uma melhor aparência, semelhante ao músculo intacto (FERREIRA et al., 2012).

Transglutaminases podem modificar proteínas pela incorporação de amina, afetando ligações cruzadas intra e intermoleculares ou desamidação, causando as mudanças em sua estrutura molecular (Figura 5) (ÖZRENK, 2006; DUBE et al., 2007). Reações de acil transferência ocorrem através da transferência de grupos γ -carboxiamida de ligações peptídicas de resíduos de glutamina (acil doador) para uma variedade de amina primárias (acil acceptor), incluindo o grupo ϵ -amino do resíduo de lisina (BAGALI, 2009; GOES FAVONI; GASPAR, 2015). Quando grupos ϵ -amino dos resíduos de lisina agem como acil aceptores, ligações cruzadas intra e intermoleculares ϵ -(γ -glutamil)-lisina são formadas. Estas

ligações isozeptídicas formam uma rede estável que é importante, por exemplo, na formação de géis (DUBE et al., 2007; PARKIN, 2010; GOES FAVONI; GASPAR, 2015), produzindo mudanças na hidrofobicidade da superfície proteica, afetando sua solubilidade, além de outras propriedades funcionais que dependem desta característica, tais como gelatinização, viscosidade e emulsificação (DAMODARAN, 2010).

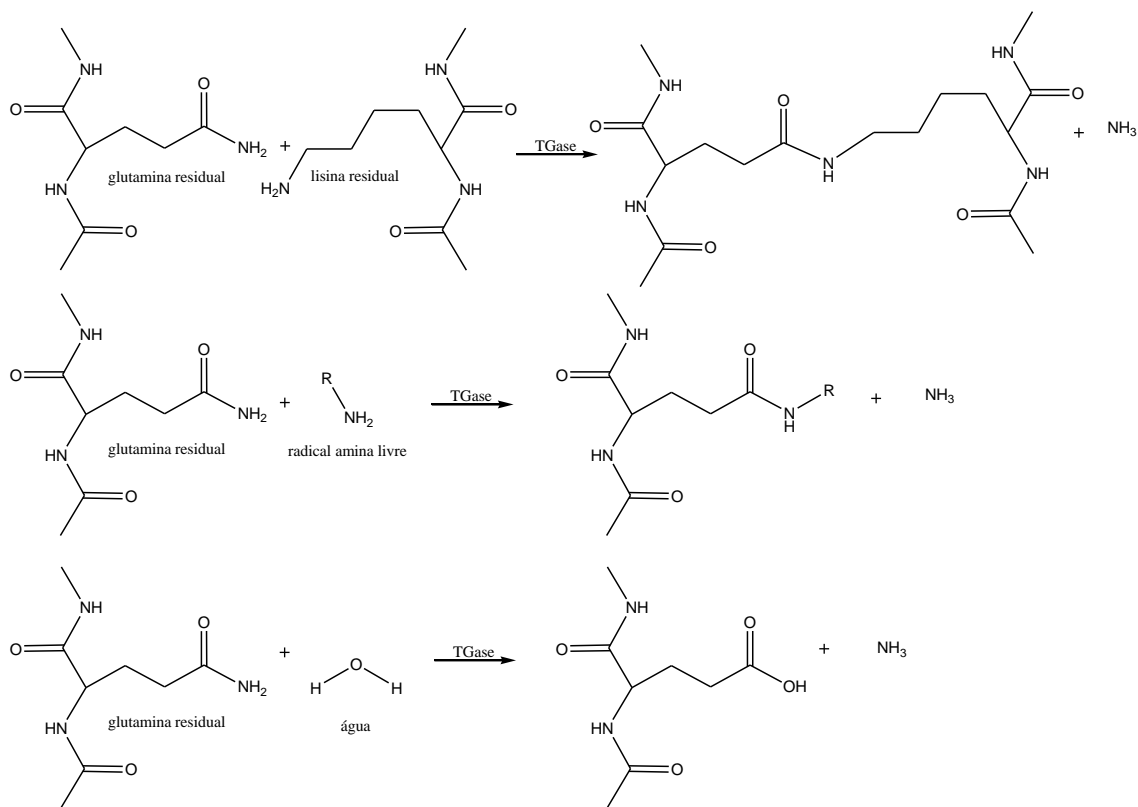


Figura 5. Reações catalisadas pela TGase: a) ligação cruzada entre glutamina e lisina de proteína ou peptídeo, b) incorporação de amina, c) desaminação.

Fonte: DAMASO et al., 2013

Quando resíduos de lisina, lisina livre ou amina primária, não estão presentes no sistema de reação, a água torna-se o acil acceptor e desamidação hidrolítica do resíduo de glutamina ocorre, transformando-o em ácido glutâmico. Esta reação altera a carga proteica, o que leva a mudanças na solubilidade da proteína. Em matrizes proteicas, reações de desamidação e acil transferências ocorrem menos do que a formação de ligações cruzadas entre glutamina e lisina. Estas ligações covalentes formadas resultam em um polímero de alto peso molecular (10^6 - 10^7 g mol⁻¹), o qual é a característica mais explorada pela indústria alimentícia, principalmente na formação de gel estável termicamente e irreversível a partir da proteína do leite, soja ou ovo (ANDO et al., 1989; DUBE et al., 2007; CELIS, 2009; DAMORADAN, 2010; GOES FAVONI; GASPAR, 2015).

3.8 Perfil de Textura em Alimentos

Textura é definida como a resposta dos sentidos táteis para estímulos físicos a partir do contato entre alguma parte do corpo (no caso de alimentos a boca) com o alimento. A importância da textura na aceitação global dos alimentos é bastante variável, dependendo do

tipo de alimento. Carnes e produtos cárneos, em si, são classificados como alimentos críticos, ou seja, a textura é a característica de qualidade dominante na aceitação (BOURNE, 2002).

Embora a textura seja um atributo sensorial, propriedades texturais do alimento pode ser medida por meio de equipamento denominado texturômetro, que respondem a propriedades mecânicas do alimento na boca (PEREIRA, 2012). Parâmetros como dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade são mensurados para avaliar a qualidade de produtos cárneos, seja por testes sensoriais ou instrumentais.

Coelho et al. (2007) avaliaram a correlação entre os resultados obtidos na avaliação sensorial de *fishburgers* com os resultados obtidos na textura instrumental. Os autores encontraram forte correlação (0,73 a 0,76) entre os atributos sensoriais individuais e os parâmetros obtidos instrumentalmente, com destaque para a dureza instrumental que foi positivamente correlacionado com a dureza, elasticidade, gomosidade, mastigabilidade e fracturabilidade (sensorial). Assim, os autores concluíram que a dureza instrumental foi positivamente correlacionada aos atributos sensoriais firmeza, elasticidade, gomosidade e fracturabilidade, podendo estes atributos sensoriais serem usados em *fishburgers* para descrever a dureza durante a mastigação.

Borges et al. (2006) encontrou resultado semelhante, ao analisar a correlação da dureza instrumental em carne caprina com a dureza sensorial, relatando correlação positiva ($r=0,63$, $p<0,05$) entre a força de cisalhamento com a dureza sensorial, sendo que a medida que aumenta-se a força de cisalhamento aumenta-se a percepção de dureza da carne pelos provadores. Por isso, concluíram que a medida instrumental da dureza da carne pode ser usada como uma estimativa da dureza sensorial.

A dureza é definida como o atributo de textura relacionado a força requerida para alcançar uma determinada deformação, penetração ou quebra de produto, sendo que na boca sua percepção é pela compressão do produto entre os dentes. A elasticidade é um atributo de textura que está relacionado habilidade e/ou rapidez do produto em recuperar sua forma/condição original após a força de deformação (em termos sensoriais – após a força para comprimir a amostra entre os dentes ter sido removida), sendo importante para estimar o nível de mastigabilidade do produto. A coesividade está relacionada ao grau pelo qual o produto pode ser deformado antes de quebrar ou romper-se, estando relacionado com a estrutura das ligações internas intramoleculares do produto. A gomosidade é o atributo textural relacionada a coesão e maciez do produto, sendo entendida como a força necessária para desintegrar a amostra ao ponto de ser engolida, ou seja a densidade que persiste em toda mastigação. O atributo mastigabilidade relaciona-se com a quantidade de trabalho (período de tempo) necessário para mastigar um produto sólido em um estado pronto para ser engolido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria-Prima

4.1.1 Obtenção

A matéria-prima utilizada no presente trabalho foi a carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia (*Oreochromis niloticus*), obtida através da passagem do espinhaço e das tilápias abaixo do peso de abate pela despulpadeira mecânica modelo H-6000 (KME equipamentos para processamento de pescado, São Paulo, Brasil). Os espinhaços e as tilápias abaixo do peso foram previamente lavadas com solução de hipoclorito de sódio 5 ppm antes da passagem pela despulpadeira. Após a obtenção, a CMS foi acondicionada em sacos plásticos de 1 kg e posteriormente levada à câmara de congelamento a -18°C. Todo o processo de obtenção da matéria-prima foi realizado nas dependências da Cooperativa de Aquicultores do Sul Fluminense (Peixe Sul), localizada no município de Pirai/RJ. Após o período de 24h de estocagem em câmara fria, os blocos congelados de CMS de tilápia foram transportados por cerca de 40 min, em caixas isotérmicas, até a planta de processamento de carnes da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica/RJ, onde permaneceram estocadas em freezers a -18°C por 5 dias, até o momento de processamento dos *fishburgers*.

4.1.2 Caracterização Química e Avaliação da Qualidade

A análise da composição centesimal e físico-química da matéria-prima foi realizada, em triplicata, no Laboratório do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

4.1.3 Determinação da Composição Centesimal

Foram adquiridos 2 lotes distintos de carne mecanicamente separada (CMS) de espinhaço de tilápia, em diferentes épocas do ano (Maio e novembro de 2016). A CMS 1, obtida em Maio/2016, foi utilizada para a realização dos 18 ensaios preliminares e a CMS 2, obtida em Novembro/2016, para a repetição dos ensaios com as duas novas formulações propostas pelo modelo matemático. Amostra da CMS após a lavagem manual e descongelada em refrigeração (4 °C) por 24 horas foi utilizada para determinação da umidade, proteínas, lipídeos e cinzas, de acordo com a metodologia preconizada pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008) e pela Instrução Normativa nº 25 de 02 de Junho de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2011), que aprova os métodos analíticos oficiais físico-químicos para controle de pescado e seus derivados. A umidade foi determinada através do método gravimétrico em estufa a 105°C. O teor de cinzas foi determinado pelo método gravimétrico com incineração da matéria orgânica, seguida de calcinação em mufla a 550°C. Os lipídios foram determinados por extração por hexano pelo método de Soxhlet. O teor de proteína bruta pelo método Kjeldahl (para conversão em proteína foi multiplicado o valor obtido pelo fator 6,25) (IAL, 2008; BRASIL, 2011).

4.1.4 Caracterização Físico Química

A avaliação da qualidade sanitária da CMS foi realizada através da análise físico-química para a determinação do pH. Esta análise é útil para avaliar os processo de conservação da matéria-prima utilizada, de modo que variações nos valores de pH sugere a presença de alterações na matéria-prima, que podem ser oriundas do processo de decomposição, oxidação ou fermentação. A metodologia utilizada foi a preconizada pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008).

4.1.5 Avaliação da Qualidade Microbiológica

As análises microbiológicas da matéria-prima foram realizadas no Laboratório de Análises de Alimentos e Bebidas (LAAB), no Departamento de Tecnologia de Alimento da UFRRJ.

Amostras da CMS foram avaliadas de acordo com a recomendação da Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), item 7- Pescado e Produtos de Pesca, alínea f (produtos à base de pescado refrigerados ou congelados (hambúrgueres e similares)). Deste modo, foram realizadas análises para detecção de Coliformes Termotolerantes (Coliformes a 45°C), Estafilococos coagulase positiva e *Salmonella* sp (BRASIL, 2001). A metodologia de análise seguiu os padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003 do MAPA (BRASIL, 2003).

4.2 Planejamento Experimental para Elaboração dos *Fishburgers*

Todo o processo de elaboração dos *fishburgers* foi realizado no Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFRRJ.

4.2.1 Planejamento Experimental

O planejamento experimental utilizado no presente estudo foi o modelo de superfície de resposta (MSR), utilizando um delineamento composto central rotacional (DCCR) com três variáveis independentes. Um DCCR pode conter 2^k pontos fatoriais, mais $2 \times K$ pontos axiais e um número arbitrários de pontos centrais (RODRIGUES; IEMA, 2005). Deste modo, o modelo de DCCR utilizado neste estudo foi composto por 6 pontos, equivalente a um ensaio fatorial completo (2^3), acrescido de 6 pontos axiais (2×3) e quatro pontos centrais, totalizando 18 ensaios. As médias dos experimentos foram utilizadas para a MSR.

As variáveis independentes estudadas foram concentração de água, fécula de mandioca e MTGase. Os níveis +1 e -1 corresponderam aos pontos fatoriais, e 0 (zero) ao dos pontos centrais. Os pontos axiais foram obtidos através de $\pm\alpha$, onde $\alpha = (2^k)^{1/4}$. Sendo assim, para três fatores $\alpha = 1,68$ (Tabela 2). As variáveis respostas estudadas foram: teor de umidade, capacidade de retenção de água, percentual de encolhimento, percentual de rendimento na cocção e perfil de textura.

Tabela 2. Valores reais utilizados no DCCR 2^3 para otimização da formulação

Variáveis Independentes	Níveis				
	-1,68	-1	0	+1	1,68
Concentração de água (%)	5	9	15	21	25
Concentração de Fécula de Mandioca (%)	0	2	5	8	10
Concentração de MTGase (%)	0	0,4	1	1,6	2

Foi utilizado um modelo polinomial de segunda ordem para ajustar as respostas experimentais em função das variáveis independentes:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \varepsilon$$

onde y representa a variável resposta, β_0 a média geral das respostas para determinada variável, β_1 , β_2 e β_{12} , os coeficientes lineares, β_{11} e β_{22} , os coeficientes quadráticos da equação, x_1 e x_2 as variáveis independentes e ε o erro experimental.

A Tabela 3 ilustra a matriz do delineamento experimental para os 18 ensaios com os valores reais (% fécula, % água e % MTGase) e codificados (x_1 , x_2 e x_3).

Tabela 3. Matriz do delineamento experimental

Ensaio	% água	% fécula	% MTGase*	x_1	x_2	x_3
1	9	2	0,4	-1	1	-1
2	21	2	0,4	1	1	-1
3	9	8	0,4	-1	-1	-1
4	21	8	0,4	1	-1	-1
5	9	2	1,6	-1	1	1
6	21	2	1,6	1	-1	1
7	9	8	1,6	-1	1	1
8	21	8	1,6	1	1	1
9	5	5	1	-1,68	0	0
10	25	5	1	1,68	0	0
11	15	0	1	0	-1,68	0
12	15	10	1	0	1,68	0
13	15	5	0	0	0	-168
14	15	5	2	0	0	1,68
15	15	5	1	0	0	0
16	15	5	1	0	0	0
17	15	5	1	0	0	0
18	15	5	1	0	0	0

*Transglutaminase microbiana

A análise de variância (ANOVA) com $p=0,05$ foi realizada, para cada variável resposta, para a determinação dos coeficientes lineares, quadráticos e de interação, e comparado o $F_{\text{calculado}}$ e F_{Tabelado} para cada variável visando a verificação da adequação dos dados ao modelo. Os coeficientes de regressão obtidos foram utilizados para gerar as superfícies de resposta e gráficos de contorno.

4.2.2 Formulação

Foram utilizados os seguintes ingredientes na elaboração dos *fishburgers*: CMS de espinhaço de tilápia, água, fécula de mandioca, transglutaminase, alho em pó, cebola em pó, pimenta do reino branca em pó e sal. A formulação das amostras foi obtida utilizando-se o DCCR (2^3), com três variáveis independentes (água, fécula e transglutaminase), obtendo-se 18 ensaios com 15 formulações diferentes (Tabela 4). A MTGase (ACTIVA® TG-B,

Ajinomoto, Brasil) foi cedida pela empresa Ajinomoto e os demais ingredientes foram adquiridos no mercado local de Seropédica/RJ.

Tabela 4. Formulação das amostras de *fishburger* utilizando o DCCR 2³

Ensaio	H ₂ O (%)	Fécula (%)	MTGase (%)	Sal (%)	Alho em pó (%)	Pimenta* (%)	Cebola em pó (%)	CMS (%)
1	9 (-1)	2 (1)	0,4 (-1)	1	1	1	1	84,6
2	21 (1)	2 (1)	0,4 (-1)	1	1	1	1	72,6
3	9 (1)	8 (-1)	0,4 (-1)	1	1	1	1	78,6
4	21 (-1)	8 (-1)	0,4 (-1)	1	1	1	1	66,6
5	9 (1)	2 (1)	1,6 (1)	1	1	1	1	83,4
6	21 (-1)	2 (1)	1,6 (1)	1	1	1	1	71,4
7	9 (1)	8 (-1)	1,6 (1)	1	1	1	1	77,4
8	21 (-1)	8 (-1)	1,6 (1)	1	1	1	1	65,4
9	5 (-1,68)	5 (0)	1 (0)	1	1	1	1	85
10	25 (1,68)	5 (0)	1 (0)	1	1	1	1	65
11	15 (0)	0 (-1,68)	1 (0)	1	1	1	1	80
12	15 (0)	10 (1,68)	1 (0)	1	1	1	1	70
13	15 (0)	5 (0)	0 (-1,68)	1	1	1	1	76
14	15 (0)	5 (0)	2 (1,68)	1	1	1	1	74
15	15 (0)	5 (0)	1 (0)	1	1	1	1	75
16	15 (0)	5 (0)	1 (0)	1	1	1	1	75
17	15 (0)	5 (0)	1 (0)	1	1	1	1	75
18	15 (0)	5 (0)	1 (0)	1	1	1	1	75

*Pimenta do reino branca em pó

4.3 Pesagem dos Ingredientes

Os ingredientes foram pesados no dia anterior ao processamento, com exceção do sal, água gelada e CMS, o qual foram pesados momentos antes da homogeneização dos ingredientes. Os ingredientes em pó foram pesados em copos plásticos descartáveis, tampados com papel alumínio e acondicionados em bandejas retangulares de polietileno. A CMS foi pesada em bandejas de polietileno retangulares e a água gelada em provetas de 50 mL.

4.4 Preparo dos *Fishburgers*

O processo de elaboração dos *fishburgers* foi realizado nas dependências da planta de processamento de Carnes do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFRRJ (Figura 6).

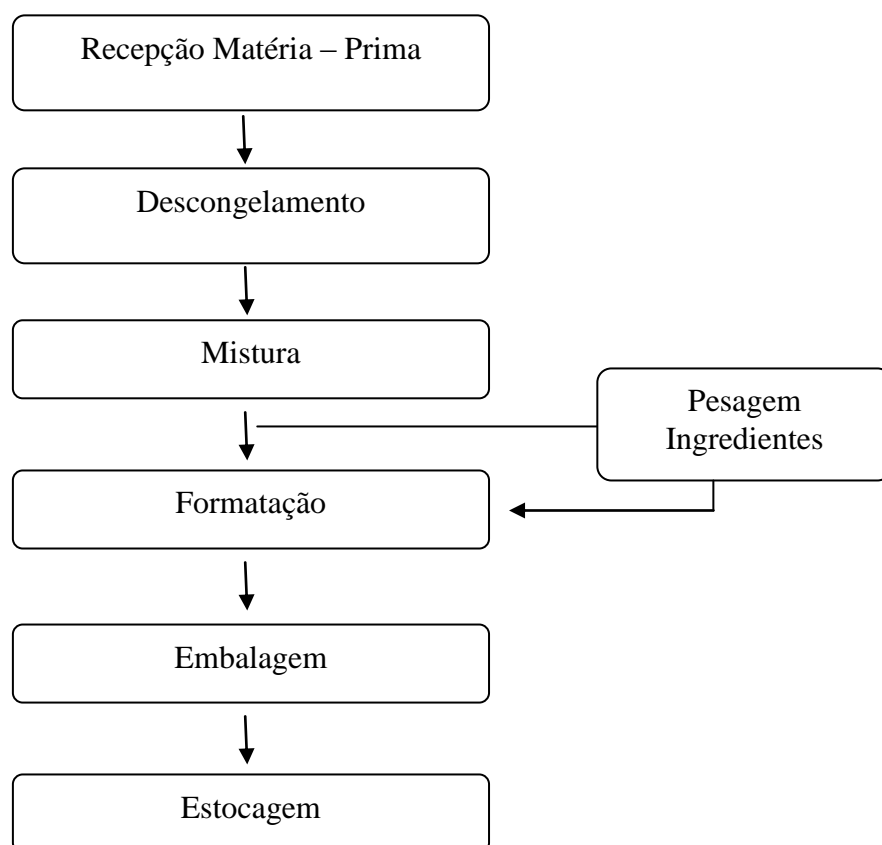


Figura 6. Fluxograma de Processamento do *Fishburger* de Tilápia

Os blocos de 1 kg de CMS de tilápia foram recepcionados em sacos de polietileno e previamente descongelados por 24h em refrigeração. Após o descongelamento, a CMS foi transferida para recipientes de alumínio do tipo peneiras, previamente higienizados, onde foi realizado a lavagem da CMS com água hiperclorada 5 ppm. Em seguida, foi feita a drenagem realizando-se a prensagem manual para expulsão do excesso de água. Após a lavagem, pesou-se a CMS correspondente para cada formulação. Em seguida, adicionou-se cada ingrediente da formulação e realizou-se a homogeneização manual da massa, em bandejas de polietileno retangulares, por aproximadamente 60 segundos. Posteriormente, a massa foi deixada em repouso, sob refrigeração, por duas horas. A massa, pós repouso, foi moldada e formatada em forma de disco com auxílio de moldador doméstico, previamente higienizados (Figura 7).

B

C



Figura 7. (A) CMS de tilápia descongelada (B) Lavagem e drenagem da CMS (C) Ingredientes pesados e acondicionados (D) Homogeneização da massa (E) Moldagem (F) Formatação

O produto elaborado foi colocado em sacos plásticos e posteriormente transferido para bandejas de polietileno retangulares. As bandejas foram acondicionadas em *freezers* a temperatura de -18°C até o momento de realização das análises.

4.5 Produto Final

4.5.1 Avaliação Nutricional e Sanitária

Após a análise estatística dos dados, dos ensaios preliminares, o modelo estatístico possibilitou apontar a formulação mais indicada para o produto. Assim, foi realizado um novo processamento para elaboração de *fishburgers* de acordo com o resultado obtido. As análises para avaliação da qualidade nutricional e microbiológica do produto foram realizadas para estas amostras de *fishburgers*. As análises da composição centesimal e físico química foram realizadas no laboratório físico-químico do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), campus Valença/RJ. A avaliação microbiológica foi realizada no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

4.5.1.1 Determinação da Centesimal dos *Fishburgers*

Foram realizadas análises de composição centesimal, em duplicata (umidade, proteína, lipídeos, cinzas, carboidratos e valor calórico), nos *fishburgers* crus e grelhados, bem como análise do perfil em ácidos graxos no produto cru. Para determinação de umidade, proteínas, cinzas e lipídeos foi utilizada a metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). Para avaliação da quantidade de carboidratos foi utilizado a metodologia descrita por Triki et al., (2013), baseada na diferença entre os componentes quantificados, conforme cálculo abaixo:

$$\text{CHO} = 100 - (\text{U} + \text{Lip} + \text{Ptn} + \text{Cnz})$$

Onde: U = Umidade; Lip = Lipídeo; Ptn = Proteína; Cnz = Cinzas

Para a quantificação do valor calórico foi utilizada a fórmula proposta por Triki et al., (2013), influenciado pelo teor de lipídios, proteínas e carboidratos, conforme se segue:

$$\text{VL} = 9,1 \times \text{Lip} + 4,1 \times \text{Ptn} + 4,1 \times \text{CHO}$$

Onde: VL = valor calórico em Kcal/g; Lip = Lipídios; Ptn = Proteína; CHO = Carboidratos

4.5.1.2 Análises Físico Química dos *Fishburgers*

A análise realizada para avaliação da qualidade físico química dos *fishburgers* foi a determinação do pH. As análises de pH foram realizadas tanto no produto cru como no grelhado e seguiu a metodologia preconizada pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008).

4.5.1.3 Avaliação Microbiológica dos *Fishburgers*

As análises microbiológicas realizadas para os *fishburgers* foram para detecção de Coliformes a 45°C, Estafilococos coagulase positiva e *Salmonella* sp, conforme recomendado pela Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), item 7- Pescado e Produtos de Pesca, alínea f (produtos à base de pescado refrigerados ou congelados (hambúrgueres e similares)) (BRASIL, 2001). A metodologia de análise seguiu os padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003 do MAPA (BRASIL, 2003).

4.6 Análises para a Avaliação dos Parâmetros Estudados no DCCR

Foram avaliados nos *fishburgers* o teor de umidade, o perfil de textura (dureza, coesividade, elasticidade, gomosidade, mastigabilidade), o percentual de capacidade de retenção de água, de encolhimento e de rendimento na cocção. Para a realização das análises de avaliação das variáveis respostas as amostras foram descongeladas sob temperatura de 4°C por 12 horas. As análises foram realizadas em triplicata. As análises de umidade e CRA foram feitas no Laboratório de processos fermentativos, no Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFRRJ. As avaliações da porcentagem de encolhimento, porcentagem de rendimento na cocção e análise do perfil de textura foram realizados no Laboratório de análise sensorial do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), campus Valença/RJ.

4.6.1 Umidade

A umidade foi realizada seguindo o método gravimétrico em estufa a 105°C (IAL, 2008).

4.6.2 Capacidade de Retenção de Água

A capacidade de retenção de água (CRA) foi avaliada segundo a metodologia adaptada de Troy et al. (1999). Foram pesados 10 gramas de amostra em frascos de vidro do tipo de geleia com capacidade para 40 mL. Em seguida, os frascos foram tampados com tampa rosca e aquecidos em banho-maria (Cap Lab Comercial®) a 90°C durante 10 minutos. Após este

tempo, os frascos foram retirados do banho-maria e as amostras foram resfriadas até a temperatura ambiente. Em seguida, as amostras foram retiradas dos frascos com auxílio de uma pinça e adicionadas em tubos de centrifuga contendo papel filtro quantitativo Whatman nº 40 e algodão. As amostras foram centrifugadas a 3000 rpm durante 15 minutos (Centrifugador FANEN-SP® modelo 204-N). Posteriormente, foram novamente resfriadas para nova pesagem. Os resultados obtidos foram através da fórmula:

$$\% \text{ CRA} = 1 - \frac{A-D}{U} \times 100$$

Onde: A: peso da amostra em gramas antes do aquecimento; D: peso da amostra em gramas após o aquecimento e a centrifugação e U: total de umidade na amostra em porcentagem.

4.6.3 Percentual de Rendimento na Cocção

As amostras de *fishburger* de cada ensaio foram previamente pesadas e em seguida grelhadas em aparelho doméstico (Multi Grill 2 Britania®, tensão 127V~, potência 1200W, frequência 50-60Hz) (Figura 8). Os *fishburgers* foram grelhados até o produto atingir a temperatura interna de 75°C, sendo virados a cada 90 segundos, totalizando 7 minutos de procedimento. Após grelhadas, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente e novamente pesadas. Os resultados foram obtidos através da fórmula: % Rendimento = Peso após cozimento / Peso antes do cozimento x 100 (ANGIOLILLO et al., 2015).



Figura 8. Processo de grelhagem dos *fishburgers* de Tilápia

4.6.4 Percentual de Encolhimento

Para avaliação do percentual de encolhimento foi realizado o mesmo procedimento para grelhar os *fishburgers*, descrito na metodologia de percentual de rendimento. No entanto, foi medido o diâmetro dos *fishburgers*, com auxílio de um paquímetro, antes e após a cocção em grill. Os resultados foram obtidos através da fórmula: % Encolhimento = (diâmetro da amostra crua – diâmetro da amostra cozida) / Diâmetro da amostra crua x 100 (ANGIOLILLO et al., 2015).

4.7.5 Análise do Perfil Textura (TPA)

Para a avaliação da textura foi utilizado o equipamento texturômetro, modelo TA.XT Express Enhanced, Stable Micro Systems, com sonda SMS P/35 (Figura 9). Foi realizado o teste de compressão Axial, em dois ciclos de compressão, seguindo a metodologia de Bourne

(2002), e as seguintes condições: velocidade pré-teste = 1,0 mm/segundo; velocidade teste = 2,0 mm/segundo; velocidade pós teste = 2,0 mm/segundo; 2,5 mm de distância de compressão (50% compressão); força de contato = 5g. Previamente a realização dos testes, os *fishburgers* foram grelhados, conforme descrito no item 4.7.3, e em seguida cortados em pedaços, obtendo-se amostras de 2cm x 2cm e 0,5 cm de espessura. Todos os testes foram realizados com amostras a temperatura ambiente (25°C).



Figura 9. Texturômetro com sonda SMS P/35 para teste de compressão

Os seguintes parâmetros foram obtidos com base na curva da análise do perfil de textura (Figura 10): dureza, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade. Para o cálculo dos parâmetros citados acima, empregou-se o software Exponent Lite Express. A dureza foi obtida pelo primeiro pico de força na primeira compressão. Coesividade foi calculada pela razão da segunda área de compressão pela primeira área de compressão (A_2/A_1). Elasticidade foi definida pela razão entre a distância percorrida na área do segundo ciclo de compressão pela distância percorrida na área do primeiro ciclo de compressão. Gomosidade foi determinada multiplicando-se a dureza pela coesividade. A mastigabilidade foi obtida pela multiplicação dos valores da elasticidade pela gomosidade (BOURNE, 1978).

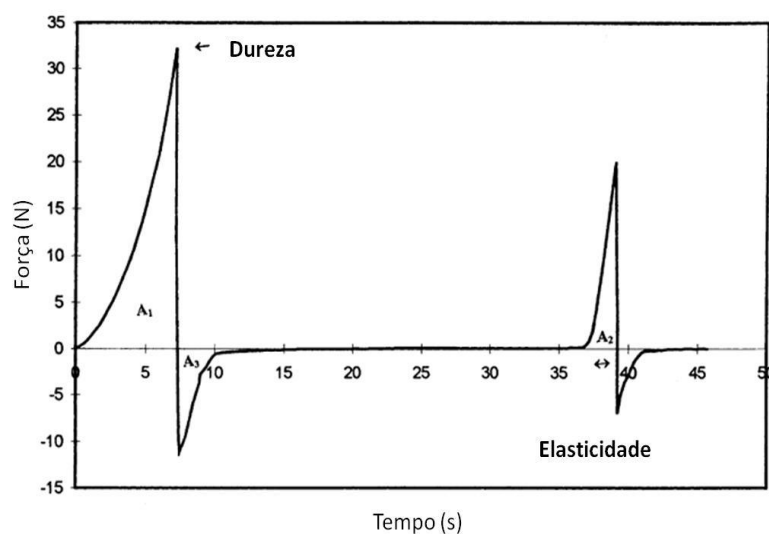


Figura 10. Curva típica de análise de perfil de textura (TPA). Fonte: GURJAL et al. (2002)

4.8 Análise Estatística

Os dados de composição centesimal foram analisados através de média e desvio padrão, além do teste de média de Tukey ao nível de significância 5%, sendo utilizado o Software SISVAR 5.4.

Para metodologia de superfície de resposta foi utilizado o Software STATISTICA® (STATSOFT, 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Química e Qualidade da Matéria-Prima

A caracterização da matéria prima, através da avaliação da composição centesimal e físico química fornece parâmetros acerca de sua qualidade, permitindo detectar alterações relacionadas a decomposição, e além disso quantificar constituintes químicos, como proteínas, lipídeos, cinzas entre outros, importantes do ponto de vista tecnológico e nutricional.

Os resultados obtidos para composição nutricional e a físico química da matéria-prima estão ilustrados na Tabela 5. Quanto à composição centesimal, a CMS de espinhaços de Tilápia do Nilo apresentou valores semelhantes ao encontrado no filé de tilápia crú para lipídeos e cinzas, porém com valores inferiores para proteína e superior para teor de umidade (SOUZA et al., 2004; SIMÕES et al., 2007).

Tabela 5. Composição centesimal da Carne Mecanicamente Separada de Tilápia

	Composição (g/100g)	
	CMS 1*	CMS 2**
Umidade	82,53 ± 0,82	82,56 ± 0,52
Proteínas	15,49 ± 0,81	16,29 ± 0,51
Lipídeos	2,2 ± 0,12	0,84 ± 0,04
Cinzas	1,1 ± 0,12	0,77 ± 0,02
pH	6,03 ± 0,04	6,55 ± 0,007

Média ± desvio padrão (n=3)

*Obtida em Maio/2016 (Outono); ** Obtida em Novembro/2016 (Primavera)

Os dados obtidos referem-se à amostra de CMS lavada de tilápia. O teor de umidade, tanto na CMS 1 quanto na CMS 2 ficou em torno 82%. Após o processo de lavagem da CMS o teor de umidade tende a aumentar devido ao aumento na capacidade de hidratação das proteínas miofibrilares, que permanecem na CMS após o processo de lavagem (SUZUKI, 1987; KIRSHNIK; VIEGAS, 2009). Kirshnick e Viegas (2009) encontraram valores superiores ao obtido neste estudo, relatando 88,78% de umidade na CMS após a lavagem. No entanto, Sary et al (2009) encontrou valores semelhantes de umidade para a CMS lavada (81,67%). Os resultados de umidade para a CMS após o processo de lavagem podem diferir muito entre si, devido ao tipo de processo de lavagem utilizado, bem como o tempo e tipo de drenagem utilizados.

O valor encontrado para proteínas foi de 15,49% e 16,29% para a CMS 1 e CMS 2, respectivamente. Esse valor ficou próximo ao encontrado por Tavares et al. (1998), que obteve 16,06% de proteína no filé crú de tilápia. No entanto, a maioria dos estudos aponta para um valor médio de proteínas superior a 17% para o filé (SALES, 1995; MAIA et al., 1999; SOUZA et al., 2004; SIMÕES et al., 2007; GONÇALVES, 2011). Na CMS, Kirshnik e Viegas (2009) encontraram 8,93% de proteína para a CMS lavada de tilápia do Nilo, enquanto Sary et al. (2009), ao avaliarem dois lotes de CMS de Tilápia do Nilo, lavada, encontraram 10,68% e 13,39% de proteína para o lote 1 e 2, respectivamente. A quantidade de proteínas na CMS pode variar em função da característica da espécie, como idade, sexo, época do ano e alimentação, bem como ao processo de lavagem da CMS. Neste sentido, o processo de lavagem da CMS conduz a perda de proteínas sarcoplasmáticas (GONÇALVES, 2011), o que reduz o teor de proteína bruta na CMS (SARY et al., 2009; KIRSHNIK; VIEGAS, 2009;

CABRAL et al., 2012). No entanto, Adu et al. (1983) relatam que a lavagem da CMS não afeta a composição de aminoácidos e nem a taxa da eficiência proteica, e concluíram que apesar da intensa perda de sólidos (mais precisamente cinzas e lipídeos), a qualidade da proteína não é afetada.

A quantidade de lipídeos na CMS de espinhaço de Tilápia do Nilo ficou em 2,17% para a CMS 1 e 0,84% para a CMS 2. Cabral et al. (2012) ao avaliar três tratamentos para CMS lavada de tilápia encontrou valores entre 3,08% e 3,96% de lipídeos. Sary et al. (2009) encontrou 6,55% e 5,97% de lipídeos na CMS de tilápia, nos lotes 1 e 2 respectivamente. O menor valor de lipídeos encontrado em nosso estudo (2,17%) pode ser devido ao tipo de matéria-prima para obtenção da CMS, o qual foi utilizado espinhaços de tilápia, cujo a quantidade de musculo abdominal é menor quando comparado ao processo que utiliza a tilápia inteira (descabeçada e eviscerada), utilizados por Cabral et al (2012) e Sary et al. (2009). Assim, ao utilizarem a tilápia inteira, com musculatura abdominal, os teores de lipídeos na CMS tendem a ser superiores pelo fato de que a maior deposição de gordura no corpo do pescado ocorre na musculatura abdominal (OGAWA; MAIA, 1999; BORDIGNON et al., 2010). A quantidade de lipídeos no pescado sofre muitas variações ao longo do ano, sendo influenciado pela dieta, época do ano, sexo, estado reprodutivo, e deste modo a concentração lipídica da CMS também será influenciada por estas variações.

Com relação ao conteúdo de cinzas, a CMS de espinhaço de Tilápia do Nilo apresentou 1,08% para CMS 1 e 0,77% para a CMS 2. O valor encontrado na CMS 1 foi superior ao encontrado por alguns estudos, cujos valores ficaram entre 0,46% e 0,93%, porém de acordo com o observado na CMS 2 (KIRSHNIK; VIEGAS, 2009; SARY et al., 2009; CABRAL et al., 2012). A lavagem da CMS promove a lixiviação de minerais, e é proporcional ao número e tempo de lavagens.

O pH encontrado na avaliação físico química da CMS de espinhaços de tilápia foi 6,03 e 6,55 para a CMS 1 e CMS 2, respectivamente. O pescado, em si, é considerado um alimento de baixa acidez, ou seja, tem um pH maior que 4,5. O valor de pH é quase sempre alterado em razão de processos de decomposição hidrolítica, oxidativa ou fermentativo no músculo do pescado, sendo que, quanto mais elevado o pH, maior a atividade bacteriana (GONÇALVES, 2011). O RIISPOA em seu artigo 443, estabelece uma faixa para valores de pH para a carne de pescado, o qual para a carne interna não deve ser inferior a 6,5. Para a carne externa esse valor não deve ultrapassar 6,8. Porém, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para CMS (BRASIL, 2000) não menciona parâmetros para o pH na CMS. Comparando-se o resultado obtido com o RIISPOA (BRASIL, 1952), esse encontra-se de acordo com o estabelecido pela legislação vigente. Kirschnik e Viegas (2009) encontraram pH próximo a 6,3 no dia 0(zero) para CMS de tilápia lavada sem aditivo, estando próximo ao encontrado neste estudo.

Portanto, os resultados indicaram uma matéria-prima de alto valor nutricional com valores de proteína próximos ao principal produto da espécie, o filé, e reduzido teor de gorduras, evidenciando o potencial de utilização da CMS, obtida de espinhaços de tilápia, na elaboração de coprodutos de pescado para a alimentação humana.

5.2 Avaliação Microbiológica da Matéria-Prima

A avaliação da qualidade sanitária da matéria-prima, através da análise microbiológica, permite estimar as condições higiênicas sanitárias durante o processo de obtenção da CMS, e com isso evitar que a matéria prima em condição microbiológica insatisfatória seja destinada ao processamento.

Os resultados da análise microbiológica da matéria-prima são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Avaliação microbiológica da carne mecanicamente separada de espinhaço de tilápia

Parâmetros	Resultados obtidos	Parâmetros*
<i>Salmonella</i> sp	Ausência	Ausência em 25g
Coliformes a 45 °C	< 3,0	10 ² NMP/g
Estafilococos coagulase positiva	< 1,0 x 10 ²	10 ³ UFC/g

*Estabelecidos pela RDC nº 12, de 12 de Janeiro de 2001 – ANVISA

Observa-se que a carne mecanicamente separada de espinhaço de tilápia encontrava-se de acordo com o estabelecido pela ANVISA, através da RDC 12/2001. Foram evidenciadas baixas contagens de coliformes a 45°C e de estafilococos coagulase positiva, além da ausência de *salmonella* sp, indicando que a manipulação dos espinhaços para obtenção da CMS e os procedimentos operacionais foram realizados dentro das normas higiênicas sanitárias, estabelecidas pela legislação vigente. Estes resultados atestam a conformidade da matéria-prima para a obtenção dos *fishburgers*. Kirshnik e Viegas (2009) não constataram a presença de coliformes a 45 °C, *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* nas CMS com e sem aditivos durante o período de estocagem. Mello et al. (2010) avaliando 4(quatro) lotes de CMS encontrou *Staphylococcus aureus* coagulase positiva em 3 lotes, *Salmonella* e *Escherichia coli* em um lote, indicando falhas nas Boas Práticas de Fabricação durante o processo de obtenção da CMS.

5.3 Característica Centesimal, Físico Químicas e Microbiológica dos *Fishburgers*

5.3.1 Composição Centesimal dos *Fishburgers*

A Tabela 7 mostra o resultado da análise para avaliação da composição centesimal dos *fishburgers* elaborados com 2,3% e 2,5% de MTGase. Comparando-se as duas formulações, com 2,3% (F1) e 2,5% (F2) de MTGase, para os *fishburgers* cru e grelhado, não foi observado diferença estatística ($p > 0,05$) para os itens avaliados. Porém, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras de *fishburgers* cru e grelhado para o teor de umidade e lipídeos. A quantidade de cinzas e proteínas não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) entre os *fishburgers* cru e grelhado.

Tabela 7. Composição centesimal dos *fishburgers* de Tilápia cru e grelhado

Composição (g/100g)	F1 (2,3% MTGase)	F2 (2,5% MTGase)	F1 (2,3% MTGase)	F2 (2,5% MTGase)
	CRÚ		GRELHADO	
Umidade	70,80 ± 0,75 ^a	70,05 ± 0,80 ^a	67,80 ± 0,06 ^b	67,21 ± 0,17 ^b
Lipídeos	0,28 ± 0,08 ^a	0,21 ± 0,02 ^a	2,15 ± 0,007 ^b	2,14 ± 0,04 ^b
Cinzas	1,33 ± 0,43 ^a	1,35 ± 0,54 ^a	1,63 ± 0,08 ^a	2,14 ± 0,11 ^a
Proteínas	15,07 ± 0,31 ^a	14,63 ± 0,37 ^a	16,00 ± 0,04 ^a	15,54 ± 0,53 ^a
Carboidrato	12,87 ± 1,24	13,51 ± 1,10	14,40 ± 0,03	12,99 ± 0,42
VL*	117,58 ± 3,09	117,22 ± 5,87	144,22 ± 0,20	136,38 ± 0,76

*Valor calórico – Kcal/g

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

O teor de umidade no *fishburger* cru ficou em torno de 70g/100g em ambas as formulações. No *fishburger* grelhado houve redução no teor de umidade em comparação ao produto cru, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$). A redução no teor de umidade após o processo de grelhamento é consequência da perda de água que ocorre durante o cozimento, sendo que a perda será maior quanto menor a capacidade de retenção de água do produto. Bochi et al. (2008), em seu estudo com *fishburgers* de resíduos da filetagem de “*silver catfish*” (*Rhamdia quelen*, Quoy e Gaimard, 1824) encontrou redução no teor de umidade de 73,62%, no produto cru, para 63,25% no *fishburger* cozido, corroborando com o observado nesse estudo. Bainy et al. (2015) avaliaram o efeito dos métodos de assamento e grelhamento na composição centesimal de *fishburgers* de tilápia. Ambos os tratamentos reduziram o teor de umidade em comparação ao produto cru, de 71% para 68% após o tratamento térmico. Mello et al. (2012) encontraram valor de umidade superior ao observado neste estudo, em *fishburgers* de polpa de tilápia. Os autores relataram 75,34% de umidade. O menor teor de umidade encontrado no presente estudo, em comparação ao de Mello et al. (2012), é atribuído a utilização de 10% de fécula de mandioca na formulação, que reduz o teor de umidade no produto final. Resultado semelhante a este estudo foi relatado por Melo et al. (2014) em *fishburgers* de CMS de tilápia, encontrando 71,16% de umidade no produto cru. Estes autores não avaliaram a composição centesimal no produto grelhado.

Houve aumento nos teores de lipídeos, proteínas, cinzas e valor calórico após o processo de grelhamento dos *fishburgers*, que pode ser atribuído a concentração destes componentes devido a perda de água durante o método de grelhar. Além do efeito da perda de água, a utilização de óleo de soja no aparelho para grelhar os *fishburgers* contribuiu para o aumento no teor de lipídeos nas amostras grelhadas. Bochi et al. (2008) e Bainy et al. (2015) observaram o mesmo efeito estudando a composição centesimal de *fishburgers* com resíduos da filetagem de “*silver catfish*” e *fishburgers* de tilápia, respectivamente.

No *fishburger* de tilápia elaborado por Bainy et al. (2015) os autores encontraram para lipídeos no produto cru e grelhado, respectivamente, 5,21% e 6,62%. As formulações F1 e F2 mostraram um produto com baixo teor de gordura, com 0,28g/100g e 0,21g/100g, respectivamente, no produto cru e 2,15g/100g e 2,14g/100g no *fishburger* grelhado. Filho et al. (2014) relataram teor de lipídeos de 0,38g/100g em hambúrguer de filé de tucunaré. Meleiro et al. (2013) obteve 6,46% de lipídeos ao analisar hambúrguer elaborados com filé de tilápia. O maior teor de lipídeos no hambúrguer de tilápia elaborado por Meleiro et al. (2013) e Bainy et al. (2015) deve-se a utilização de 5% de óleo na formulação, o que elevou o percentual de lipídeos.

Quanto ao teor de proteínas, as duas formulações (F1 e F2) obtiveram valores entre 14% e 15% para o produto cru, e próximo a 16% no produto grelhado. No *fishburger* de “*silver catfish*” desenvolvido Bochi et al. (2008), foi observado para as formulações controle, F20 (20% de polpa), F50 (50% de polpa) e F80 (80% de polpa) um teor de proteínas de 18,94%; 16,55%; 15,93% e 16,74% no produto cru. Bainy et al. (2015) encontrou 16,63% de proteína no *fishburger* de tilápia grelhado, semelhante ao encontrado para a formulação com 2,3% de MTGase. Melo et al. (2014) ao analisar a qualidade do *fishburger* de CMS de tilápia encontrou 12,58% de proteínas. Esse valor foi inferior ao presente estudo, o que pode ser atribuído ao menor teor de proteínas (13,02%) na matéria-prima utilizada por Melo et al. (2014). Palmeira et al. (2014) encontrou valor de proteínas entre 18,6% e 20,8% em almôndegas de truta (*Onchorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) com a adição de 1% de MTGase. Estes resultados foram superiores ao presente estudo, onde utilizou-se uma concentração de MTGase superior. Atribui-se a diferença à adição de 4% de proteína texturizada de soja na formulação, elevando o conteúdo proteico.

O teor de cinzas nas formulações F1 e F2 cru e grelhado foram inferiores ao relatado no *fishburger* de “*silver catfish*” desenvolvido Bochi et al. (2008), que observaram para as

formulações controle, 20%, 50% e 80% de polpa um teor de cinzas de 2,56%; 2,80%; 2,90; 2,97%, respectivamente, para o produto cru. No produto grelhado este conteúdo foi de 3,49%. Observa-se que o conteúdo de cinzas relatado por Bochi et al. (2008) foi superior aos valores encontrados neste estudo, o qual pode ser atribuído a maior concentração de sal e o uso de aditivos como glutamato monossódico, sorbitol e ascorbato de sódio, além da espécie utilizada no estudo de Bochi et al. (2008).

O conteúdo de carboidratos nos *fishburgers* dos tratamentos com 2,3% e 2,5% de MTGase foram elevados, tanto no produto cru quanto no grelhado. No produto cru, o teor de carboidratos ficou entre 12% e 13% e no *fishburger* grelhado entre 12% e 14%. Para o desenvolvimento de um produto a base pescado, Melo et al. (2011) elaborou um tipo de mortadela com CMS de tilápia do Nilo e encontrou para as formulações F1, F2, F3, F4, respectivamente, 4,02g/100g; 6,35 g/100g; 4,58 g/100g; 5,63 g/100g e 2,33 g/100g de carboidratos. Para isto, o autor utilizou CMS com 9% de gordura e 3,5% de fécula de mandioca. A elevada quantidade de carboidratos, no presente estudo, é atribuída ao uso de 10% de fécula de mandioca na formulação, tendo vista a matéria-prima utilizada (CMS) apresentar com baixo conteúdo lipídico (0,85%). Deste modo, é necessário maiores concentrações de fécula como substituto de gordura.

O valor calórico no *fishburger* cru, em ambas formulações, foi inferior ao encontrado Silva e Fernandes (2010) em *fishburger* de corvina. Os autores obtiveram valor calórico de 126 kcal/100g, frente aos 117,58 kcal/g e 117,28 kcal/g para F1 e F2 respectivamente. Na elaboração de hambúrguer de carne bovina Bourschied (2009) foi relatado valor calórico de 210,11, 204,92 e 209,11 kcal/100g para as formulações F1 (com 6% gordura), F2 (com 2% de fécula) e F3 (2% proteína texturizada de soja), respectivamente. Observa-se que mesmo com a adição de fécula e proteína texturizada de soja como substituto de gorduras no hambúrguer bovino este ainda apresentou maior valor calórico do que os *fishburgers* de tilápia.

Seabra et al. (2002) utilizaram farinha de aveia e fécula como substituto de gordura em hambúrguer de carne ovina. Os autores desenvolveram 4 formulações: F1 (sem gordura e sem fécula), F2 (9,15% de gordura), F3 (2% de fécula) e F4 (2% de farinha de aveia). Os tratamentos F3 e F4 apresentaram valores de lipídeos (2,03% e 2,36%), no produto cru, semelhante ao encontrado no *fishburger* de tilápia grelhado elaborado neste estudo.

A legislação aplicada para hambúrguer é o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade, aprovado pela Instrução Normativa nº 20 de 31 de Julho de 2000 (BRASIL, 2000). No entanto, este regulamento abrange apenas os animais de açougue, não mencionando o hambúrguer de pescado. De acordo com Regulamento Técnico, o percentual de gordura deve ser de no máximo 23%, mínimo 15% de proteína e máximo de 3% de carboidratos. Observa-se que a formulação com 2,5% de MTGase atende ao Regulamento Técnico para percentual de gordura, e a formulação com 2,3% de MTGase enquadrou-se nos parâmetros de proteínas e gordura. Em ambas formulações o teor de carboidratos foi superior ao que estabelece a legislação. A justificativa para isto está no uso de maiores concentrações de substituto de gordura, como féculas e amidos, devido ao baixo teor de lipídeos que o pescado apresenta. Deste modo, a adição dos substitutos de gordura acabam aumentando o percentual de carboidratos no produto, cujo fato também foi observado por Silva e Fernandes (2010) e no *fishburger* de Ubarana (*Albula vulpes*, Linnaeus, 1758) elaborado por Pires (2015). Neste sentido, cria-se a necessidade de uma legislação estabelecendo um Regulamento Técnico para produtos a base de pescado, principalmente pelas características centesimais e físico químicas da musculatura do pescado e da CMS obtida de espinhaços residuais das linhas de filetagem, como o baixo teor de lipídeos.

5.3.2 Avaliação Físico Química dos *Fishburgers*

Os resultados da avaliação físico química dos *fishburgers* são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores de pH dos *fishburgers* de Tilápia crú e grelhado

	F1 (2,3% MTGase)	F2 (2,5% MTGase)	F1 (2,3% MTGase)	F2 (2,5% MTGase)
	CRÚ		GRELHADO	
Valor de pH	6,3 ± 0,007 ^a	6,4 ± 0,007 ^b	6,5 ± 0,02 ^c	6,6 ± 0,007 ^c

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Houve aumento no pH dos *fishburgers* após a grelhagem (p<0,05). No produto crú, o pH ficou em 6,3 e 6,4 nas formulações F1 e F2, respectivamente, diferindo estatisticamente entre si (p<0,05). Após a grelhagem os valores foram 6,5 e 6,6 para F1 e F2, respectivamente. As alterações de pH são resultantes do processo de deterioração do produto, de forma que valores elevado de pH estão relacionados com processo de multiplicação microbiana.

O Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RISSPOA (BRASIL, 1952), estabelece o pH na carne de pescado em inferior a 6,8, na carne externa, e inferior a 6,5 na carne interna. Ambas as formulações do produto crú atenderam ao estabelecido pela legislação vigente, indicando que o produto foi elaborado utilizando-se matéria-prima de alto frescor. Houve redução do pH no produto em relação a matéria-prima (CMS), cujo pH foi de 6,55. A redução no pH em relação a matéria-prima também foi observada por Bainy et al. (2015) em *fishburger* de tilápia que relatou pH no filé de 6,55 e 6,10 para o *fishburger*. No *fishburger* grelhado o autor obteve 6,30. A redução no pH no produto crú em relação a CMS é atribuída ao uso dos ingredientes na formulação capazes de reduzir o pH. Fernandes e Silva (2010) obtiveram pH de 6,55 para *fishburger* de corvina, e Filho et al. (2014) relatou pH de 5,01 para *fishburger* de filé de tucunaré, ambos para o produto crú.

5.3.3 Avaliação Microbiológica dos *Fishburgers*

Os resultados obtidos na análise microbiológica dos *fishburgers* (Tabela 9) estão de acordo com os padrões legais exigidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da RDC nº 2, de 12 de Janeiro de 2001 (BRASIL, 2001). A baixa contagem de estafilococos coagulase positiva e coliformes a 45 °C, além da ausência de *Salmonella* sp, indicam a qualidade microbiológica satisfatória da matéria-prima, bem como a realização do processamento dos *fishburgers* dentro das condições higiênico sanitárias, respeitando os princípios das Boas Práticas de Fabricação (BPF). Marengoni et al. (2009) e Filho et al. (2014) obtiveram resultados em consonância com os padrões microbiológicos legais para *fishburgers* de tilápia e de filé de tucunaré, respectivamente.

Tabela 9. Avaliação microbiológica dos *fishburgers* de Tilápia

Parâmetros	Resultados obtidos	Parâmetros*
<i>Salmonella</i> sp	Ausência	Ausência em 25g
Coliformes a 45 °C	< 3,0	10 ³ NMP/g
Estafilococos coagulase positiva	< 1,0 x 10 ²	10 ³ UFC/g

5.4 Variáveis Respostas

5.4.1 Teor de Umidade

O teor de umidade em alimentos influencia diretamente a velocidade das reações ocorridas no produto. Deste modo, é importante conhecer o percentual de umidade para otimizar o processo e adotar tecnologias para preservar a qualidade do produto e sua estabilidade. Os resultados da avaliação de umidade dos *fishburgers* estão ilustrados na Tabela 10. O ensaio 2 (21% água, 2% de fécula de mandioca e 0,4% de MTGase) apresentou o maior valor de umidade com 80,36% , não diferindo estatisticamente ($p>0,05$) dos ensaios 1 (9% água, 2% fécula e 0,4% de MTGase) e 11 (15% água, 0% fécula de mandioca e 1% MTGase). Dentre os ensaios, o menor percentual de umidade foi obtido no ensaio 12 (73,30%), cujas concentrações foram de 15% água, 10% fécula e 1% MTGase. O ensaio 7, que utilizou 9% água, 8% de fécula de mandioca e 1,6% de MTGase, não diferiu estatisticamente ($p>0,05$) do ensaio 12. Portanto, observa-se que houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os ensaios com maior umidade (80,36%) e o de menor umidade (73,30%), assim como os maiores valores de umidade foram obtidos com menores quantidades de fécula e MTGase.

Tabela 10. Resultado do teor Umidade dos *fishburgers* em função da quantidade de água, fécula e MTGase

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Umidade (%)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	79,61 ^a
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	80,36 ^a
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	75,55 ^{fg}
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	75,44 ^{fg}
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	78,58 ^b
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	77,67 ^c
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	74,14 ^h
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	76,17 ^{ef}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	76,18 ^{ef}
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	77,71 ^{bc}
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	79,64 ^a
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	73,30 ^h
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	76,25 ^{ef}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	75,05 ^g
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	77,05 ^{cde}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	76,57 ^{de}
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	76,59 ^{de}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	77,22 ^{cd}

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$)

A Tabela 11 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no teor de umidade dos *fishburgers*, e os resultados dos

coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. Observa-se que as três variáveis analisadas (água, fécula de mandioca e MTGase) influenciaram significativamente ($p < 0,05$) no teor de umidade dos *fishburgers*. A água teve um efeito linear positivo, ou seja, a medida que aumenta-se a quantidade de água, o teor de umidade tende a aumentar proporcionalmente. Já as variáveis fécula de mandioca e MTGase tiveram um efeito linear negativo, indicando que o teor de umidade dos *fishburgers* tende a diminuir com o aumento da concentração de fécula e MTGase. O efeito da interação entre a fécula de mandioca e MTGase também foi significativo ($p < 0,05$). Apesar dos efeitos isolados da Fécula e MTGase indicar redução da umidade com o aumento da concentração destes ingredientes, a associação destes indicou efeito de aumento no teor de umidade dos *fishburgers*. Deste modo, uma hipótese para isto seria uma interação entre a MTGase e a Fécula, o que permitiria que a água presente na estrutura ficasse livre, uma vez que a reação entre estas substâncias impediria a reação normal da MTGase e da fécula com a molécula de água. Como resultado haveria um aumento no teor de umidade do produto.

Tabela 11. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no teor de umidade (%) dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro		
		puro	t(3)	P
Média*	76,8027	0,163571	469,5365	0,000000
Água (L)*	0,63459	0,178153	3,5620	0,037765
Água (Q)	0,45653	0,186737	2,4448	0,092107
Fécula (L)*	-3,7598	0,178153	-21,1045	0,000233
Fécula (Q)	0,11333	0,186737	0,6069	0,586772
MTGase (L)*	-0,9464	0,178153	-5,3122	0,013027
MTGase (Q)	-0,4747	0,186737	-2,5419	0,084537
Água x Fécula	0,52083	0,231903	2,2459	0,110356
Água x MTGase	0,11917	0,231903	0,5139	0,642802
Fécula x MTGase*	0,76083	0,231903	3,2808	0,046397

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,92$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,92, mostrando que o modelo gerado explicou 92% da variância do experimento. A Tabela 12 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para teor de umidade. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (20,49) foi superior ao F_{Tabelado} (3,18). Deste modo, foi possível validar o modelo proposto ($p < 0,05$) permitindo a construção da superfície de resposta e das curvas de contorno da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase.

Tabela 12. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no teor de umidade

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	52,3066	4	13,07665	20,48948
Resíduo	8,2968	13	0,638213	
Total	60,6034	17		

$F_{\text{Tabelado}} (4,13) = 3,18$

A Figura 11 mostra que dentro da faixa estudada teores de umidade mais baixos tendem a serem obtidos nas maiores concentrações de fécula e reduzindo-se a quantidade de água. O efeito linear observado na Figura 11 para fécula sugere que quanto maior a quantidade de fécula na formulação do *fishburguer*, melhor será o resultado para o teor de umidade, e conseqüentemente melhor estabilidade microbiológica do produto. Porém, o RTIQ para hambúrguer só permite o máximo de 3% de carboidratos, valendo ressaltar que o referido regulamento não contempla a carne do pescado. Deste modo, apesar do RTIQ não contemplar o pescado, o uso de altas concentrações de fécula ultrapassaria os limites estabelecidos pela legislação vigente.

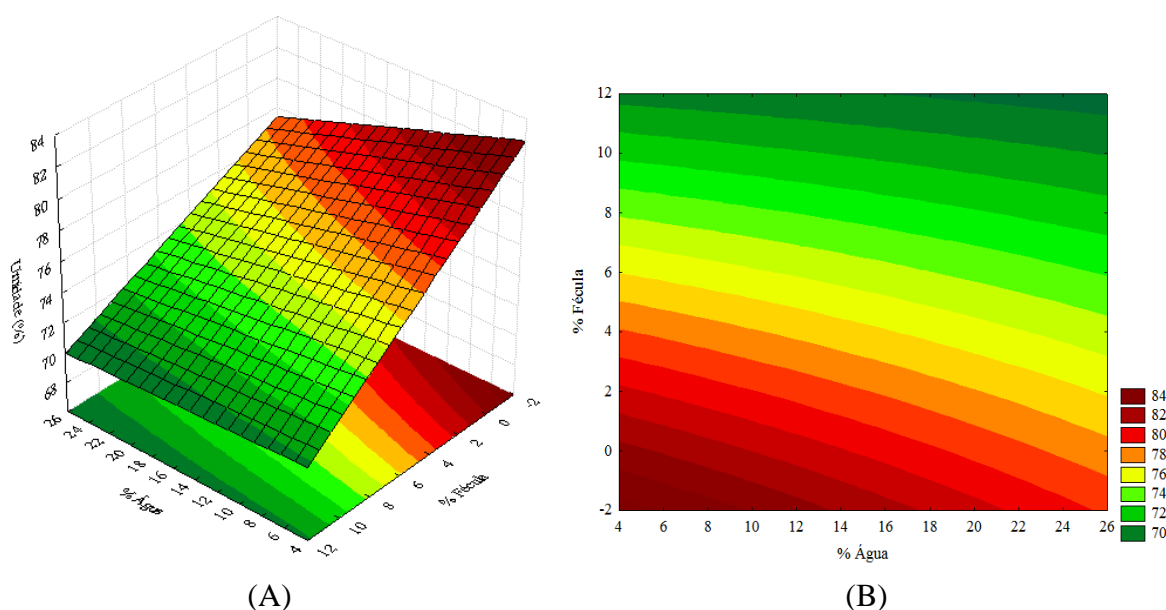


Figura 11. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do teor de umidade (%) em função da concentração de fécula de mandioca e de água.

A influência da água com a MTGase no teor de umidade sugere que os melhores resultados para umidade, dentro da faixa estudada, tendem a serem obtidos com o aumento da quantidade de MTGase (Figura 12). Este efeito é explicado pela ação da MTGase ao formar polímeros de estrutura porosa de alto peso molecular aprisionando água e reduzindo o teor de umidade. No entanto, observa-se que para alcançar o efeito de redução da umidade são necessárias maiores quantidades de MTGase, ou seja, mesmo que a quantidade de água na formulação seja baixa, ainda sim a quantidade de enzima a ser utilizada será alta.

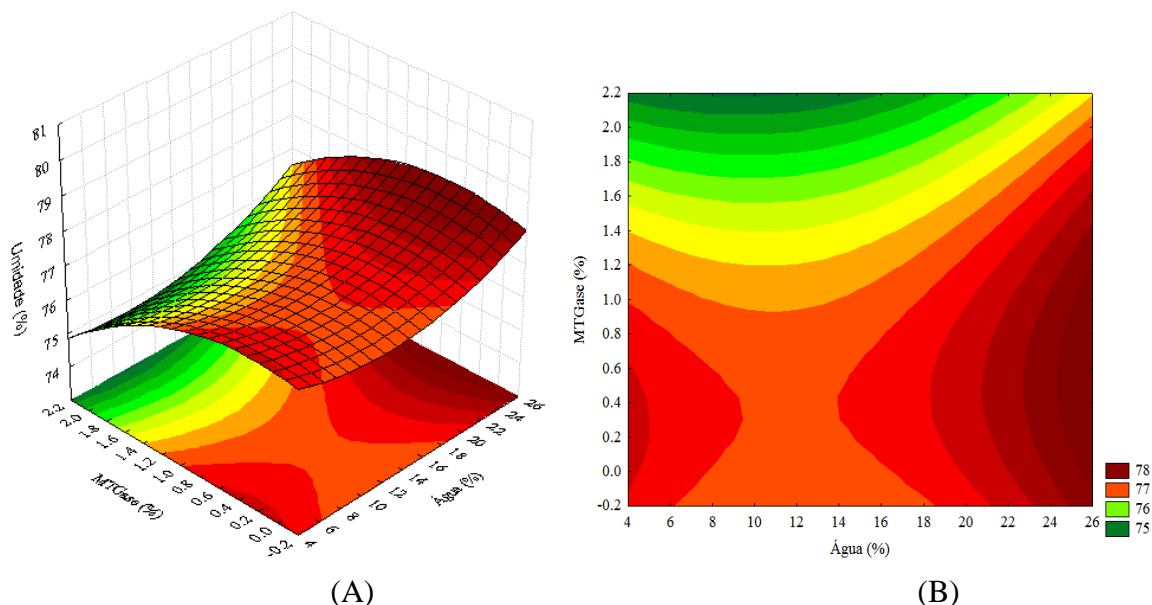


Figura 12. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do teor de umidade (%) em função da concentração de água e MTGase.

Quando analisamos o efeito da fécula e da MTGase, dentro da faixa estudada, no teor de umidade (Figura 13) observamos a necessidade de utilização de maiores concentrações de fécula para a redução do teor de umidade, mesmo utilizando as maiores concentrações de MTGase. Portanto, de acordo com a Figura 13 utilizando a maior concentração de MTGase deste estudo (2,0%) seria necessário utilizar concentrações superiores a 6% de fécula para atingir teor de umidade em torno de 75%.

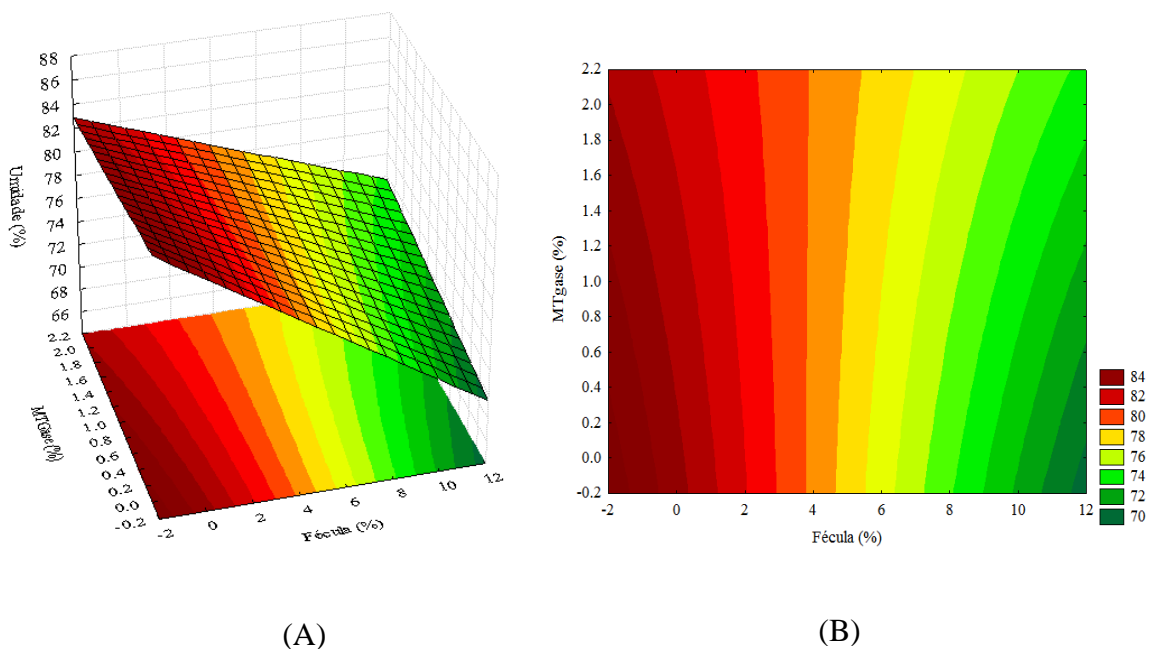


Figura 13. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do teor de umidade (%) em função da concentração de MTGase e fécula.

Fogaça (2009) corrobora com os achados deste estudo ao relatar influência linear significativa da quantidade de amido de mandioca no teor de umidade de surimi de tilápia do Nilo. A conclusão demonstra que quanto maior a quantidade de fécula menor será o teor de umidade do produto. Pires (2015) relatou efeito linear negativo em relação a adição de fécula de mandioca em *fishburger* de Ubarana, ou seja, a adição de amido reduziu o teor de umidade do produto, concordando com o observado neste estudo. Martelo-Vidal et al. (2016) ao analisar aplicação de MTGase em reestruturado de atum-branco com baixo teor de sal encontrou correlação inversa entre atividade de água (A_w) e a concentração de MTGase, ou seja, valores de A_w diminuem quando aumenta-se a quantidade de MTGase. Leite (2016) observou redução do teor de umidade, em linguça de mexilhão, com o aumento na concentração de MTGase na formulação. Essa observação está de acordo ao observado neste estudo para a influência da quantidade de MTGase no teor de umidade dos *fishburgers* (Tabela 11).

Um menor teor de umidade, assim como menor valor de atividade de água, em *fishburgers* é desejável, pois relacionam-se com uma maior vida útil do produto. Neste sentido, analisando-se a influencia das três variáveis (água, fécula de mandioca e MTGase) no teor de umidade dos *fishburgers*, nota-se que melhores teores de umidade tendem a ser obtidos aumentando o teor de fécula e MTGase e reduzindo o teor de água na formulação. Deste modo, os ensaios foram repetidos elaborando-se 2(duas) formulações de *fishburgers*, tendo como base a tendência apontada pelo modelo matemático. Fixou-se a quantidade de fécula e água em 10% e 0%, respectivamente, variando apenas a concentração de MTGase (Tabela 13). A opção por não utilizar água na formulação foi respaldado no fato da CMS passar pelo processo de lavagem o que aumenta o teor de umidade na CMS pela capacidade de hidratação das proteínas miofibrilares do pescado. Por outro lado, mesmo o modelo matemático sugerindo o aumento na concentração de fécula, isto não seria viável na prática pelo fato de que a literatura para hambúrguer a base de peixe recomenda no máximo 10% de amido. Apesar do Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) de hambúrguer não contemplar pescado, o máximo permitido para carboidratos é 3% e um valor superior a 10%, indicado pelo modelo, poderia ultrapassar este limite.

Tabela 13. Formulação para repetição dos ensaios com base na predição do modelo matemático.

Ingredientes	F1	F2
Água (%)	0	0
Fécula (%)	10	10
MTGase (%)	2,3	2,5
CMS (%)	83,7	83,5
Sal (%)	1	1
Alho em pó (%)	1	1
Cebola em pó (%)	1	1
Pim, em pó* (%)	1	1

*Pimento do reino branca em pó

O modelo que apresenta a influência da variável concentração de água, fécula e MTGase sob o teor de umidade é apresentado pela equação 1. Considerando que a concentração de água e a fécula foram fixadas (0 e 10% respectivamente), e ao substituir a expressão “*MTGase” pelos valores 2,3 e 2,5, e a expressão “*fécula” por 10, foram obtidos os teores de umidade previsto pelo modelo, o qual foram comparados com aos valores obtidos

de forma experimental. O cálculo para obter o desvio relativo foi: $\text{Desvio} = Y / \hat{Y}$ e $\text{Desvio relativo} = (Y - \hat{Y} / Y) * 100$, onde Y é a resposta experimental, e \hat{Y} a resposta prevista pelo modelo.

$$\% \text{ umidade} = 83,25 - 0,23 * \text{água} - 1,12 * \text{fécula} - 0,78 * \text{MTGase} + 0,01 * \text{água} * \text{fécula} + 0,02 * \text{água} * \text{MTGase} + 0,21 * \text{fécula} * \text{MTGase} \quad (\text{Equação 1})$$

Tabela 14. Teores de umidade obtidos experimentalmente e previstos pelo modelo

Concentração de MTGase (%)	Umidade experimental (%)	Umidade prevista pelo modelo (%)	Desvio	Desvio Relativo (%)
2,3 (F1)	70,04 ^a	75,09	0,93	-7,21
2,5 (F2)	70,80 ^a	75,35	0,94	-6,43

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey

Observa-se que os desvios foram baixos (Tabela 14), mostrando semelhança entre os valores obtidos experimentalmente e os previstos pelo modelo, evidenciando assim que esta ferramenta pode ser útil para prever o teor de umidade com diferentes concentrações de MTGase na elaboração de *fishburgers*. Segundo o previsto pelo modelo o teor de umidade não varia com a utilização de 2,3% e 2,5% de MTGase, o que foi confirmado pelos valores experimentais, embora com valor inferior ao previsto no modelo.

Não houve diferença estatística ($p > 0,05$) no teor de umidade experimental dos *fishburgers* entre as duas novas formulações (F1 e F2) (Tabela 14). Em ambas as formulações, o teor de umidade ficou em torno de 70%. Macari (2007) enfatiza a capacidade da MTGase em aumentar o teor de umidade, em comparação a fécula de mandioca, quando adicionada nos produtos. Em seu estudo, com embutido a base de tilápia, o autor verificou que a média dos teores de umidade das formulações com MTGase (81,52%) foi superior as formulações que utilizaram, por exemplo, a fécula de mandioca (80,55%).

5.4.2 Capacidade de Retenção de Água (CRA)

A capacidade de retenção de água é um dos principais parâmetros que influencia a qualidade de produtos cárneos reestruturados, pois uma boa CRA reflete nas características sensoriais do produto final. Os resultados para CRA dos *fishburgers* são mostrados na Tabela 15. Os maiores e menores valores de CRA foram 99,21% e 94,76%, respectivamente, correspondendo aos ensaios 4 e 11, respectivamente. Para o ensaio 4 foi utilizado 21% de água, 8% de fécula e 0,4% de MTGase, não diferindo estatisticamente ($p > 0,05$) dos ensaios 3 e 12. No ensaio 3 utilizou-se a mesma concentração de fécula (8%) e MTGase (0,4%) do ensaio 4, porém com 9% de água. No ensaio 12 a quantidade de água, fécula e MTGase foi respectivamente, 15%; 10% e 1%. Em relação ao ensaio 11, observa-se que esse não diferiu significativamente ($p > 0,05$) apenas do ensaio 1 e 2, cuja concentração utilizada foi 2% e 0,4% de fécula de mandioca e MTGase, respectivamente, no entanto com 9% e 21% de água para os ensaios 1 e 2, respectivamente. Nota-se, que os maiores valores de CRA foram obtidos com os maiores valores de fécula (8% a 10%) utilizados neste estudo.

Tabela 15. Resultado da capacidade de retenção de água dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	CRA (%)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	95,23 ^{hi}
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	95,37 ^{ghi}
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	98,30 ^{ab}
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	99,21 ^a
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	95,79 ^{fgh}
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	96,62 ^{def}
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	97,92 ^{bc}
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	97,58 ^{bcd}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	97,02 ^{cde}
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	96,32 ^{efg}
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	94,76 ⁱ
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	98,55 ^{ab}
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	97,07 ^{cde}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	97,00 ^{cde}
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	96,65 ^{def}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	96,81 ^{de}
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	96,58 ^{ef}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	96,76 ^{def}

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$)

A Tabela 16 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na CRA dos *fishburgers*, e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. É possível observar que houve efeito significativo ($p < 0,05$) na concentração de fécula e MTGase para a CRA dos *fishburgers*. A variável quantidade de água não apresentou influência significativa ($p < 0,05$) sobre a CRA dos *fishburgers*. A quantidade de fécula obteve um efeito linear positivo, indicando uma tendência de aumento na CRA em função do aumento da concentração de fécula de mandioca. A MTGase teve um efeito quadrático positivo, sugerindo, então, aumento na CRA dos *fishburgers* a medida que aumenta-se a porcentagem de MTGase na formulação. A interação fécula e MTGase influenciou significativamente ($p < 0,05$) a CRA dos *fishburgers*. Os efeitos individuais, tanto da fécula como da MTGase, é aumentar a CRA a medida que são adicionados na formulação. Contudo a interação linear negativa significativa, apontado pelo modelo, entre a fécula e a MTGase sugere redução na CRA. A hipótese para isto pode ser uma possível reação entre a fécula e MTGase, assim como sugerido para o teor de umidade, o que impediria a reação normal da MTGase e da fécula de reter a molécula de água na estrutura (matriz). Deste modo, a água ficaria livre e passível de ser perdida durante o processo de cozimento.

Tabela 16. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na CRA (%) dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	96,68869	0,052896	1827,891	0,000000
Água (L)	0,05459	0,057612	0,948	0,413263
Água (Q)	0,07062	0,060388	1,169	0,326684
Fécula (L)*	2,40852	0,057612	41,806	0,000030
Fécula (Q)	0,05982	0,060388	0,991	0,394904
MTGase (L)	-0,0482	0,057612	-0,837	0,464228
MTGase (Q)*	0,33582	0,060388	5,561	0,011471
Água (L) x Fécula (L)	-0,09917	0,074994	-1,322	0,277833
Água (L) x MTGase (L)	-0,14417	0,074994	-1,922	0,150286
Fécula (L) x MTGase (L)*	-0,95250	0,074994	-12,701	0,001053

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,94$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

A Tabela 17 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para capacidade de retenção de água. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (30,04) foi superior ao F_{tabelado} (3,34). Deste modo, foi possível validar o modelo proposto ($p<0,05$) permitindo a construção da superfície resposta e das curvas de contorno da concentração de fécula de mandioca e MTGase.

Tabela 17. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na CRA dos *fishburgers*.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	20,0068	3	6,668923	30,03651
Resíduo	3,1084	14	0,222027	
Total	23,1152			

$F_{\text{Tabelado}}(3,14) = 3,34$

A Figura 14 ilustra o gráfico de superfície resposta e curvas de contorno para a influência da fécula e MTGase sobre a capacidade de retenção de água dos *fishburgers*.

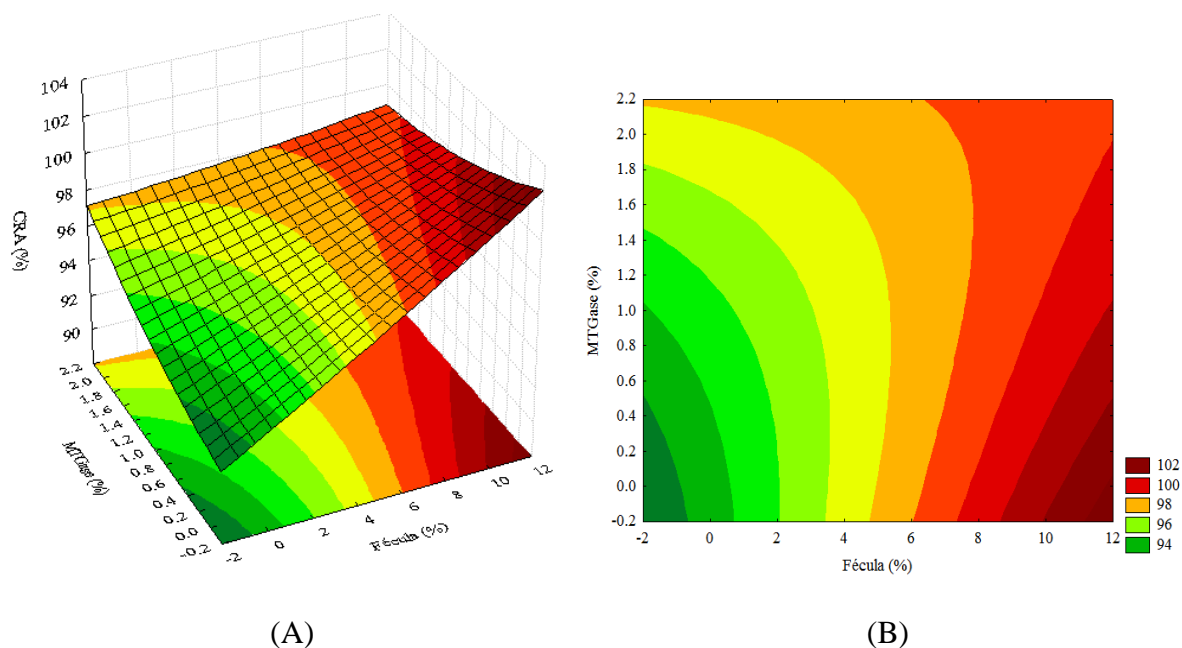


Figura 14. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) da capacidade de retenção de água (%) em função da concentração de MTGase e fécula.

Os melhores resultados para CRAs tendem a serem obtidos nas maiores concentrações de fécula de mandioca e MTGase (Figura 13). O aumento na CRA do produto em função do aumento da quantidade de fécula de mandioca e MTGase na formulação é devido as características particulares destes ingredientes. Em produtos reestruturados, como é o caso do *fishburger*, a fécula de mandioca tende a gelatinizar-se na mesma temperatura de cozimento dos mesmos, podendo ligar-se a outras moléculas e formar uma rede tridimensional que apresenta como característica reter água (LEONHARDT, 2011). Do mesmo modo, o uso da transglutaminase promove modificações na estrutura proteica, através da formação de ligações cruzadas entre resíduos de glutamina e lisina, aumentando a interação água/proteína, refletindo num aumento da capacidade de retenção de água (GOES-FAVONI; GASPAR, 2015).

Bainy et al. (2015) encontraram em *fishnurger* de tilápia cozido e grelhado, respectivamente, 88,26% e 87,91% para CRA. Pires (2015) avaliando a influência da fécula de mandioca na CRA de *fishburger* de Ubarana, constatou que o aumento no teor de fécula de mandioca na formulação promoveu aumento na CRA. Seabra et al. (2002) encontrou maior valor de CRA (73,78%) em hambúrguer ovino quando adicionado 2% de fécula de mandioca na formulação, corroborando com o observado nesse estudo. No entanto, observa-se que os valores encontrados por Seabra et al (2002) foram inferiores ao *fishburger* de tilápia. Este fato pode ser atribuído as diferenças entre as carnes destas espécies, pois Coelho et al. (2007) relata que as proteínas da carne do pescado, por si só, conferem retenção de água por meio da gelificação que ocorre durante o ciclo de cozimento.

Uresti et al. (2004) avaliaram a o efeito da transglutaminase em reestruturado de peixe obtidos a partir dos resíduos da filetagem de carpa prateada e os resultados mostraram que a perda de água, durante o cozimento, foi reduzida, porém, somente em produtos contendo sal. Leite (2016) avaliou a adição de MTGase em linguiça de mexilhão e observou que um aumento na concentração da enzima até a concentração de 1,4% proporcionou aumento na CRA. No entanto, quando a concentração elevou acima deste ponto (1,4%) a CRA diminui. Neste sentido, deve-se avaliar cuidadosamente a concentração de MTGase na formulação,

pois a enzima ao atingir uma certa concentração na proteína miofibrilar, esta torna-se inversamente correlacionada com a CRA pelo maior número de ligações cruzadas inter e intracadeias de peptídeos (GOES FAVONI; GASPAR, 2015).

Sá Vieira et al. (2015) estudou diferentes concentrações de amido na elaboração de *fishburger* e empanados tipo *popcorn* com CMS de tilápia do Nilo e concluíram que, a medida que aumentou-se a concentração de fécula, maiores valores de CRA foram obtidos. Esses autores encontraram CRA próximo a 90% quando utilizaram 2% de amido, valor que encontra-se abaixo do observado em nosso ensaio utilizando-se a mesma concentração de fécula. Deste modo, podemos sugerir que os maiores índices de CRA encontrados nessa pesquisa, na concentração de 2% de amido, deve-se ao uso da MTGase na formulação.

Analisando-se os efeitos significativos ($p < 0,05$) na CRA dos *fishburgers*, nota-se que melhores porcentagens de CRA tendem a ser obtidos aumentando-se o teor de fécula e MTGase na formulação (Figura 14). Deste modo, os ensaios foram repetidos elaborando-se 2(duas) formulações de *fishburgers* (Tabela 13), tendo como base a tendência apontada pelo modelo matemático. O modelo que apresenta a influência da variável concentração de fécula e MTGase sob CRA é apresentado pela equação 2.

$$\% \text{ CRA} = 93,59 + 0,67 * \text{fécula} + 0,003 * \text{fécula}^2 + 0,65 * \text{MTGase} + 0,47 * \text{MTGase}^2 - 0,26 * \text{fécula} * \text{MTGase} \quad (\text{Equação 2})$$

Fixando-se a quantidade de fécula em 10% e derivando a equação 2 apenas em função da MTGase foi possível determinar o percentual de MTGase ideal (2,07%) para obtenção de um resultado satisfatório de CRA (98,56%) com esta concentração de enzima. Os valores de CRA obtidos experimentalmente com 2,3% e 2,5% de MTGase, 0(zero) de água e 10% de fécula foram comparados com o previsto pelo modelo (Tabela 18).

Tabela 18. Capacidade de retenção de água obtida experimentalmente e previstas pelo modelo

Concentração de MTGase (%)	CRA experimental (%)	CRA prevista pelo modelo (%)	Desvio	Desvio Relativo (%)
2,3 (F1)	97,78 ^a	98,59	0,99	-0,80
2,5 (F2)	97,86 ^a	98,65	0,99	-0,80

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey

Na Tabela 18 pode-se evidenciar que os desvios foram baixos, apresentando semelhança entre os valores obtidos experimentalmente e os previstos pelo modelo. Observa-se que os valores de CRAs previsto pelo modelo e obtido experimentalmente não apresentaram grandes variações, estando próximo ao valor ideal de CRA na concentração de enzima sugerida (2,03%). Portanto, assim como no teor de umidade o uso de tal ferramenta é válido para prever a CRA para diferentes concentrações de MTGase em *fishburgers*.

Não houve diferença estatística ($p > 0,05$) na CRA dos *fishburgers* entre as duas novas formulações (F1 e F2) (Tabela 18). Os valores de CRA obtidos com concentração superior a 2% de MTGase foi inferior aos valores dos ensaios 3 e 4, cuja concentração de fécula e MTGase foram inferiores (8% e 0,4% respectivamente). Do mesmo modo, ensaios com 0% e 1% de MTGase obtiveram valores semelhantes as formulação F1 e F2. Neste sentido, é importante avaliar a quantidade de enzima MTGase adicionada. Após atingir maiores concentrações na proteína miofibrilar, a concentração enzimática torna-se inversamente

correlacionada com a CRA. Portanto, quanto maior a quantidade de enzima, maior será o número de ligações cruzadas (“crosslink”) entre cadeias de peptídeos e menor a interação água/proteína (GÓES-FAVONI; GASPAR, 2015).

5.4.3 Porcentual de Rendimento na Cocção

O percentual de rendimento na cocção é um dos parâmetros de avaliação que refletem a perda de água após o processo de cozimento. Portanto, um produto com boa retenção de água resulta num bom percentual de rendimento na cocção. Os resultados para rendimento na cocção são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19. Resultado do rendimento na cocção dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase.

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Rendimento (%)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	72,57 ^{gh}
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	73,03 ^{fgh}
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	88,66 ^{ab}
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	81,49 ^{cdefg}
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	80,39 ^{abcdefg}
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	77,03 ^{defg}
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	89,73 ^a
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	87,08 ^{abc}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	83,59 ^{abcd}
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	75,09 ^{efgh}
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	67,63 ^h
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	83,35 ^{abcde}
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	78,86 ^{cdefg}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	82,21 ^{abcdef}
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	76,15 ^{defgh}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	78,63 ^{cdefg}
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	79,82 ^{bcdefg}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	79,75 ^{bcdefg}

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de tkey

O maior rendimento na cocção foi obtido no ensaio 7 (89,73%) utilizando-se 9% de água, 8% de fécula e 1,6% de MTGase, o qual não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) dos ensaios 3, 5, 7, 8, 9, 12 e 14. Observa-se pela Tabela 20 que no ensaio 11, onde não foi utilizada a fécula de mandioca, o rendimento na cocção foi o mais baixo deste estudo (67,63%). No entanto, quando não utilizada a MTGase na formulação o rendimento na cocção foi de 78,86% (ensaio 13), diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) do ensaio 11. Portanto, nota-se que os maiores rendimentos foram obtidos com concentrações superiores a 5% de fécula, com exceção do ensaio 5 (porém, este ensaio utilizou 1,6% de MTGase), e a 1% de MTGase, com exceção do ensaio 3 (porém, este utilizou 8% de fécula).

A Tabela 20 mostram os resultados do delineamento da influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no rendimento na cocção dos *fishburgers* e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. A porcentagem de

rendimento dos *fishburgers* na cocção teve influencia significativa ($p < 0,05$) das três variáveis independentes (água, fécula e MTGase). A concentração de água teve um efeito quadrático negativo, tendendo para a redução do rendimento dos *fishburgers* na cocção em função do aumento da quantidade de água na formulação. A concentração de fécula de mandioca obteve um efeito linear positivo, ou seja, o rendimento dos *fishburgers* tende a aumentar com o aumento na concentração de fécula na formulação. A MTGase teve um efeito linear positivo, e assim como na concentração de fécula, melhores resultados de rendimento tendem a ser obtidos aumentando a concentração de MTGase. A quantidade de MTGase também obteve um efeito quadrático significativo.

Tabela 20. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no rendimento na cocção (%) dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	78,19054	0,856438	91,29739	0,000003
Água (L)	0,92770	0,932787	0,99455	0,393261
Água (Q)*	-3,76112	0,977729	-3,84679	0,031007
Fécula (L)*	10,34885	0,932787	11,09456	0,001569
Fécula (Q)	0,63448	0,977729	0,64893	0,562630
MTGase (L)*	3,55082	0,932787	3,80668	0,031860
MTGase (Q)*	4,26568	0,977729	4,36285	0,022262
Água (L) x Fécula (L)	-1,72917	1,214216	-1,42410	0,249613
Água (L) x MTGase (L)	0,17417	1,214216	0,14344	0,895036
Fécula (L) x MTGase (L)	-1,29083	1,214216	-1,06310	0,365725

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,69$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,69, mostrando que o modelo gerado explicou 69% da variância do experimento. A Tabela 21 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para rendimento na cocção. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (4,45) foi superior F_{tabelado} (3,11). Deste modo, foi possível validar o modelo proposto ($p < 0,05$) permitindo a construção da superfície resposta e das curvas de contorno da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase.

Tabela 21. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no percentual de rendimento na cocção

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	505,4329	5	101,0866	4,450215
Resíduo	272,5799	12	22,71499	
Total	778,0128	17		

$F_{\text{Tabelado}}(5,12) = 3,11$

De acordo com a Figura 15 o percentual de rendimento dos *fishburgers* tende a ser superior a 90% nos casos em que utiliza-se quantidades acima de 8% de fécula de mandioca, aumentando o rendimento a medida que eleva-se a concentração de fécula. A adição de água

reduz o rendimento na cocção. Porém, observa-se que até certo ponto a adição de água aumenta o rendimento, e logo após este ponto começa declinar. Isto pode ser explicado pelo fato de que quanto maior a quantidade de água adicionada, maior será a quantidade de água disponível no produto, ou seja, susceptível a perda durante a cocção.

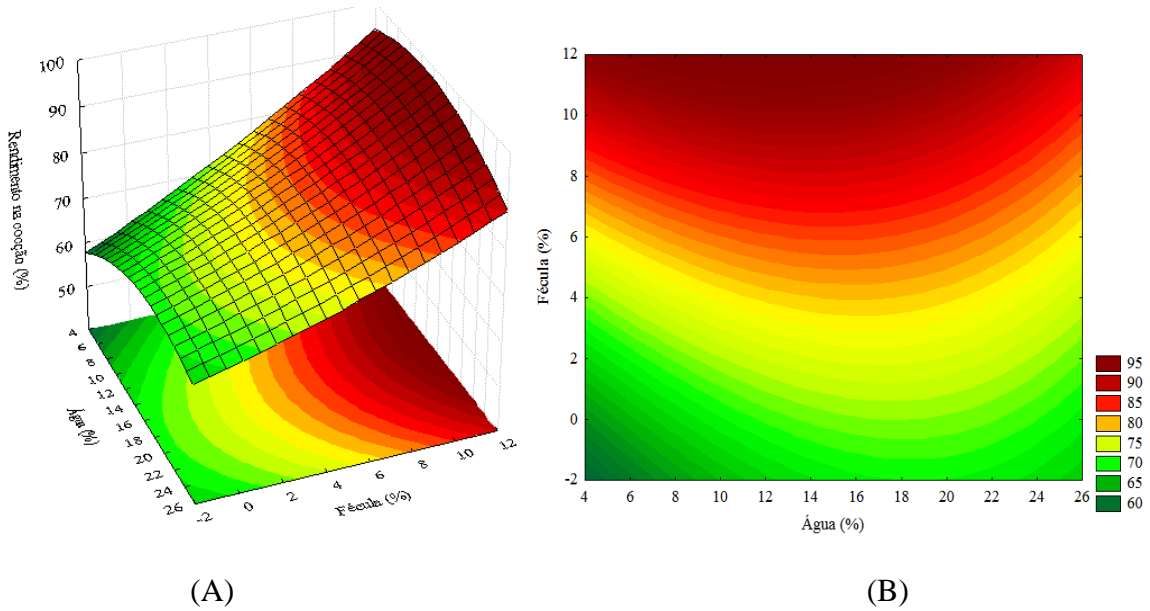


Figura 15. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de rendimento na cocção em função da concentração (%) de água e fécula.

Segundo a Figura 16, as maiores concentrações de MTGase associada a adição de aproximadamente 16% de água apresentam os melhores resultados para rendimento na cocção. O efeito quadrático da água no percentual de rendimento mostra que mesmo utilizando qualquer quantidade de MTGase é necessário a adição de água até certo ponto para aumentar o rendimento. Porém, a adição de água a partir do ponto “ótimo” provocará redução no percentual de rendimento dos *fishburgers*.

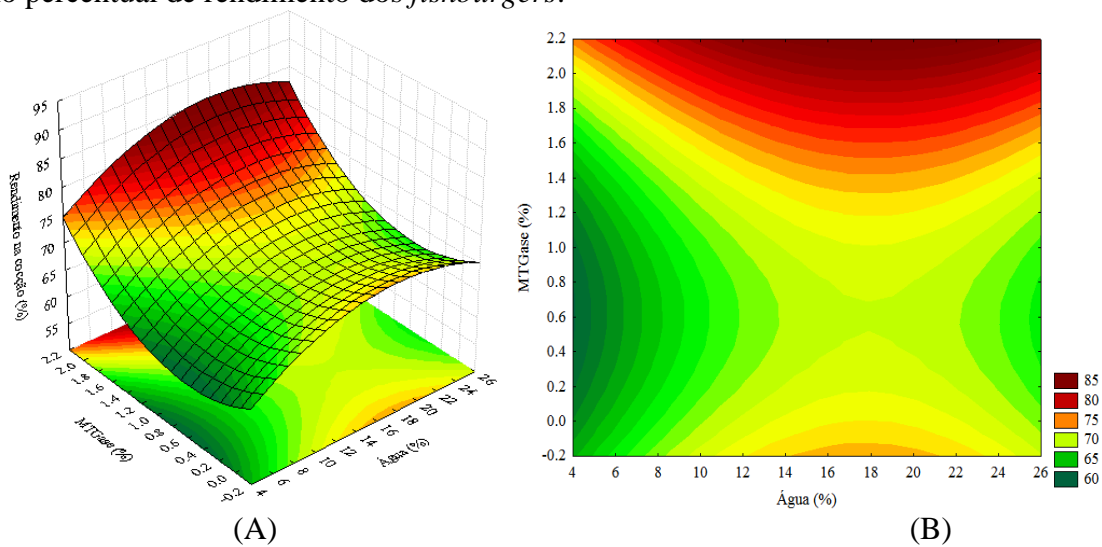


Figura 16. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de rendimento na cocção em função da concentração (%) de água e MTGase.

A Figura 17 mostra que o rendimento na cocção dos *fishburgers* será superior nas maiores concentrações de fécula e MTGase. Contudo, o percentual de fécula mostra uma maior influência em relação a MTGase, pois o gráfico ilustra que mesmo utilizando a maior concentração de MTGase (2%) é necessário o uso da fécula para atingir os melhores percentuais de rendimento na cocção.

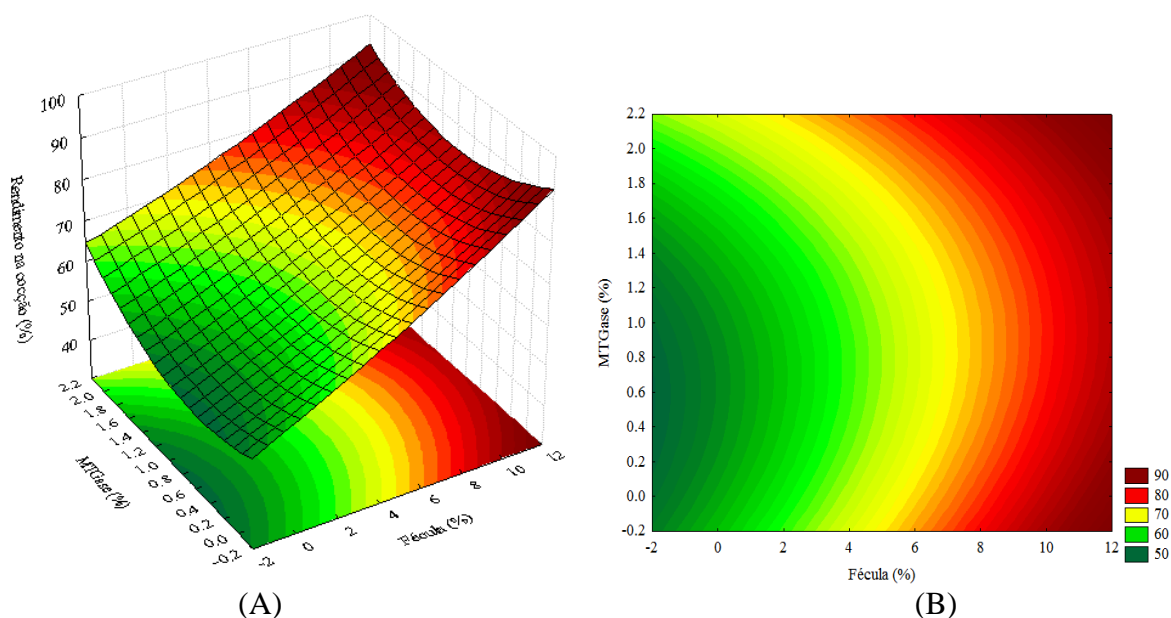


Figura 17. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de rendimento na cocção em função da concentração (%) de fécula e MTGase.

A perda de peso durante a cocção (rendimento na cocção) ocorre pela exsudação de água do produto durante o cozimento. Alimentos com teor de umidade e A_w elevados, associados a falta ou menores quantidades de ingredientes capazes de reter água na estrutura, possuem menor rendimento na cocção (SÁ VIEIRA et al., 2015). O aumento na quantidade de água na formulação tende a aumentar o teor de umidade do produto, como visto no item 5.7.1 em relação à influência na umidade no produto. Deste modo, maior será a porcentagem de água para exsudação durante o cozimento, o que diminui o rendimento.

Ferreira et al. (2012) avaliaram as características físico químicas de hambúrgueres de carne bovina adicionada de 1.5% de transglutaminase frente a adição de sal mais polifosfato. As amostras tratadas com transglutaminase apresentaram a menor perda de umidade (6.7%) após a fritura entre os tratamentos estudados.

Resultados relatados por Sá Vieira et al. (2015) está de acordo com o presente estudo. O autor encontrou menor perda de peso na cocção em *fishburgers* de tilápia com o aumento da concentração de amido. Pires (2015) encontrou resultado semelhante em relação à adição de fécula de mandioca no percentual de rendimento na cocção de fishburgers de Ubarana. O autor observou aumento no rendimento, porém não progressivo, ou seja, o aumento do rendimento em função do aumento na concentração de fécula foi até certa concentração e após este valor “ótimo” o rendimento começou a diminuir. O amido durante o aquecimento sofre gelatinização formando uma rede com característica de reter água, diminuindo a exsudação de água do produto durante a cocção.

O rendimento na cocção encontrado por Braga et al. (2008) foi 83,65% para *fishburger* de Tilápia adicionado de 2,5% de fécula de mandioca. O maior rendimento

encontrado por Braga et al (2008), quando comparado a maioria dos ensaios deste estudo, pode estar relacionado a menor temperatura de cozimento utilizada (70 °C), ocorrendo menores perdas de água e obtendo maiores rendimentos. Seabra et al. (2002) relatou aumento no rendimento na cocção em hambúrguer de carne ovina com adição de 2% de fécula de mandioca.

Analisando-se os efeitos significativos ($p < 0,05$) no percentual de rendimento na cocção dos *fishburgers* (Tabela 20), nota-se que melhores resultados de rendimento tendem a ser obtidos reduzindo a quantidade de água e aumentando-se o teor de fécula e MTGase na formulação. Deste modo, os ensaios foram repetidos elaborando-se 2(duas) formulações de *fishburgers* (Tabela 13), tendo como base a tendência apontada pelo modelo matemático. O modelo que apresenta a influência da variável concentração de água, fécula e MTGase sob a variável resposta percentual de rendimento na cocção é apresentado pela Equação 3.

$$\% \text{ Rendimento na cocção} = 55,47 + 1,86 * \text{água} - 0,05 * \text{água}^2 - 7,46 * \text{MTGase} + 5,92 * \text{MTGase}^2 + 0,02 * \text{água} * \text{MTGase} + 2,45 * \text{fécula} + 0,04 * \text{fécula}^2 + 0,05 * \text{água} * \text{fécula} - 0,36 * \text{fécula} * \text{MTGase} \quad (\text{Equação 3})$$

Fixando-se a quantidade de fécula em 10% e derivando a equação 3 apenas em função da MTGase foi possível determinar o percentual de MTGase ideal (0,66%) para obtenção de um resultado satisfatório de rendimento na cocção (84,52%) com esta concentração de enzima. Mesmo o modelo sugerindo uma concentração com 0,66% de enzima, este percentual para as demais variáveis respostas (umidade, CRA, encolhimento e parâmetros de textura) não seria viável uma vez que a tendência é o aumento na quantidade para obtenção dos melhores resultados para as respectivas variáveis respostas. Os valores de rendimento na cocção obtidos experimentalmente com 2,3% e 2,5% de MTGase, 0(zero) de água e 10% de fécula foram comparados com o previsto pelo modelo (Tabela 22).

Tabela 22. Percentual de rendimento na cocção obtida experimentalmente e previstas pelo modelo

Concentração de MTGase (%)	Rendimento experimental (%)	Rendimento previsto pelo modelo (%)	Desvio	Desvio Relativo (%)
2,3 (F1)	95,15 ^a	89,85	1,06	5,57
2,5 (F2)	92,11 ^a	93,32	0,99	-1,31

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey

Os baixos desvios obtidos demonstram a semelhança dos dados obtidos experimentalmente e o previsto pelo modelo, e com isso pode-se dizer que a ferramenta está indicada para prever o percentual de rendimento na cocção para diferentes concentrações de MTGase em *fishburgers*. De acordo com o modelo houve tendência ao aumento no rendimento com 2,5% de MTGase. No entanto, experimentalmente verificou-se uma redução no percentual sem diferença estatística ($p > 0,05$) Nos trabalhos utilizando MTGase na formulação de produtos cárneos tem sido observado um aumento na atividade de água dos produtos. Porém, a perda durante a cocção tem sido maior, devido a elevada quantidade de água livre (passível de exsudação durante o cozimento) dos produtos adicionados de MTGase (TSENG et al., 2000; FERREIRA et al., 2012).

5.4.4 Porcentual de Encolhimento

Assim como a CRA e rendimento na cocção, o percentual de encolhimento é de grande importância em produtos cárneos reestruturados, no entanto é considerado um fator tecnológico, pois reflete falhas durante o processo de fabricação. Os resultados para percentual de encolhimento são mostrados na Tabela 23.

O maior percentual de encolhimento nos *fishburgers* foi observado para o ensaio 11 (11,99%), cujo valor não diferiu significativamente ($p>0,05$) dos ensaios 1, 2, 6, 10, 16, 17, 18. O ensaio 3 obteve o melhor resultado para percentual de encolhimento (1,15%) utilizando 9% de água, 8% de fécula e 0,4% MTGase, não diferindo estatisticamente ($p>0,05$) dos ensaios 4, 5, 7, 9, 12, 14 e 15. Nota-se uma diferença estatística entre os ensaios 11, onde não foi usada fécula de mandioca, e o ensaio 13 cuja formulação não utilizou MTGase e teve resultado melhores quanto ao percentual de encolhimento do que o ensaio 11. Analisando-se os resultados dos experimentos com maior percentual de encolhimento é possível observar que esses utilizaram quantidades inferiores a 5% de fécula e a 1% de MTGase, com exceção do ensaio 6, cuja concentração de MTGase foi de 1,6%. No entanto, a quantidade de água nesse ensaio foi de 21%.

Tabela 23. Resultado do encolhimento dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase.

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Encolhimento (%)
1	9% ag; 2% fc; 0.4% MTGase	7,00 ^{cd}
2	21% ag; 2% fc; 0.4% MTGase	9,33 ^{de}
3	9% ag; 8% fc; 0.4% MTGase	1,15 ^a
4	21% ag; 8% fc; 0.4% MTGase	5,00 ^{abc}
5	9% ag; 2% fc; 1.6% MTGase	5,06 ^{abc}
6	21% ag; 2% fc; 1.6% MTGase	7,60 ^{bcd}
7	9% ag; 8% fc; 1.6% MTGase	4,41 ^{abc}
8	21% ag; 8% fc; 1.6% MTGase	6,80 ^{bc}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	3,52 ^{ab}
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	7,23 ^{bcd}
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	11,99 ^d
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	3,01 ^{ab}
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	6,81 ^{bc}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	4,99 ^{abc}
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	5,17 ^{abc}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	7,69 ^{bcd}
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	7,76 ^{bcd}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	7,45 ^{bcd}

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$)

A Tabela 24 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no percentual de encolhimento dos *fishburgers*, e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. As variáveis água e fécula influenciaram significativamente ($p<0,05$) no percentual de encolhimento dos *fishburgers*. A água teve um efeito linear positivo, ou seja, menores percentuais de encolhimento tendem a serem obtidos com menores quantidades de água.

Sendo assim, a medida que aumentam-se as quantidades de água maiores serão os percentuais de encolhimento. Já a fécula de mandioca teve um efeito linear negativo, o que significa dizer que o encolhimento será menor o quão maior for a quantidade de fécula adicionada na formulação

Tabela 24. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no percentual de encolhimento dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro		
		Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	7,04343	0,619314	11,37295	0,001458
Água (L)*	2,55377	0,674524	3,78603	0,032310
Água (Q)	-1,36268	0,707023	-1,92735	0,149555
Fécula (L)*	-3,92475	0,674524	-5,81855	0,010108
Fécula (Q)	0,16492	0,707023	0,23326	0,830570
MTGase (L)	-0,24115	0,674524	-0,35751	0,744383
MTGase (Q)	-0,98708	0,707023	-1,39611	0,257057
Água (L) x Fécula (L)	0,34500	0,878033	0,39292	0,720632
Água (L) x MTGase (L)	-0,31333	0,878033	-0,35686	0,744823
Fécula (L) x MTGase (L)	2,18333	0,878033	2,48662	0,088749

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,88$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,88, mostrando que o modelo gerado explicou 88% da variância do experimento. A Tabela 25 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para percentual de encolhimento. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (11,18) foi superior ao F_{Tabelado} (3,34). Deste modo, foi possível validar o modelo proposto ($p<0,05$) permitindo a construção da superfície resposta e das curvas de contorno da concentração de água e fécula de mandioca.

Tabela 25. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no percentual de encolhimento dos *fishburgers*.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	74,3029	3	24,76762	11,18407
Resíduo	31,0036	14	2,214545	
Total	105,3065	17		

$F_{\text{Tabelado}}(3,14)= 3,34$

A Figura 18 ilustra o gráfico de superfície resposta e curvas de contorno para a influência da fécula e da água sobre o percentual de encolhimento dos *fishburgers*.

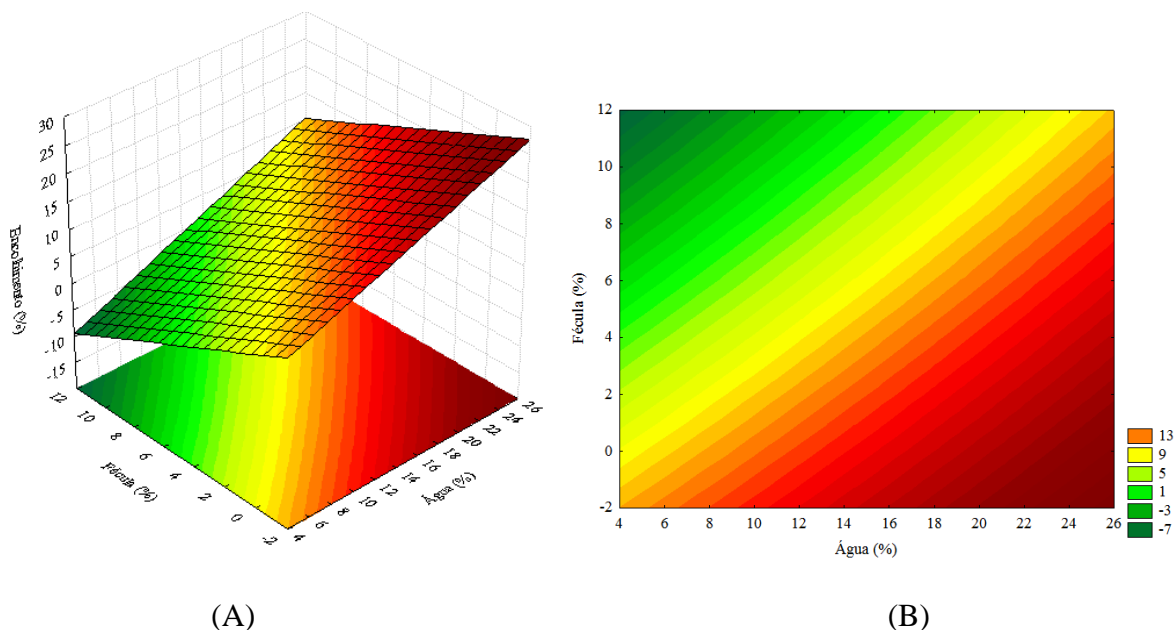


Figura 18. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) do percentual de encolhimento em função da concentração (%) de água e fécula.

A porcentagem de encolhimento na cocção dos *fishburgers* tende a diminuir, dentro da faixa estudada, com aumento da quantidade de fécula e reduzindo a de água (Figura 18). Assim como no rendimento na cocção, o percentual de encolhimento está relacionado a perda de água durante o processo de cocção. Desta maneira, maiores teores de umidade associado a falta de ingredientes capazes de imobilizar eficientemente a água na estruturado produto resultam em maiores percentuais de encolhimento. O modelo que apresenta a influência da variável concentração de água e fécula sob a variável resposta percentual de encolhimento é apresentado pela Equação 4.

$$\% \text{ encolhimento} = 5,02 + 0,78 * \text{água} - 1,50 * \text{fécula} + 0,00958 * \text{fécula} * \text{água} \quad (\text{Equação 4})$$

Comparando-se os estudos de Seabra et al. (2002) e Braga et al. (2008), respectivamente, ambos avaliaram o encolhimento em hambúrguer ovino e *fishburgers* de tilápia. Nos dois estudos foram utilizados 2% de fonte de amido na formulação, porém com quantidades diferentes de água. Utilizaram-se, 6% e 8%, respectivamente, para o *fishburgers* de tilápia e hambúrguer ovino. Observa-se que, mesmo em ambos os estudos utilizando fontes de amido, o percentual de encolhimento foi maior no hambúrguer ovino, onde foi utilizado maior quantidade de água (8%).

Sá Vieira et al. (2015) ao utilizar amido na formulação dos fishburgers observou diminuição no percentual de encolhimento com o aumento na concentração de amido. Seabra et al. (2002) reduziu o percentual de encolhimento na cocção de 20% para 15% quando adicionado de 2% de fécula de mandioca em hambúrguer de carne ovina. Pires (2015) observou que o aumento na concentração de fécula em *fishburger* de Ubarana reduziu o encolhimento na cocção, corroborando com os resultados deste estudo.

A perda de água foi reduzida em reestruturado de peixe adicionado de MTGase a medida que aumentou-se a concentração de MTGase (SÜHNEL, 2007). Na maior concentração (0,8%) de MTGase utilizada o autor observou uma redução de 52% na perda de água em relação ao controle.

Portanto, os efeitos significativos ($p < 0,05$) das variáveis água e fécula de mandioca no percentual de encolhimento corroboram com a literatura, no sentido de que a adição de fécula e a redução da quantidade de água na formulação reduzem o percentual de encolhimento.

A influência significativa ($p < 0,05$) da fécula de mandioca e da concentração de água no encolhimento dos *fishburgers* sugere aumento da quantidade de fécula, bem como redução da água na formulação para promover melhores resultados no percentual de encolhimento do produto (Tabela 24). Neste sentido, obteve-se duas novas formulações (Tabela 13). A Tabela 26 mostra os resultados do percentual de encolhimento dos *fishburgers* elaborados com base na tendência apontada pelo modelo estatístico.

Tabela 26. Resultado no percentual de encolhimento dos *fishnurgers* de acordo com a variação na quantidade de MTGase

Formulação	Encolhimento (%)
F1 (2,3% MTGase)	2,24 ^a
F2 (2,5% MTGase)	2,82 ^a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Não houve diferença significativa no encolhimento dos *fishburgers* entre as duas novas formulações (F1 e F2). Apesar de não apresentar diferença estatística ($p > 0,05$) entre os tratamentos F1 e F2, os valores de encolhimento destes *fishbrurgers* foi inferior a maioria dos ensaios.

5.4.5 Análise do Perfil Textura (TPA)

5.4.5.1 Dureza

Os resultados para dureza dos *fishburgers* são mostrados na Tabela 27. Quanto ao parâmetro dureza, pode-se observar que o ensaio 10 apresentou o maior valor de dureza (4058,07g), enquanto o ensaio 5 apresentou o menor valor de dureza (994,35g). No ensaio 10 foram utilizados 25% de água, 5% fécula e 1% MTGase, e este não diferiu estatisticamente do ensaio 1 (3743,48g), o qual utilizou 9% de água, 2% de fécula e 0,4% de MTGase. Porém, tanto o ensaio 1 quanto o ensaio 10 diferiram significativamente ($p < 0,05$) do ensaio 5 e 14 (994,35g e 1134,10g respectivamente), os quais usaram respectivamente, 2% de fécula e 1,6% de MTGase. No entanto, o ensaio 5 utilizou 9% de água enquanto o ensaio 14 utilizou 15% de água. Analisando-se o ensaio 5, com menor dureza, observa-se diferença estatística para os ensaios 1, 3 e 10 (3743,48g, 3631,13g e 4058,07g respectivamente), estes não diferindo estatisticamente entre si. Nos ensaios 1 e 3 foram utilizados a mesma quantidade de MTGase (0,4%) e água (9%) com 2% e 8% de fécula, respectivamente. Deste modo, segundo os resultados obtidos, nota-se que os maiores valores de dureza foram obtidos com as menores concentrações de MTGase (0,4 e 1%). Portanto infere-se uma tendência no aumento da dureza em função da diminuição da MTGase, isso porquê a medida que aumenta a concentração de MTGase maior o número de ligações cruzadas formadas na estrutura proteica o que melhora as propriedades de gelatinização, emulsificante, refletindo nas propriedades texturais de dureza. No entanto, sugere-se que esse valor será maior ou menor de acordo com as concentrações de água e fécula adicionadas, sendo que, preliminarmente, não foi observado alguma correlação crescente ou decrescente em relação a concentração de fécula, ou seja, a medida que se aumenta ou diminui a concentração de fécula o parâmetro dureza aumentaria ou diminuiria, respectivamente.

Tabela 27. Resultado da dureza dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase.

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Dureza(g)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	3743,48 ^{cd}
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	3270,07 ^{abcd}
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	3631,13 ^{bcd}
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	2763,19 ^{abcd}
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	994,35 ^a
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1345,24 ^{abc}
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	1907,52 ^{abcd}
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	2131,07 ^{abcd}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	3262,25 ^{abcd}
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	4058,07 ^d
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	2772,16 ^{abcd}
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	3491,78 ^{abcd}
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	2564,55 ^{abcd}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	1134,10 ^{ab}
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	2895,79 ^{abcd}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	2830,52 ^{abcd}
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1997,07 ^{abcd}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	2259,75 ^{abcd}

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Tabela 28 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na dureza dos *fishburgers*, e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. A MTGase influenciou significativamente ($p < 0,05$) na dureza dos *fishburgers*, tendo um efeito linear negativo. Deste modo, menores concentrações de MTGase resultam num aumento na dureza dos *fishburgers*. Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,84, mostrando que o modelo gerado explicou 84% da variância do experimento.

Tabela 28. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no parâmetro dureza dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	2523,34	218,6335	11,54144	0,001397
Água (L)	77,38	238,1240	0,32494	0,766564
Água (Q)	639,90	249,5971	2,56373	0,082944
Fécula (L)	341,43	238,1240	1,43385	0,247077
Fécula (Q)	259,60	249,5971	1,04009	0,374757
MTGase (L)*	-1383,75	238,1240	-5,81104	0,010145
MTGase (Q)	-663,90	249,5971	-2,65989	0,076346
Água (L) x Fécula (L)	-121,71	309,9680	-0,39266	0,720808
Água (L) x MTGase (L)	487,70	309,9680	1,57340	0,213686
Fécula (L) x MTGase (L)	570,81	309,9680	1,84151	0,162793

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,84$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

A Tabela 29 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para dureza. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (6,65) foi superior ao F_{Tabelado} (3,68). Deste modo, foi possível validar o modelo proposto ($p<0,05$).

Tabela 29. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na dureza dos *fishburgers*.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	6488906,03	2	3244453	6,647907
Resíduo	7320618,97	15	488041,3	
Total	13809525			

$F_{\text{Tabelado}}(2,15) = 3,68$

Sühnel (2007) utilizou MTGase nas concentrações de 0 a 0,8% em formulações para reestruturados de tilápia. O autor conclui que o aumento na concentração da enzima proporcionou aumento na dureza. Os resultados de Sühnel contrariam os resultados deste estudo, onde o modelo matemático sugere aumento na MTGase para reduzir a dureza. Resultados semelhantes foram encontrados por Martelo Vidal et al. (2016) que relataram que o aumento de 150 U/kg de MTGase para 450 U/kg, incrementou em quase 50% a dureza de um reestruturado de atum branco com baixo teor de sal.

Nas concentrações mais elevadas de MTGase, deste estudo, foram obtidos menores valores de dureza. Tal fato, justifica a tendência do modelo aos menores valores de dureza serem obtidos em maiores concentrações de MTGase. A ação da MTGase afeta as propriedades funcionais de solubilidade e gelatinização das proteínas, que refletem num aumento da CRA e conseqüentemente, melhor consistência dos produtos. Observa-se, neste estudo, que os maiores valores de CRA, além dos melhores percentuais de rendimento na cocção e de encolhimento foram obtidos nas maiores concentrações de MTGase estudadas. Portanto, estes resultados sugerem uma menor perda de água durante a cocção, o que pode ter

contribuído para a tendência à redução da dureza, uma vez que a resistência a compressão é menor devido a quantidade de água retida na estrutura.

A Tabela 30 mostra os resultados de dureza dos *fishburgers* elaborados com base na tendência apontada pelo modelo estatístico (aumento na concentração de MTGase). O modelo que apresenta a influência da variável concentração de MTGase sob a variável resposta dureza é apresentado pela Equação 5.

$$\text{Dureza} = 6288,65 - 1117,79 * \text{MTGase} \quad (\text{Equação 5})$$

Ao substituir a expressão “*MTGase” pelos valores 2,3 e 2,5 foram obtidos os valores de dureza previsto pelo modelo, o qual foram comparados com os valores obtidos de forma experimental (Tabela 30).

Tabela 30. Dureza obtida experimentalmente e previstas pelo modelo

Concentração de MTGase (%)	Dureza experimental (%)	Dureza prevista pelo modelo (%)	Desvio	Desvio Relativo (%)
2,3 (F1)	1745,66 ^a	3717,73	0,47	-112,97
2,5 (F2)	2770,79 ^a	3494,18	0,79	-26,11

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si (p<0,05) pelo teste de Tukey

Para o parâmetro dureza, o uso desta ferramenta não apresentou resultado satisfatório, pois observou-se altos valores de desvio relativo, não mostrando semelhança entre os valores obtidos experimentalmente e os previstos pelo modelo.

Observa-se que não houve diferença significativa (p>0,05) entre as formulações F1 e F2. Nota-se que houve aumento da dureza com o aumento da quantidade de MTGase, concordando com os achados de Sühnel (2007) e Martelo Vidal et al. (2016). Leite (2016) ao avaliar a adição de 0,5%, 1,0% e 1,5% de MTGase em linguiça de mexilhão observou aumento nos valores de textura (força de cisalhamento), obtendo 8,67N; 13,25N e 13,51N, respectivamente. Este aumento na dureza dos *fishburgers* pode estar relacionado a redução no teor de umidade do produto, o qual foi observado quando aumentou a concentração de MTGase. Deste modo, a menor quantidade de água do produto aumentou a resistência, ou seja, aumentou a força necessária para promover a deformação da matriz.

5.4.5.2 Coesividade

Com relação ao parâmetro coesividade, o maior valor foi obtido no ensaio 3 (Tabela 32) (2,33g/seg), que utilizou 9% de água, 8% de fécula e 0,4% de MTGase, e diferiu (p<0,05) estatisticamente dos ensaios 1, 2, 9, 10, 11, 12, 16 e 18. Estes apresentaram resultados entre 1,07g/seg e 1,21g/seg não diferindo estatisticamente entre si. Ainda de acordo com a Tabela 32, a menor coesividade foi observada no ensaio 9 (1,07g/seg) que utilizou 5% água, 5% fécula e 1% MTGase, diferindo estatisticamente apenas em relação ao ensaio 3. Portanto, sugere-se que a quantidade de água, fécula de mandioca e MTGase, nas concentrações estudadas, não influenciaram significativamente na coesividade.

Tabela 31. Resultado da coesividade dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase.

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Coesividade (g/seg.)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	1,21 ^b
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	1,18 ^b
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	2,33 ^a
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	1,34 ^{ab}
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1,23 ^{ab}
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1,4 ^{ab}
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	1,39 ^{ab}
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	1,22 ^{ab}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,07 ^b
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,13 ^b
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	1,1 ^b
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	1,12 ^b
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	1,3 ^{ab}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	1,27 ^{ab}
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,28 ^{ab}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,19 ^b
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,31 ^{ab}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,18 ^b

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Tabela 32 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na coesividade dos *fishburgers*, e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. Observando-se a Tabela nota-se que nenhuma das variáveis estudadas (água, fécula e MTGase) influenciaram na coesividade dos *fishburgers*. Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,54, mostrando que o modelo gerado explicou 54% da variância do experimento.

Coelho et al. (2007) não encontraram diferença estatística na coesividade de *fishburgers* de surimi de pescada, elaborados com diferentes fontes de amido. Do mesmo modo, Damian et al. (2005) não relataram diferença significativa na coesividade de salsichas com diferentes níveis de quitosana. Porém, Sühnel (2007) obteve diferença significativa em reestruturado de tilápia com concentrações de MTGase, descrevendo maior coesividade conforme o aumento da enzima.

Tabela 32. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no parâmetro coesividade dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	1,232545	0,029771	41,40053	0,000031
Água (L)	-0,010476	0,032425	-0,32308	0,767843
Água (Q)	-0,033041	0,033988	-0,97216	0,402677
Fécula (L)	0,068113	0,032425	2,10062	0,126491
Fécula (Q)	-0,027760	0,033988	-0,81677	0,473888
MTGase (L)	-0,010203	0,032425	-0,31465	0,773644
MTGase (Q)	0,097669	0,033988	2,87368	0,063858
Água (L) x Fécula (L)	-0,119039	0,042208	-2,82028	0,066723
Água (L) x MTGase (L)	0,043916	0,042208	1,04046	0,374608
Fécula (L) x MTGase (L)	-0,113711	0,042208	-2,69406	0,074158

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,54$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

As duas novas formulações de *fishburgers* elaboradas de acordo com a tendência apontada pelo modelo matemático, também não apresentaram diferença estatística ($p>0,05$) para coesividade como pode ser observado na Tabela 33.

Tabela 33. Resultado na coesividade dos *fishnurgers* de acordo com a variação na quantidade de MTGase.

Formulação	Coesividade (%)
F1 (2,3% MTGase)	1,11 ^a
F2 (2,5% MTGase)	1,00 ^a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$) pelo teste de Tukey

5.4.5.3 Elasticidade

A elasticidade da amostra, que é habilidade em recuperar a forma original após força de compressão ter ser removida, apresentou valores entre 1,07mm e 1,21mm Os resultados para elasticidade dos *fishburgers* são mostrados na Tabela 34.

Tabela 34. Resultado da elasticidade dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase.

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Elasticidade (mm)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	1,12 ^{ab}
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	1,11 ^{ab}
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	1,21 ^a
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	1,13 ^{ab}
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1,09 ^b
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1,13 ^{ab}
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	1,12 ^{ab}
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	1,11 ^{ab}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,09 ^b
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,1 ^b
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	1,07 ^b
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	1,1 ^b
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	1,14 ^{ab}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	1,11 ^{ab}
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,12 ^{ab}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,11 ^{ab}
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,11 ^{ab}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	1,1 ^b

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Assim como no parâmetro coesividade, o ensaio 3 apresentou a maior elasticidade (1,21mm), diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos ensaios 5, 9, 10, 11, 12 e 18. Estes não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$), sendo que o ensaio 11 obteve a menor elasticidade (1,07mm) utilizando 15% de água, 0% de fécula e 1% de MTGase. Quando comparado aos ensaios 12 e 18, cuja concentração de água e MTGase foram as mesmas do ensaio 11 (15% e 1% respectivamente), observa-se que esses obtiveram maiores valores de elasticidade, porém não significativo entre si ($p > 0,05$). Entretanto, cabe ressaltar que o ensaio 11 não utilizou a fécula em sua formulação e o ensaio 12 e 18 utilizaram, respectivamente, 10% e 5%, sendo que a elasticidade do ensaio 12 foi maior do que a do ensaio 18. Assim, pode-se sugerir que maiores concentrações de fécula geram maiores valores de elasticidade nas amostras. Já com relação a influência da água e MTGase na elasticidade das amostras, a maior elasticidade foi obtida com 0,4% de MTGase e 9% de água e a menor elasticidade com 15% de água e 1% de MTGase. Na maior concentração de MTGase (2%) foi obtido 1,11mm de elasticidade, que não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) do ensaio 13 (1,14mm), onde não foi utilizada MTGase. Com a maior quantidade de água (25%) foi obtido 1,10mm de elasticidade, cujo valor não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) do ensaio 9, que utilizou a menor concentração de água (5%). Neste contexto, infere-se que tanto a MTGase quanto a água não influenciou significativamente na elasticidade da amostra.

A Tabela 35 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na elasticidade dos *fishburgers*, e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. As variáveis fécula e MTGase tiveram influencia significativa ($p < 0,05$) na elasticidade dos *fishburgers*. A fécula teve efeito linear positivo, ou seja, maiores valores de elasticidade tendem a ser obtidos com

maiores concentrações de fécula. Entretanto, para MTGase o efeito foi linear negativo, sugerindo que as maiores elasticidades tendem a serem obtidas com menores concentrações de MTGase. A interação entre as variáveis mostrou efeito linear significativo ($p < 0,05$). Na interação água e fécula o efeito linear negativo aponta uma tendência de redução da elasticidade, pois a fécula ao formar o gel cárneo retém água na estrutura, o que reduz a umidade do produto e conseqüentemente a elasticidade do produto. Na interação água e MTGase o efeito linear significativo aponta para um aumento na elasticidade da amostra, uma vez que a MTGase promove a geleificação das proteínas miofibrilares, além da formação de polímeros de alto peso molecular com estrutura porosa, capazes de aprisionar água. Como resultado aumenta-se a elasticidade do produto. Do mesmo modo que na interação água e fécula, a associação da fécula com a MTGase apresentou efeito linear negativo, ou seja tendência em reduzir a elasticidade a medida que elas se interagem. Provavelmente, ocorra uma reação entre a fécula e MTGase na estrutura cárnea, que poderia impedir o mecanismo de ação, tanto da MTGase como da fécula. Deste modo, os melhores valores de elasticidade tendem a serem obtidos nas maiores concentrações de água, MTGase e reduzindo a quantidade fécula de mandioca.

Tabela 35. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no parâmetro elasticidade dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	1,108482	0,004992	222,0454	0,000000
Água (L)	-0,003557	0,005437	-0,6543	0,559620
Água (Q)	-0,000828	0,005699	-0,1454	0,893646
Fécula (L)*	0,023197	0,005437	4,2663	0,023629
Fécula (Q)	-0,006828	0,005699	-1,1981	0,316885
MTGase (L)*	-0,029230	0,005437	-5,3759	0,012604
MTGase (Q)	0,024132	0,005699	4,2342	0,024108
Água (L) x Fécula (L)*	-0,033667	0,007078	-4,7568	0,017637
Água (L) x MTGase (L)*	0,026000	0,007078	3,6736	0,034913
Fécula (L) x MTGase (L)*	-0,026833	0,007078	-3,7913	0,032195

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,80$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,80, mostrando que o modelo gerado explicou 80% da variância do experimento. A Tabela 36 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para teor de umidade. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (2,44) foi inferior ao F_{Tabelado} (3,18). Deste modo, não foi possível validar o modelo proposto ($p > 0,05$) não permitindo a construção da superfície resposta e das curvas de contorno da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase.

Tabela 36. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na elasticidade dos *fishburgers*.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	0,0065	4	0,001629	2,440263
Resíduo	0,0087	13	0,000667	
Total	0,015192			

$F_{\text{Tabelado}}(4,13) = 3,18$

Damian et al. (2005) ao avaliar a elasticidade de salsichas com diferentes concentrações de quitosana não observou diferença estatística ($p > 0,05$). Barreto et al. (1999) encontrou resultado diferente, avaliando a influência do amido na textura de surimi de tilápia. Ele observou que a adição de 5% de amido ao surimi reduziu a elasticidade em relação a amostra de surimi sem o amido. Martelo Vidal et al. (2016) elevando a concentração de MTGase de 150 U/kg para 450 U/kg observou aumento da elasticidade de 0,632 para 0,802.

Os efeitos observados neste estudo foram diferentes dos resultados encontrados por Barreto et al. (1999) e Martelo Vidal et al. (2016), pois o aumento na concentração de fécula teve tendência a aumentar a elasticidade, e o aumento na quantidade de MTGase a tendência a reduzir a elasticidade. A justificativa para esta diferença pode ser devido ao tipo de amostra utilizada. No presente estudo foram utilizadas amostras grelhadas enquanto os demais autores supracitados utilizaram amostras cruas. A cocção do produto promove a perda de água, que por sua vez reduz o teor de umidade. Deste modo, a redução do teor de umidade provoca redução da elasticidade. Assim, a redução do teor de umidade ocasionada pelo efeito do aumento de amido (fécula) e MTGase, além do processo de cocção, pode ter reduzido a elasticidade.

A elaboração de duas novas formulações (Tabela 13), com base no modelo matemático, ratificou a tendência de redução da elasticidade em função do aumento da MTGase (Tabela 37). Embora não tenha sido observada diferença estatística ($p > 0,05$) entre as formulações F1 e F2, nota-se que a elasticidade de F1 e F2 reduziu em relação aos demais ensaios (Tabelas 35 e 37).

Tabela 37. Resultado na elasticidade dos *fishburgers* de acordo com a variação na quantidade de MTGase.

Formulação	Elasticidade (%)
F1 (2,3% MTGase)	1,05 ^a
F2 (2,5% MTGase)	1,03 ^a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey

5.4.5.4 Gomosidade

Os resultados para gomosidade dos *fishburgers* são mostrados na Tabela 38.

Tabela 38. Resultado da gomosidade dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase.

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Gomosidade (g)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	4416,7 ^{abc}
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	3870,47 ^{ab}
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	7456,77 ^c
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	3830,02 ^{ab}
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1215,22 ^a
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1865,59 ^{ab}
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	2424,88 ^{ab}
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	2536,31 ^{ab}
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	3350,75 ^{ab}
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	4602,62 ^{bc}
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	3037,76 ^{ab}
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	3903,14 ^{ab}
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	3306,47 ^{ab}
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	1414,68 ^{ab}
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	3678,58 ^{ab}
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	3379,47 ^{ab}
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	2619,74 ^{ab}
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	2682,46 ^{ab}

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A gomosidade, que pode ser entendida como a força necessária para desintegrar uma amostra ao ponto de ser engolida, obteve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os ensaios 3 e 5, cujos valores foram o maior (7456,77) e o menor (1215,22), respectivamente. Nestes ensaios foram utilizados a mesma concentração de água (9%). No entanto para o ensaio 3 utilizou-se 8% fécula e 0,4 MTGase, e no ensaio 5, 2% de fécula e 1,6% de MTGase. Os ensaios 1 e 10 não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) do ensaio 3 utilizando respectivamente, 9% e 25% água com 2% e 5% de fécula, e 0,4% e 1% de MTGase. Assim, observa-se que os menores valores de gomosidade foram obtidos nas maiores concentrações de MTGase (1,6% e 2%), e os menores valores foram obtidos com 0,4% de MTGase. Na comparação dos ensaios 1 e 5, que diferiram estatisticamente, nota-se que em ambos foram utilizados a mesma quantidade de água e fécula (9% e 2%), porém com 1,6% e 0,4% de MTGase, respectivamente. Do mesmo modo, ao analisar os ensaios 3 e 7, com diferença significativa entre si, estes utilizaram 9% e 8% para água e fécula, respectivamente, porém com 0,4% e 1,6% de MTGase respectivamente. Portanto, sugere-se uma influência maior para a variável MTGase na gomosidade do produto.

A Tabela 39 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na gomosidade dos *fishburgers*, e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. Tanto a fécula quanto a MTGase influenciaram significativamente ($p < 0,05$) na gomosidade dos *fishburgers*. A fécula

teve efeito linear positivo, indicando uma tendência de aumento na gomosidade em função do aumento da concentração de fécula de mandioca. Porém, a MTGase obteve efeito linear negativo, sugerindo aumento da gomosidade em função da redução da concentração de MTGase. A interação água e MTGase também mostrou-se significativa ($p < 0,05$), indicando um efeito de aumento na gomosidade. Apesar da ação isolada da água e MTGase apresentarem efeito linear negativo, ou seja, o aumento na quantidade destas substâncias reduz a gomosidade, a hipótese para aumento da gomosidade pela interação entre água e MTGase poderia ser o próprio mecanismo de ação da MTGase. Um dos mecanismos de ação da MTGase para formar ligações cruzadas intra e intermoleculares é a reação entre os resíduos de glutamina e a água. Assim a MTGase ao reagir com a água, promoveria a redução da concentração de água no produto, bem como do teor de umidade, o que aumenta a gomosidade.

Tabela 39. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no parâmetro gomosidade dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	3079,61	260,3487	11,82878	0,001299
Água (L)	-195,76	283,5580	-0,69038	0,539574
Água (Q)	713,64	297,2202	2,40106	0,095783
Fécula (L)*	933,11	283,5580	3,29071	0,046053
Fécula (Q)	349,16	297,2202	1,17474	0,324857
MTGase (L)*	-2165,83	283,5580	-7,63805	0,004660
MTGase (Q)	-449,24	297,2202	-1,51146	0,227851
Água (L) x Fécula (L)	-904,34	369,1098	-2,45005	0,091675
Água (L) x MTGase (L)*	1234,22	369,1098	3,34377	0,044263
Fécula (L) x MTGase (L)	-280,34	369,1098	-0,75950	0,502784

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,80$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,80, mostrando que o modelo gerado explicou 80% da variância do experimento. A Tabela 40 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para a gomosidade. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (5,98) foi superior ao F_{Tabelado} (3,34). Deste modo, foi possível validar o modelo proposto ($p < 0,05$) permitindo a construção da superfície resposta e das curvas de contorno da concentração de fécula de mandioca e MTGase.

Tabela 40. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na gomosidade dos *fishburgers*.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	18847345,12	3	6282448	5,980891
Resíduo	14705880,88	14		
Total	33553226	17		

$F_{\text{Tabelado}}(3,14) = 3,34$

A Figura 19 ilustra o gráfico de superfície resposta e curvas de contorno para a influência da fécula e MTGase sobre a gomosidade dos *fishburgers*.

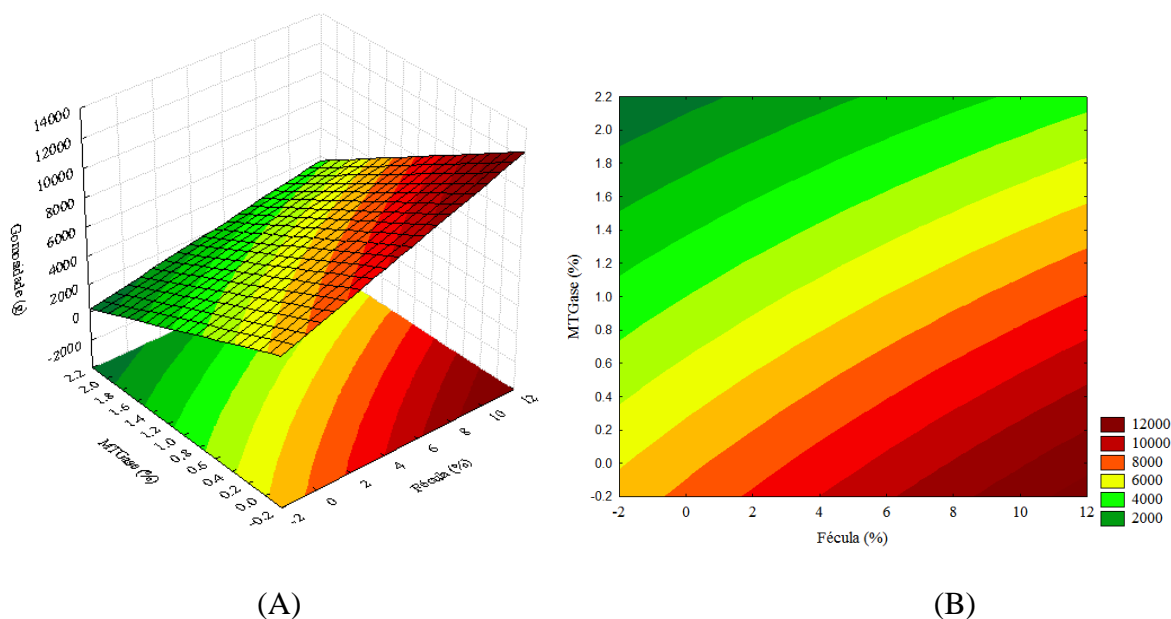


Figura 19. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) da gomosidade em função da concentração (%) de MTGase e fécula.

A gomosidade dos *fishburgers* diminuiu, dentro da faixa estudada, quando aumentou-se a MTGase e reduziu-se o teor de fécula de mandioca na formulação (Figura 19). Assim, quando eleva-se a quantidade de fécula é necessário adição acima de 1% de MTGase para atingir resultados satisfatórios de gomosidade. Barreto et al. (1999) avaliaram a influência da adição de diferentes fontes de amido na textura de surimi de tilápia. Os autores observaram que a adição de 5% de amido aumentou a dureza e coesividade no surimi. Consequentemente, este resultado aumentará a gomosidade no produto, visto que a gomosidade é obtida pela multiplicação da dureza pela coesividade. Este achado concorda com o observado neste estudo.

Contudo, Martelo Vidal et al. (2016) observou, em reestruturado de atum branco com reduzido teor de sal, aumento nos parâmetros de dureza e coesividade com o aumento na concentração de MTGase, o que refletirá em aumento na gomosidade. Hu et al. (2015) relataram resultado semelhante ao descrever que a adição de 0,4 U/g em pasta de proteína muscular de “hairtail” (*Trichiurus haumela*, Linnaeus, 1758) aumentou a gomosidade da amostra em relação a não adição de MTGase. No entanto, o efeito de aumento na gomosidade foi observado somente até a concentração 4g/100g de pasta de proteína muscular. Em concentrações maiores de 4g/100g a adição de 0,4U/g de MTGase reduziu bruscamente a gomosidade.

A redução da gomosidade a partir do aumento na concentração da MTGase também foi observado neste estudo. A ação da MTGase nas propriedades funcionais da proteína do pescado está relacionada a habilidade de formação de géis com alta porosidade que são capazes de imobilizar água mais eficientemente. Como resultado deste aumento na capacidade de retenção de água, melhores propriedades de textura, tais como elasticidade e dureza, são obtidos (GOES FAVONI; GASPAR, 2015), e consequentemente refletem em melhores resultados de gomosidade e mastigabilidade.

A Tabela 41 mostra os resultados de gomosidade dos *fishburgers* elaborados com base na tendência apontada pelo modelo matemático (aumento na concentração de MTGase). O modelo que apresenta a influência da variável concentração de fécula e MTGase sob a variável resposta gomosidade é apresentado pela Equação 6.

$$\text{Gomosidade} = 6740,60 + 416,22 * \text{fécula} - 2738,91 * \text{MTGase} - 77,87 * \text{fécula} * \text{MTGase}$$

(Equação 6)

Ao substituir a expressão “*MTGase” pelos valores 2,3 e 2,5 e a expressão “*fécula” por 10, foram obtidos os valores de gomosidade previsto pelo modelo, o qual foram comparados com os valores obtidos de forma experimental (Tabela 41).

Tabela 41. Gomosidade obtida experimentalmente e previstas pelo modelo

Concentração de MTGase (%)	Gomosidade experimental (%)	Gomosidade previsto pelo modelo (%)	Desvio	Desvio Relativo (%)
2,3 (F1)	1940,28 ^a	2812,30	0,69	-44,94
2,5 (F2)	2742,10 ^a	2108,78	1,30	-23,09

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si (p<0,05) pelo teste de Tukey

Os desvios relativos, assim como na dureza, apresentou valor elevado. De acordo com o modelo, na faixa estudada, a gomosidade tende a diminuir, ao contrário do observado na prática. Não houve diferença estatística (p>0,05) entre as formulações. Porém, nota-se que a gomosidade foi maior na concentração de 2,5% de MTGase, corroborando com os achados de Sühnel (2007), que observou aumento na dureza e coesividade em reestruturado de tilápia quando aumentou a quantidade de enzima na formulação, o que resultará no aumento da gomosidade.

5.4.5.5 Mastigabilidade

Os resultados para mastigabilidade dos *fishburgers* são mostrados na Tabela 42. A mastigabilidade apresentou diferença estatística entre os ensaios 3 e 5, e entre 5 e 10. O ensaio 3 obteve a maior mastigabilidade (9180,80), ou seja, a maior energia ou trabalho necessário para mastigar o produto ao ponto de ser engolido. Nesta formulação foram utilizados 9% de água, 8% fécula e 0,4% MTGase, A menor mastigabilidade foi obtida para o ensaio 5 (1321,88) com 9% de água, 2% de fécula e 1,6% de MTGase. Os ensaio 10 não diferiu estatisticamente do ensaio 3, e utilizou 25% de água, 5% fécula e 1% MTGase. Assim como na gomosidade, os menores valores de mastigabilidade foram obtidos nas maiores concentrações de MTGase (1,6% e 2%), e os menores valores foram obtidos com 0,4% de MTGase. Comparando-se o ensaio 3 e 5, com diferença estatística entre si, ambos foram utilizados a mesma quantidade de água (9%), porém com quantidades diferentes de fécula e MTGase.

Tabela 42. Resultado da mastigabilidade dos *fishburgers* em função da concentração de água, fécula de mandioca e transglutaminase.

Ensaio	Água (ag); Fécula (fc); MTGase	Mastigabilidade (g)
1	9% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	4911,46 ^a
2	21% ag; 2% fc; 0,4% MTGase	4301,26 ^a
3	9% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	9180,81 ^b
4	21% ag; 8% fc; 0,4% MTGase	4403,07 ^a
5	9% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	1321,88 ^a
6	21% ag; 2% fc; 1,6% MTGase	2106,51 ^a
7	9% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	2694,39 ^a
8	21% ag; 8% fc; 1,6% MTGase	2794,89 ^a
9	5% ag; 5% fc; 1% MTGase	3626,27 ^a
10	25% ag; 5% fc; 1% MTGase	5060,42 ^{ab}
11	15% ag; 0% fc; 1% MTGase	3254,85 ^a
12	15% ag; 10% fc; 1% MTGase	4275,35 ^a
13	15% ag; 5% fc; 0% MTGase	3786,36 ^a
14	15% ag; 5% fc; 2% MTGase	1564,03 ^a
15	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	4138,42 ^a
16	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	3750,37 ^a
17	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	2922,12 ^a
18	15% ag; 5% fc; 1% MTGase	2942,98 ^a

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Tabela 43 mostra os resultados do delineamento para influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na mastigabilidade dos *fishburgers*, e os resultados dos coeficientes de regressão e desvio padrão com 5% de significância. Assim como no parâmetro gomosidade, tanto a fécula quanto a MTGase influenciaram significativamente ($p < 0,05$) na mastigabilidade dos *fishburgers*. A fécula teve efeito linear positivo, indicando uma tendência de aumento na mastigabilidade em função do aumento da concentração de fécula de mandioca. Porém, a MTGase obteve efeito linear negativo, sugerindo aumento da mastigabilidade em função da redução da concentração de MTGase. A interação água e MTGase também mostrou-se significativa ($p < 0,05$), indicando um efeito de aumento da mastigabilidade. O mesmo efeito foi encontrado na gomosidade e neste sentido, pode-se sugerir a mesma hipótese para explicação, ou seja, relacionada ao mecanismo de ação da MTGase ao catalisar a reação entre os resíduos de glutamina e a água, e deste modo reduzir a concentração de água no produto, assim como o teor de umidade, aumentando a mastigabilidade.

Tabela 43. Influência da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase no parâmetro mastigabilidade dos *fishburgers*.

Variáveis	Efeito	Erro Padrão/Erro puro	t(3)	P
Média*	3416,00	301,9203	11,31425	0,001481
Água (L)	-307,66	328,8355	-0,93560	0,418498
Água (Q)	813,30	344,6793	2,35959	0,099437
Fécula (L)*	1195,90	328,8355	3,63678	0,035823
Fécula (Q)	396,96	344,6793	1,15169	0,332903
MTGase (L)*	-2598,21	328,8355	-7,90125	0,004226
MTGase (Q)	-387,76	344,6793	-1,12500	0,342472
Água (L) x Fécula (L)	-1219,74	428,0479	-2,84954	0,065134
Água (L) x MTGase (L)*	1561,44	428,0479	3,64782	0,035547
Fécula (L) x MTGase (L)	-570,75	428,0479	-1,33337	0,274615

*Fatores significativos a 95% de confiança; $R^2=0,79$; (L): Efeito Linear; (Q): Efeito Quadrático.

Verifica-se que o coeficiente de regressão (R^2) foi igual a 0,79, mostrando que o modelo gerado explicou 79% da variância do experimento. A Tabela 44 apresenta a análise variância (ANOVA) dos resultados para mastigabilidade. Observa-se que o $F_{\text{calculado}}$ (5,62) foi superior ao F_{Tabelado} (3,34). Deste modo, foi possível validar o modelo proposto ($p<0,05$) permitindo a construção da superfície resposta e das curvas de contorno da concentração de água, fécula de mandioca e MTGase.

Tabela 44. Análise de variância do DCCR para concentração de água, fécula de mandioca e MTGase na mastigabilidade dos *fishburgers*.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	27724115,56	3	9241372	5,621889
Resíduo	23013477,44	14		
Total				

$F_{\text{Tabelado}}(3,14)= 3,34$

A Figura 20 ilustra o gráfico de superfície resposta e curvas de contorno para a influência da fécula e MTGase sobre a mastigabilidade dos *fishburgers*.

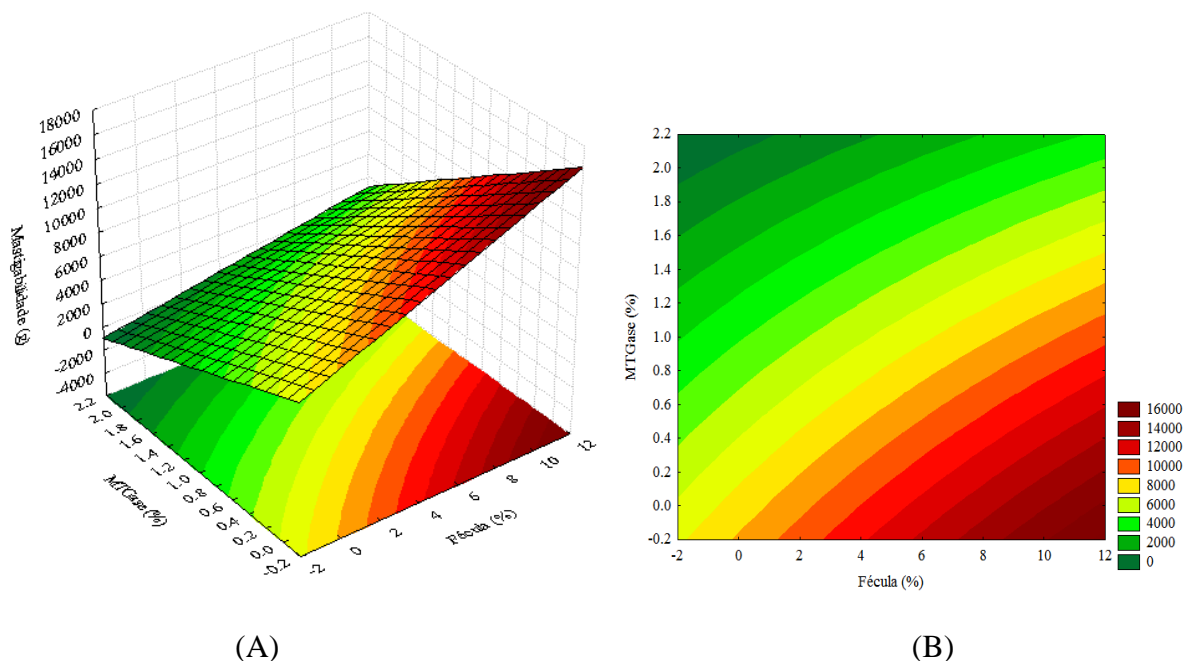


Figura 20. Superfície de resposta (A) e curvas de contorno (B) da mastigabilidade em função da concentração (%) de MTGase e fécula.

A mastigabilidade, dentro da faixa estudada, teve influência semelhante ao apresentado no parâmetro gomosidade, indicando que o aumento na concentração de MTGase e a redução da quantidade de fécula, diminuiu o trabalho para mastigar (tempo) o *fishburger* ao ponto de ser engolido. Nota-se que ao aumentar a quantidade de fécula, torna-se necessário aumentar a concentração da enzima para atingir resultados satisfatórios de mastigabilidade.

Lago (2015) elaborou Salsicha com diferentes proporções de CMS de tilápia (0 a 80%) usando 2% de fécula de mandioca. Nas proporções 0%, 20%, 40%, 60% e 80% de CMS foram obtidos valores de mastigabilidade de 1961,2 g.mm; 1744,0 g.mm; 1412,2 g.mm; 1369,4 g.mm e 865,4 g.mm, respectivamente. Estes valores foram inferiores aos resultados de mastigabilidade do presente estudo. Pode-se atribuir esta diferença ao elevado teor de gordura apresentados pelas salsichas (entre 5,39% a 18,96%). A adição de gorduras em produtos cárneos reduz as forças de mastigabilidade, por proporcionar maior maciez e suculência (PIETRASICK, 1999). O autor atribui a diminuição da mastigabilidade ao aumento nas concentrações de CMS na formulação, uma vez que a porcentagem de gordura na CMS utilizada na formulação foi de 23,32%.

Do mesmo modo que no parâmetro gomosidade, Martelo Vidal et al. (2016) e Hu et al. (2015) relataram aumento na mastigabilidade em função do aumento na concentração da MTGase. A mastigabilidade com 150 U/kg de MTGase em reestruturado de atum branco com teor de sal reduzido aumentou de 4167,17g para 7308,36g, quando a MTGase aumentou para 400U/kg (MARTELO-VIDAL et al., 2016). Porém, a adição de 0,4 U/g em pasta de proteína muscular de “hairtail” no estudo de Hu et al. (2015) aumentou a gomosidade da amostra somente até a concentração 4g/100g de pasta de proteína muscular. Em concentrações maiores de 4g/100g a adição de 0,4U/g de MTGase reduziu bruscamente a gomosidade. O aumento na gomosidade promove aumento no parâmetro mastigabilidade, uma vez que esta é obtido pela multiplicação da gomosidade pela elasticidade.

A redução da mastigabilidade a partir do aumento na concentração da MTGase também foi observado no presente estudo. O efeito da MTGase em aumentar a CRA (Figura 12) pode ter contribuído para este efeito, haja vista que em amostras com maiores quantidade

de água, retido na matriz, a energia requerida para desintegrar a amostra é menor, e consequentemente reduz o tempo de mastigação.

A Tabela 45 mostra os resultados de mastigabilidade dos *fishburgers* elaborados com base na tendência apontada pelo modelo estatístico (aumento na concentração de MTGase). O modelo que apresenta a influência da variável concentração de água, fécula e MTGase sob a variável resposta mastigabilidade é apresentado pela Equação 7.

$$\text{Mastigabilidade} = 7442,68 + 645,55 * \text{fécula} - 3548,35 * \text{MTGase} - 158,54 * \text{fécula} * \text{MTGase}$$

(Equação 7)

Ao substituir a expressão “*MTGase” pelos valores 2,3 e 2,5 e a expressão “*fécula” por 10, foram obtidos os valores de mastigabilidade previsto pelo modelo, o qual foram comparados com os valores obtidos de forma experimental, como observado na Tabela 45.

Tabela 45. Mastigabilidade obtida experimentalmente e previstas pelo modelo

Concentração de MTGase (%)	Mastigabilidade experimental (%)	Mastigabilidade previsto pelo modelo (%)	Desvio	Desvio Relativo (%)
2,3 (F1)	2044,02 ^a	2090,56	0,98	-2,28
2,5 (F2)	2820,67 ^a	1763,81	1,60	37,47

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si (p<0,05) pelo teste de Tukey

Os desvios relativos, assim como na dureza e gomosidade, apresentou valor elevado, no entanto na mastigabilidade o desvio relativo para a concentração de 2,3% foi aceitável. De acordo com o modelo, na faixa estudada, a mastigabilidade tende a diminuir, ao contrário do observado na prática.

Observa-se que não houve diferença estatística (p>0,05) entre as formulações. Embora não observada diferença significativa (p>0,05), o uso de 10% de fécula associado a 2,5% de MTGase (F2) aumentou a mastigabilidade.

6 CONCLUSÃO

A carne mecanicamente separada de espinhaços de tilápia apresentou boa qualidade nutricional, destacando-se o alto conteúdo de proteínas, semelhante ao filé, e o baixo teor de lipídeos. Além disso, a qualidade sanitária e microbiológica do produto apresentaram resultados satisfatórios, evidenciando a qualidade higiênico sanitária da matéria-prima.

A metodologia de superfície resposta mostrou-se uma ferramenta útil na previsão das melhores respostas na elaboração dos *fishburgers*, com exceção das respostas para perfil de textura onde os desvios foram altos. Sendo assim, a metodologia de superfície resposta não mostrou-se uma boa ferramenta para prever respostas quanto a textura dos *fishburgers*, apresentando altos desvios.

A água, fécula de mandioca e MTGase, utilizadas como variáveis independentes no delineamento demonstraram influencias no teor de umidade, percentual de rendimento, de encolhimento e no perfil de textura instrumental dos *fishburgers*.

Os novos *fishburgers* obtidos com base no resultado do modelo matemático obtiveram boa qualidade nutricional com elevado teor de proteínas e baixo teor lipídico, tanto no produto cru como no grelhado, enquadrando-se ao estabelecido pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Hambúrguer. No entanto, o teor de carboidratos ficou superior ao permitido pela legislação vigente. A qualidade sanitária dos *fishburgers* apresentou resultados de acordo com a literatura.

A utilização da enzima MTGase mostrou-se positiva para a modificação dos parâmetros texturais, principalmente dureza, que reflete na gomosidade do produto e esta por sua vez na mastigabilidade, ambas importantes parâmetros na aceitação de produtos cárneos. Porém, um ponto importante na aplicação da MTGase para modificação da textura é a quantidade de água na formulação e por sua vez o teor de umidade no produto final. Por isso, o uso da enzima em formatados de pescado deve ser associado a avaliação cuidadosa do percentual de água na formulação, lavagem da CMS e/ou umidade do produto final, pois a água presente na estrutura do produto contribui para a ação da MTGase na modificação da funcionalidade das proteínas, e deste modo melhora na suculência, retenção de água e textura dos *fishburgers*. Para os demais parâmetros (umidade, CRA, encolhimento e rendimento) a aplicação da MTGase foi satisfatória apenas nas maiores concentração deste estudo, ou seja, para atingir um bom rendimento na cocção, baixo percentual de encolhimento e teor de umidade próximo a 70%, foram necessárias altas concentrações. A exceção foi para CRA cuja concentração de 0,5% da enzima produziu os efeitos desejados.

O aproveitamento dos espinhaços de tilápia, após a filetagem, para a obtenção da carne mecanicamente separada e sua destinação para a elaboração de coproduto mostrou-se viável, devido a qualidade nutricional da matéria-prima, pela possibilidade de diversificação de produtos, pela contribuição na oferta de produtos a base de pescado, e principalmente no atendimento as questões ambientais de sustentabilidade da cadeia produtiva da pesca, evitando o descarte inadequado do resíduo no meio ambiente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADU, G. A.; BABBITT, J. K.; CRAWFORD, D. L. Effect of washing on the nutritional and quality characteristics of dried minced rochfish flesh. **Journal of Food Science**, v. 48, p.1053-1055, 1983.
- AHMED, A. M.; KURODA, R; KAWAHARA, S; OHTA, K; NAKADE, K; AOKI, T; MUGURUMA, M. Dependence of microbial transglutaminase on meat type in myofibrillar proteins cross-linking. **Food Chemistry**, v.112, n.2, p. 354–361, 2009.
- ANDO, H; ADACHI, M; UMEDA, K; MATSUURA, A; NONAKA, M; UCHIO, R; TANAKA, H; MOTOKI, M. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. *Agricultural and Biological Chemistry*, v. 53, n.10, p. 2613–2617, 1989.
- ANGIOLILLO, L.; CONTE, A.; DEL NOBILE. Technological strategies to produce functional meat burgers. **Food Science and Technology** v. 62, p. 697-703, 2015.
- APHA – American Public Health Association. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4. ed. Washington, 2001. 1219p.
- ARAÚJO, J. R; SANTOS, L. D; SILVA, C. R; SANTOS, O. O; MEURER, F. Digestibilidade aparente de ingredientes do Semi-Árido Nordeste para tilápia do Nilo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, p. 900-903, 2012.
- ARRUDA, L. F; BORGHESI, R; BRUM, A; REGINATO, D. A. M; OETTERER, M. Nutritional aspects of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) silage. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 749-756, 2006.
- BAGAGLI, M. P. **Produção de transglutaminase de Streptomyces sp. P20, caracterização e aplicação da enzima bruta**. 2009. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- BAINY, E.M; BERTAN, L.C; CORAZZA, M.L; LENZI, M.K. Effect of grilling and baking on physicochemical and textural properties of tilápia (*Oreochromis niloticus*) fish burger. **Journal Food Science and Technology**, v.52, n.8, p. 5111-5119, 2015.
- BARRETO, P.L.M; BEIRÃO, L.H. Influência do amido e carragena nas propriedades texturais de surimi de tilápia (*Oreochromis niloticus sp.*). **Ciência e tecnologia de alimentos**, v.19, n.2, p.183-188, 1999.
- BESSA, D. P; TEIXEIRA, C.E; FRANCO, R.M; QUEIROZ, M.L.F; GUERRA, C.A.M; CONTE-JUNIOR, C.A; GAZE, F.V; MARSICO, E.T. **Functional sausage made from mechanically separated tilapia meat**. v.28, p.426-439, 2016.
- BOCHI, V.C; WEBBER, J; RIBEIRO, C.P; VICTÓRIO, A.M; EMANUELLI, T. Fishburgers with silver catfish (*Rhamdia quelen*) filleting residue. **Bioresource Technology**, v.99, p. 8844-8849, 2008.

BORDIGNON, A. C; SOUZA, B. E; BOHNENBERGER, L; HILBIG, C. C; FEIDEN, A; BOSCOLO, W. R. Elaboração de croquete de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) a partir de CMS e aparas do corte em “V” do filé e sua avaliação físico-química, microbiológica e sensorial. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. Maringá, v.32, n. 1, p. 109-116, 2010.

BORGES, A.S; ZAPATA, J.F.F; GARRUTI, D.S; RODRIGUES, M.C.P; FREITAS, E.R; PEREIRA, A.L.F. Medições instrumentais e sensoriais de dureza e suculência na carne caprina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.4, p.891-896, 2006.

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, 32, 62-65, 1978.

BRAGA, G.C; PASQUETI, T.J; BUENO, G.W; MERENGONI, N.G. Adição de amido e farinha de aveia na formulação de hambúrguer de polpa de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Scientia agraria paranaensis**, v.7, p. 45-54, 2008.

BRAGAGNOLO, N.; DANIELSEN, B.; SKIBSTED, L. Effect of rosemary on lipid oxidation in pressure-processed, minced chicken breast during refrigerated storage and subsequent heat treatment. **European Food Research and Technology**, 221: 610–615 DOI 10.1007/s00217-005-0013-2. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Decreto nº 30691, de 29 de Março de 1952. **Aprova o regulamento da industrial e sanitária de produtos de origem animal**. Disponível em: [http:// sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action /detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal](http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal). Acessado em 19/12/2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 04, de 31 de março de 2000. **Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha**. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal> Acesso em: 10 jan. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 12, de 02 de janeiro de 2001**. Regulamento Técnico sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos. 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 de novembro de 2002, seção 1, páginas 85-91.

BRASIL. IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Estatística da pesca 2004 – Grandes regiões e unidades da confederação**. 136p. , Brasília- DF, 2005.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 01 Out 2015

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Aquisição Alimentar Domiciliar Per Capita**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a.

BRASIL. MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25, de 2 de junho de 2011. Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos para Controle de Pescado e seus derivados . **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 de Junho de 2011. Seção 1.

BRASIL. MPA – Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**. 2013a. Disponível em: http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim%20MPA%202011_FINAL.pdf . Acesso em: 14 Set 2015

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal**, v.41, 108p., Rio de Janeiro: IBGE, 2013b.

BRASIL. MPA – Ministério da Pesca e Aquicultura. **Anuário Brasileiro da Pesca e Aquicultura**. 136f. 2014a. Disponível em: [http:// formsus.datasus.gov.br/novoimgarq/16061/2489520_218117.pdf](http://formsus.datasus.gov.br/novoimgarq/16061/2489520_218117.pdf). Acesso em 04 ago.2015.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal**, v.42, 39p., Rio de Janeiro: IBGE, 2014b.

BRASIL FOOD TRENDS 2020. São Paulo: FIESP, ITAL, 2010. 173 p. Disponível em: http://www.brazilfoodtrends.com.br/Brasil_Food_Trends/index.htm. Acesso em: 10 ago. 2015

CABRAL, I.S.R; ANGELINI, M.F.C; SHIRAHIGUE, L.D; SUCASAS, L.F.A; OETTERER, M. Estabilidade de carne mecanicamente separada de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em função do uso de diferentes aditivos químicos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 3, n.1, p.44-49, jan/jun., 2012.

CELIS, F. T. **Efeito da reticulação induzida pela transglutaminase e o glutaraldeído sobre as propriedades das microparticulas obtidas por coacervação complexa**. 2009. 126p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

CHAMALALIAH, M.; DINESH KUMAR, B.; HEMALATHA, R.; JYOTHIRMAYI, T. Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. **Food Chemistry**, v. 135, p. 3020–3038, 2012.

COELHO, G.M; WESCHENFELDER, A.V; MENINERT, E.M; AMBONI, R.D.M.C; BEIRÃO, L.H. Effects o starch properties on textural characteristics of fish burgers: sensory and instrumental approaches. **B. Ceppa**, v.25, n.1, p.37-50, 2007.

DALLABONA, B. R. **Desenvolvimento e estabilidade de linguiça de pescado elaborada a partir de resíduo de filetagem de tilápia do Nilo**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, São José dos Pinhais.

DAMIAN, C; BEIRÃO, L.H.F; ALICIA, T; SANTO, E.P.E; LUIZ, M. Avaliação físico-química e da textura (instrumental e sensorial) de salsichas elaboradas com diferentes níveis de quitosana-poli (α-1`I4)N-acetil-D-glucosamina. **Acta científica venezolana**, v.56, v.1, p.16-23, 2005.

DAMODARAN, S. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. In: DAMODARAN, K. L; PARKIN, O. R. FENNEMA. **Química de alimentos de Fennema**, Porto Alegre: Editora Artmed. 4.ed., 2010. p. 179–262.

DUBE, M; SCHÄFER, C; NEIDHART, S; CARLE, R. Texturisation and modification of vegetable proteins for food applications using microbial transglutaminase. **European Food Research and Technology**, v. 225, n.2, p.287–299, 2007.

FELTES, M. C.M.; CORREIA, J. F. G.; BEIRÃO, L. H.; BLOCK, J. M., NINOW, J. L.; SPILLER, V. R. Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.669–677, 2010.

FERREIRA, M. S., MÁRSICO, E. T., MEDEIROS, R. J., POMBO, C. R., FREITAS, M. Q., SÃO CLEMENTE, S. C., CONTE JUNIOR, C.A. Comparação das características físico-químicas e sensoriais de hambúrgueres de carne bovina elaborados com cloreto de sódio, polifosfato e transglutaminase. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v.34, n.1, p. 52–60, 2012.

FILHO, R.B; QUEIROGA, A.X.M; GOMES, Q.O; PEREIRA, B.B.M; MARACAJÁ, P.B. Elaboração de hambúrguer formulado com filé de peixe tucunaré (*cichla* ssp). **Revista Verde**, v.9, p.75-80, 2014.

FOGAÇA, F.H.S. **Caracterização do surimi de tilápia do Nilo: morfologia e propriedades físicas, químicas e sensoriais**. 2009. 73f. Tese. (Programa de Pós Graduação em Aquicultura). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal

FOGAÇA, F. H. S; OTANI, F. S; PORTELLA, C. G; FILHO, L. G. A .S; SANT`ANA, L. S. Caracterização de surimi obtido a partir de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo e elaboração de fishburger. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n.2 p.765-776, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Roma: FAO, 2007. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0699e/a0699e.pdf>. Acesso em: 15 Ago. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Roma: FAO, 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e.pdf>. Acesso em: 10 Set. 2015

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Fisheries and Aquaculture Department. **Composition of fish**. Roma: FAO, 2013a. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/topic/12318/en>. Acesso em: 17 Jul. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Reduction of bycatch and discards**. Roma: FAO, 2013b. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/topic/14832/en>. Acesso em: 17 Jul. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Fao Globesfish – Tilápia: Steady demand balanced consistente supply**. December, 2014a. Disponível em: <http://www.thefishsite.com/reports/?id=4799>. Acesso em: 25 Set. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Roma: FAO, 2014b. Disponível em: <http://www.fao.org/3/d1eaa9a1-5a71-4e42-86c0-f2111f07de16/i3720e.pdf> Acesso em: 25 Set. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture: contributing to food security and nutrition for all**. Roma, FAO, 200 p, 2016.

FÜLBER, V. M.; MENDEZ, L. D. V.; BRACCINI, G. L.; BARRERO, N. M. L.; DIGMEYER, M.; RIBEIRO, R. P. Desempenho comparativo de três linhagens de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em diferentes densidades de estocagem. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 31, n. 2, p. 177-182, 2009.

GOES-FAVONI, S. P; GASPAR, A. L. C. Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review. **Food Chemistry**, v.171, p.315-322, 2015.

GODOY, L. C.; FRANCO, M. L. R. S; FRANCO, N. P; SILVA, A. F; ASSIS, M. F; SOUZA, N. E; MATSUSHITA, M; VISENTAINER, J. V. Análise sensorial de caldos e canjas elaborados com farinha de carcaças de peixe defumadas: aplicação na merenda escolar, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, Suppl.1, p.86-89, 2010.

GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do Pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação**. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. 608 p.

GUJRAL, H.S.; KAUR, A.; SINGH, N.; SODHI, N.S. Effect of liquid whole egg, fat and textured soy protein on the textural and cooking properties of raw and baked patties from goat meat. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 377-385, 2002.

HONG, G. P; XIONG, Y. L. Microbial transglutaminase-induced structural and rheological changes of cationic and anionic myofibrillar proteins. **Meat Science**, v.91, n.1, p.36-42, 2012.

HU, Y; LIU, W; YUAN, C; MARIOKA, K; CHEN, S; LIU, D; YE, X.. Enhancement of the gelation properties of hairtail (*Trichiurus haumela*) muscle protein with curdlan and transglutaminase. **Food Chemistry**, v.176, p.115-122, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Edição IV. I Edição Digital. São Paulo. Capítulo VI. Análise Sensorial. 2008.

JUNIOR, C. A. F; JÚNIOR, A. S. V. Cultivo de tilápia no Brasil: origens e cenário atual. **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia, Rural**, Rio Branco – Acre, Brasil, 2008.

LARSEN, R; EILERTSEN, K. E; ELVEVOLL, E. O. Health benefits of marine foods and ingredients. **Biotechnology Advances**, v.29, n.5, p.508-518, 2011.

KIRSCHNIK, P.G; MACEDO-VIEGAS, E.M. Efeito da lavagem e da adição de aditivos sobre a estabilidade da carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante a estocagem a -18 °C. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n.1, p.200-206, jan-mar., 2009.

LAGO, A.M.T. **Embutido tipo salsicha utilizando carne mecanicamente separada de tilápia: uma alternativa para o aproveitamento de resíduo da filetagem**. 2015. 231f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LEITE, M.M.S. **Desenvolvimento de linguça de Mexilhão (*Perna perna*) funcional processada com a aplicação de transglutaminase microbiana**. 2016. 58p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

LEONHARD, C. Ingredientes e Aditivos para o Pescado. *In*: A. A. Gonçalves. **Tecnologia do Pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação**. São Paulo: Ed. Atheneu, 2011. p.303-317.

LIMONGI, B; PFITSCHER, E. D; SPLITTER, K. Sustentabilidade ambiental: estudo em uma indústria de pescado. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 6, n. 1, p.135-154, 2013.

MACARI, S.M. **Desenvolvimento de formulação de embutido cozido a base de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2007. 122f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAIA, E.L; OLIVEIRA, C.C; OLIVEIRA, C.C.S; SANTIAGO, A.P; CUNHA, F.E.A; HOLANDA, F.C.A.F; SOUSA, J.A. Composição química e classes de lipídeos em peixes de água doce curimatã comum, *Prochilodus cearenses*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n.3, p.433-437, 1999.

MARENGONI, N. G.; POZZA, M. S. S.; BRAGA, G. C.; LAZZERI, D. B.; CASTILHA, L. D.; BUENO, G. W.; PASQUETTI, T. J.; POLESE, C. Caracterização microbiológica, sensorial e centesimal de fishburgers de carne de tilápia mecanicamente separada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.10, n.1, p.168-176, 2009.

MARTELO –VIDAL, M.J; FERNANDEZ-NO, I.C; RODRÍGUEZ, E.G; VASQUEZ, M. Obtaining reduced-salt restructured White tuna (*Thunnus alalunga*) mediated by microbial transglutaminase. **Food Science and Technology**, v.66, p.341-348, 2016.

MELLO, S.C.R.P; FREITAS, M.O; CLEMENTE, S.C; FRANCO, R.M.; NOGUEIRA, E.B; PINTO, M.D.S.R. Caracterização química e bacteriológica de polpa e surimi obtidos do espinhaço residual da filetagem de tilápia. **Ciência Rural**, v.40, n.3, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2010nahead/a492cr1924.pdf>. Acessado em 19/12/2016

MELLO, S.C.R.P.; FREITAS, M. O.; CLEMENTE, S. C.; FRANCO, R. M.; NOGUEIRA, E. B.; FREITAS, D. D. G. C. Development and bacteriological, chemical and sensory characterization of fishburgers made of Tilapia minced meat and surimi. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.64, n.5, p.1389-1397, 2012.

MELEIRO, V.C; CAVALCANTE, R; NERY, I.A; BARBOSA, M.I. Elaboração da composição centesimal e avaliação da estabilidade oxidativa de hambúrgueres de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758), adicionados de carotenoides de *Bixa orellana*. **Perspectivas da Ciência e tecnologia**, v.12, n.1-2, 2013. Disponível em: <http://revistascientificas.ifrj.edu.br:8080/revista/index.php/revistapct/article/view/370>. Acessado em 16/12/2016.

MELO, H.M.G; MOREIRA, R.T; DÁLMAS, P.S; MACIEL, M.I.S; BARBOSA, J.M; MENDES, E.S. Viabilidade da utilização da carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo na elaboração de um produto tipo “mortadela”. **ARS veterinária**, v.27, n.1, p. 22-29, 2011.

MELO, H.M.G; GALVÃO, S.M.R; SILVA, J.G; MACIEL, M.I.S; MOREIRA, R.T; ANDRADE, S.A.C; MENDES, E.S. Qualidade do Fishburger de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo adicionado de fibra de trigo e óleo de milho. **ARS veterinária**, v.30, n.1, p.23-31, 2014.

MOREIRA, R. T. **Desenvolvimento de embutido emulsionado de tilápia (*Oreochromis niloticus*) estabilizado com hidrocolóides**. Campinas: UNICAMP, 2005. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, 2005.

MOZZAFARIAN, D.; WU, J.H.Y. Omega 3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 58, n. 20, p. 2047-2067, 2011.

NIELSEN, P. M. Reactions and potential industrial applications of transglutaminase – review of literature and patents. **Food Biotechnology**, v. 9, p. 119-156, 1995.

NOLASCO, A. M. **Resíduos da colheira e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam) D.C.:** caracterização e perspectivas. 2000. 171p. Tese (Doutorado em ciências), Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual da Pesca: ciência e tecnologia do pescado**. São Paulo: Varela, 1999. 464 p.

OLIVEIRA FILHO, P. R. C. DE; TRINDADE, C. S. F.; TRINDADE, M. A.; BALIEIRO, J. C. DE C.; VIEGAS, E. M. M. Quality of sausage elaborated using minced Nile Tilapia submitted to cold storage. **Scientia Agricola**, v.67, n.2, p.183-190, 2010.

OLIVEIRA, M. C.; CRUZ, G. R. B.; ALMEIDA, N. M. Características Microbiológicas, Físico-Químicas e Sensoriais de “Almôndegas” à Base de Polpa de Tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Revista Unopar Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, v.14, n.1, p.37-44, 2012.

ÖZRENK, E. The use of transglutaminase in dairy products. **International Journal of Dairy Technology**, v. 59, n.1, p.1–7, 2006.

PALMERIA, K.R; RODRIGUES, B.L; GAZE, L.V; FREITAS, M.Q; TEIXEIRA, C.E; MARSICO, E.T; CRUZ, A.G; CONTE JUNIOR, C.A. Use of transglutaminase, soybean

waste and salt replacement in the elaboration of trout (*Oncorhynchus mykiss*) meatball. **International Food Research Journal**, v. 21, n.4, p. 1597-1602, 2014.

PAYNE, T. Propriedades Básicas da Transglutaminase. In: **Ajinomoto Corporation Folder**. 2000.

PEREIRA, A. K. C. Estudo do rendimento de carcaça de tilápia (*Oreochromis niloticus*), após a obtenção do filé e estudo do aproveitamento do espinhaço para a produção de surimi. In: International Symposium on Tilapia Aquaculture, 5, 2000, Rio de Janeiro. Proceedings. Rio de Janeiro: **Panorama da Aquicultura**, p.440-445, 2000.

PEREIRA, L.A. **Estudo comparativo de técnicas de determinação da força de cisalhamento de carnes**. 2012. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade de São Paulo, São Paulo.

PIRES, D. R; SILVA, P. P. O; AMORIM, E; OLIVEIRA, G. M. Espécies de pescado subexploradas e seu potencial para elaboração de subprodutos com valor agregado. **Revista Verde**, v.8, n.5, p.148-157, 2013.

PIRES, D.R; MORAIS, A.G.N; COSTA.J.F; GOES, L.C.D.S.A; OLIVEIRA, G.M. Aproveitamento do resíduo comestível do pescado: Aplicação e viabilidade. **Revista Verde** , v 9, n. 5 , p. 34 - 46, Dez, 2014

PIRES, D.R. **Desenvolvimento de Fishburger à base de pescado marinho de baixo valor comercial capturado na Baía de Sepetiba, RJ**. 2015. 117p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PIETRASIK, Z. Effect of content of protein, fat and modified starch on binding textural characteristics, and colour of comminuted scalded sausages. **Meat Science**, v. 51, n. 1, p. 17-25, 1999.

REBOUÇAS, M. C; RODRIGUES, M. C. P; CASTRO, R. J. S; VIEIRA, J. M. M. Caracterização do concentrado proteico de peixe obtido a partir dos resíduos da filetagem da tilápia do Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 697-704, 2012.

RIBEIRO, A. L. M. S; OLIVEIRA, G. M; FERREIRA, V. M; PEREIRA, M. M. D; SILVA, P. O. Avaliação microbiológica da qualidade do pescado processado, importado no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciências Veterinárias**, v.16, n.3, p.109-112, 2009.

RODRIGUES,M.A.; IEMMA,A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**: Uma estratégia sequencial de planejamentos. 1.ed. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005.

SALES, R. **Processamento, caracterização química e avaliação nutricional da silagem da despesca da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em dietas experimentais com ratos**. 1995. 174f. Tese de Doutorado (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas – São Paulo/SP.

SANTOS, R. A. R.; NETA, T. M. S. L.; SANTOS, R. M.; AQUINO, L. C. L.; NUNES, M. L. Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos e Sensoriais de Ceviche de Tilápia em Função do Tempo de Estocagem Refrigerada. **Scientia Plena**, v. 7, n. 1, p. 1-5, 2011.

SANTANA, P.; HUDA, N.; YANG, T. A. Technology for production of surimi powder and potential of applications. **International Food Research Journal**, n. 19, v. 4, p. 1313-1323, 2012.

SARTORI, A.G.O.; AMANCIO, R.D. Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v.19, n.2, p. 83-93, 2012.

SARY, C; FRANCISCO, J.G.P; DALLABONA, B.R; MACEDO, R.E.F; GANECO, L.N; KIRSCHNIK, P.G. Influência da lavagem da carne mecanicamente separada de tilápia sobre a composição e aceitação de seus produtos. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental**, v. 7, n.4, p.423-432, out/dez, 2009.

SÁ VIEIRA, P.H; MELO, C.C; MEDEIROS, R.F; FILHO VASCONCELOS, M.B; MOURA, J.V.S; ALBUQUERQUE, C.A; OLIVEIRA FILHO, P.R.C. Produtos de valor agregado de tilápia (*Oreochromis niloticus*) utilizando diferentes concentrações de amido. **Actapesca**, v.3, p.41-53, 2015.

SEABRA, L.M.J; ZAPATA, J.F.F; NOGUEIRA, C.M; DANTAS, M.A; ALMEIDA, R.B. Fécula de mandioca e farinha de aveia como substitutos de gordura na formulação de hambúrguer de carne ovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.3, p.244-248, 2002.

SHANKAR, T. J.; SOKHANSANJ, S.; BANDYOPADHYAY, S.; BAWA, A. S. Storage Properties of Low Fat Fish and Rice Flour Coextrudates. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 4, p. 481–490, 2010.

SILVA, S.R.; FERNANDES, E.C.S. Aproveitamento da corvina (*Argyrosomus regius*) para elaboração de *fishburger*. **Cadernos de Pesquisa**, v.17, n.3, p.67-70, 2010.

SIMÕES, M.C; RIBEIRO, C.F.A; RIBEIRO, S.C.A; PARK, K.J; MURR, F.E.X. Composição físico química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 608-613, jul-set, 2007.

SOUZA, M.L.R; BACCARIN, A.E; VIEGAS, E.M.M; KRONKA, S.N. Defumação da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) inteira eviscerada e filé: aspectos referentes às características organolépticas, composição centesimal e perdas ocorridas no processamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n.1, p.27-36, 2004.

STATSOFT, INC. Statistica (data analysis software system), versão 7.0. 2007.

SUCASAS, L. F. A. **Avaliação do resíduo do processamento de pescado e desenvolvimento de co-produtos visando o incremento da sustentabilidade da cadeia produtiva**. 2011. 166f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo.

SÜHNEL, J.A.G. **Uso e avaliação de transglutaminase em reestruturado de peixe obtido com aparas de tilápia (*Oreochromis* sp).** 2007, 56f. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) – Curso de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

SUZUKI, T. **Tecnología de las proteínas de pescado y krill.** Zaragoza: Acribia, 1987.

TAHERGORABI, R.; BEAMER, S. K.; MATAK, K. E.; JACZYNSKI, J. Chemical properties of \square -3 fortified gels made of protein isolate recovered with isoelectric solubilisation/precipitation from whole fish. **Food Chemistry**, n.139, p.777–785, 2013.

TSENG T.F., LIU D.C; CHEN M.T. Evaluation of transglutaminase on the quality of low-salt chicken meat balls. **Meat Science.**, v.55, p.427-31, 2000.

TAVARES, M; MELLO, A.M.R.P; CAMPOS, N.C; MORAIS, C; OSTINI, S. Proximate composition and caloric value of the mussel *Perna perna*, cultivated in Ubatuba, São Paulo, State, Brazil. **Food chemistry**, v. 62, n.4, p.473-475, 1998.

TRIKI, M.; HERRERO, A. M.; JIMÉNEZ. C, F.; RUIZ, C. C. Storage stability of low-fat sodium reduced fresh merguez sausage prepared with olive oil in konjac gel matrix. **Meat Science**, v. 94, p. 438–44, 2013.

TROY, D. J; DESMOND, E. M; BUCKLEY, D. J. Eating quality of low-fat beef burgers containing fat-replacing functional blends. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, n.4, p.507-516, 1999.

URESTI, R. M.; TÉLLEZ-LUIS, S. J.; RAMÍRES, J. A.; VÁZQUEZ, M. Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). **Food Chemistry**. v. 86, p. 257-262, 2004.

VEIT, J. C.; FREITAS, M. B.; REIS, E. S.; MOORE, O. Q.; FINKLER, J. K.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. Desenvolvimento e caracterização de bolos de chocolate e de cenoura com filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 3, p. 427-433, 2012.

VIDOTTI, R.M. **Tecnologias para o aproveitamento integral de peixes.** 2011. Disponível em:http://www.cpfap.embrapa.br/aquicultura/wpcontent/uploads/2011/10/apresentacao_rose-vidotti_tecnologias-para-o-aproveitamento-integral-de-peixes.pdf. Acesso em: 02 jan. 2015.

YOKOYAMA, K; NIO, N; KIKUCHI, Y. Properties and applications of microbial transglutaminase. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.64, n4, p.447–454, 2004.