



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

FABIANE DE CÁSSIA PONTES RAMOS

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, INDICADORES DA QUALIDADE
E ESTUDO DA CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO *SOUS VIDE*
DE TAMBAQUI (*Collossoma macropomum*)

BELÉM - PA

2013

FABIANE DE CÁSSIA PONTES RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, INDICADORES DA QUALIDADE
E ESTUDO DA CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO *SOUS VIDE*
DE TAMBAQUI (*Collossoma macropomum*)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro

BELÉM - PA

2013

FABIANE DE CÁSSIA PONTES RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, INDICADORES DA QUALIDADE
E ESTUDO DA CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO *SOUS VIDE*
DE TAMBAQUI (*Collossoma macropomum*)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço

Co-Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro

Data de Avaliação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço

(FEA/ITEC/UFPA – Orientadora)

Prof^ª. Dr^ª. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro

(IFPA – Co-Orientadora)

Prof^ª. Dr^ª. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele

(IFPA)

Prof^ª. Dr^ª. Alessandra dos Santos Lopes

(FEA/ITEC/UFPA)

DEDICATÓRIA

Dedico a todas as pessoas que me apoiaram na conclusão deste trabalho e que me deram força durante essa caminhada de muito aprendizado, esforço e persistência, aquelas pessoas que ficaram ao meu lado nos momentos mais difíceis. Sendo assim, dedico aos meus pais, irmã, namorado, amigos e a Deus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque merece agradecimentos todos os dias.

Aos meus pais, Assis e Rita, pois são pessoas maravilhosas que sempre me dão apoio e nunca deixa que eu desista dos meus objetivos.

A minha irmã e sobrinho, Nazareth e Marcelo que com seus sorrisos e alegria deixam os momentos tristes mais alegres.

Ao meu namorado, Geovani, sempre me dando apoio e incentivo, além de muito carinho.

A Universidade Federal do Pará que através do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, possibilitou realizar este curso de pós-graduação e me concedeu valiosos conhecimentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela ajuda financeira, através de seu programa de bolsas.

A Financiadora e Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

As professoras Lúcia Lourenço (orientadora) e Suezilde Ribeiro (co-orientadora) que tiveram papéis fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos do LAPESCA, que me ajudaram e estiveram comigo durante o mestrado, me proporcionando momentos muito felizes, Fernandinho, Mila, Allena, Natácia, Bruna, Thiago, Isaías, Hugo, Isabelle, Priscila, Bruninho, Wanessa, Bruno, Luã, Michele e Luciana.

Aos meus colegas e amigos do LAFAMI, onde acolheu a turma do LAPESCA no momento mais difícil, devido o incêndio que ocorreu no laboratório, Prof^a Alessandra, Prof^o Rosinelson, Claudia, Mayara, Brenda, Silvana, Diego, Flávia, Priscila, Joyce, Gisele e Renan o meu muito obrigado, pois proporcionaram momento de descontração e fazer amigos de verdade.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contagens de micro-organismos durante o armazenamento do <i>sous vide</i> (a) Bactérias mesófilas; (b) Bactérias psicotróficas; (c) Bactérias lácticas (d) Bolores e leveduras.....	63
Figura 2. (a) Variação da aw durante o armazenamento do <i>sous vide</i> ; (b) Variação do pH durante o armazenamento do <i>sous vide</i> ; (c) Variação do BVT durante o armazenamento do <i>sous vide</i>	68
Figura 3. (a) Variação do TBA durante o armazenamento do <i>sous vide</i> ; (b) Variação da textura durante o armazenamento do <i>sous vide</i>	70
Figura 4. Variação dos parâmetros de cor durante o armazenamento a 1°C, 4° C e 10° C do <i>sous vide</i> de tambaqui: (a) L*; (b) a*; (c) b*; (d) Cromo; (e) h; (f) ΔE	72

INDICE DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização biométrica dos tabaquis do cultivo Cacoal-PA.....	35
Tabela 2. Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) para as características biométricas: largura, comprimento, largura da cabeça, espessura e peso do tabaqui.	36
Tabela 3. Análises microbiológicas realizadas no tabaqui e <i>sous vide</i> .	37
Tabela 4. Composição centesimal do tabaqui <i>in natura</i> e <i>sous vide</i>	39
Tabela 5. Análises físico-químicas e propriedades funcionais realizadas no tabaqui <i>in natura</i> e <i>sous vide</i> .	40
Tabela 6. Perfil de ácidos graxos do tabaqui <i>in natura</i> e do <i>sous vide</i> de tabaqui em %.....	44
Tabela 7. Concentrações de minerais em tabaqui <i>in natura</i> e <i>sous vide</i> de tabaqui	48
Tabela 8. Parâmetros cinéticos de zero para as mudanças físico-químicas nos <i>sous vide</i> de tabaqui em diferentes temperaturas de armazenamento	77
Tabela 9. Parâmetros cinéticos de primeira ordem para as mudanças físico-químicas nos <i>sous vide</i> de tabaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.....	77
Tabela 10. Parâmetros cinéticos de zero para as mudanças microbiológicas nos <i>sous vide</i> de tabaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.	78
Tabela 11. Parâmetros cinéticos de primeira ordem para as mudanças microbiológicas nos <i>sous vide</i> de tabaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.....	78
Tabela 12. Parâmetros cinéticos da equação de Arrhenius ajustados ao modelo de zero ordem para as mudanças físico e físico-químicos nos <i>sous vide</i> de tabaqui.	84
Tabela 13. Parâmetros cinéticos da equação de Arrhenius ajustados ao modelo de primeira ordem para as mudanças físico e físico-químicos nos <i>sous vide</i> de tabaqui.	84
Tabela 14. Parâmetros cinéticos de zero para as mudanças microbiológicas nos <i>sous vide</i> de tabaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.	87
Tabela 15. Parâmetros cinéticos de primeira ordem para as mudanças microbiológicas nos <i>sous vide</i> de tabaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.....	87

SUMÁRIO

INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABELAS	VII
1 INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO I	13
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI: FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE – UMA REVISÃO	13
1 TAMBAQUI (<i>COLOSSOMA MACROPOMUN</i>)	13
2 MÉTODOS COMBINADOS.....	13
3 SOUS VIDE.....	14
3.1 PASTEURIZAÇÃO	15
3.2 EMBALAGEM A VÁCUO	15
3.3 ALTERAÇÕES QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E SENSORIAIS NO <i>SOUS VIDE</i>	16
3.4 ALTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS NO <i>SOUS VIDE</i>	17
4 CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO	18
4.1 MODELO ISOTERMAL	19
4.2. EFEITO DA TEMPERATURA	19
5 REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO II.....	27
<i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI (<i>COLOSSOMA MACROPOMUM</i>): CARACTERIZAÇÃO E PARÂMETROS DE QUALIDADE	27
RESUMO.....	27
<i>SOUS VIDE</i> OF THE TAMBAQUI (<i>COLOSSOMA MACROPOMUM</i>): CHARACTERIZATION AND QUALITY PARAMETERS.....	28
ABSTRACT	28
1 INTRODUÇÃO	29
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	30
2.2 CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DOS PEIXES	31
2.3 PROCESSO DE FILETAGEM	31
2.4 ELABORAÇÃO DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	31
2.5 CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	32

2.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i>	32
2.7 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR ENERGÉTICO TOTAL DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	33
2.8 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	33
2.8.1 pH.....	34
2.8.2 Bases Nitrogenadas Voláteis Totais (BNVT)	34
2.8.3 Determinação do índice de ácido tiobarbitúrico (TBA).....	34
2.8.4 Análise de cloretos	34
2.9 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	34
2.10 COMPOSIÇÃO DE MINERAIS DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA.....	35
3.2 CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA.....	37
3.3 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR ENERGÉTICO TOTAL	38
3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI .	39
3.5 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	42
3.6 COMPOSIÇÃO DE MINERAIS DO TAMBAQUI <i>IN NATURA</i> E DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	45
4 CONCLUSÃO.....	48
5 REFERÊNCIAS	49
CAPÍTULO III	55
MODELAGEM CINÉTICA DAS MUDANÇAS NA QUALIDADE DE <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI DURANTE O ARMAZENAMENTO.....	55
RESUMO.....	55
KINETIC MODELING OF THE CHANGES IN THE QUALITY OF <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI DURING STORAGE	56
ABSTRACT	56
1 INTRODUÇÃO	57
2 MATERIAL E MÉTODOS	58

2.1 ELABORAÇÃO DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI	58
2.2 CONTAGENS DE MICRO-ORGANISMOS.....	58
2.3 COR INSTRUMENTAL.....	58
2.4 ANÁLISE DA TEXTURA.....	59
2.5 DETERMINAÇÃO DO PH	59
2.6 BASES NITROGENADAS VOLÁTEIS TOTAIS (N-BVT).....	59
2.7 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁCIDO TIOBARBITÚRICO (TBA)	59
2.8 ESTABELECIMENTO DE MODELOS PREDITIVOS DE QUALIDADE - CÁLCULOS DOS PARÂMETROS CINÉTICOS	59
2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	61
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.1 MUDANÇAS NAS CONTAGENS DE MICRO-ORGANISMOS NOS <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO	62
3.2 MUDANÇAS NA QUALIDADE QUANTO AOS PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO	66
3.3 PARÂMETROS CINÉTICOS DO <i>SOUS VIDE</i> DE TAMBAQUI EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO	74
4 CONCLUSÃO.....	89
5 REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

Os produtos a base de pescado tem atraído atenção dos consumidores principalmente por seus componentes nutricionais que contribuem para a saúde e nutrição humana. No entanto, a vida-útil limitada dos produtos a base de pescado refrigerado é o principal problema para assegurar a qualidade e a viabilidade comercial (PAIK et al., 2006; THEOFANIA, TAOUKIS, 2010).

Dentre as alternativas de novos produtos que podem atender requisitos indispensáveis para assegurar a qualidade, está a técnica *sous vide*, um processo que consiste em promover o vácuo e combiná-lo à cocção controlada resultando em um produto pronto, de consumo imediato, ou resfriado/congelado, para consumo posterior (USFDA 2005).

A técnica *sous vide* consiste na aplicação de tratamento térmico (pasteurização) em alimentos (pescados, carnes) previamente embalados a vácuo, que podem ser armazenados em temperaturas de refrigeração ou congelamento. Estes produtos oferecem excelente qualidade para o consumidor e mantêm as características dos alimentos frescos. Entre as vantagens associadas ao *sous vide* pode-se enumerar: perfil de sabor superior ao cozimento convencional, melhor retenção da cor, redução de perdas de nutrientes e aumento da vida útil do produto (PAIK et al., 2006; VAUDAGNA et al., 2008; DÍAZ, GARRIDO, BAÑÓN, 2011).

A utilização da pasteurização reduz danos nas proteínas e lipídios causados pelo calor, favorecendo a gelatinização do colágeno e diminuindo perdas de umidade, compostos aromatizantes e nutrientes sensíveis ao calor (DÍAZ; GARRIDO; BAÑÓN, 2011). No entanto, a temperatura de pasteurização pode não ser suficiente para garantir a segurança do produto armazenado sobre refrigeração por longos períodos (ROCA; BRUGUES, 2004).

A modelagem da cinética de degradação dos componentes alimentares e das perdas dos nutrientes durante o armazenamento sob condição isotermal tem sido alvo de muitas pesquisas. Estes estudos são decisivos, uma vez que o conhecimento dos parâmetros cinéticos permitirá a predição da vida-útil dos produtos relacionada com a qualidade final (BINEESH, SINGHAL, PANDIT, 2005; GONÇALVES et al., 2009; GONÇALVES et al., 2011). Várias pesquisas têm sido realizadas utilizando equações matemáticas aplicadas para descrever a cinética de organismos causadores de

deterioração em vários alimentos (TSIRONI, TAOUKIS, 2010; GONÇALVES et al., 2011; ZHANG et al., 2011; OLIVERA, SALVADORI, 2012).

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi elaborar *sous vide* de tambaqui, estudar as características nutricionais, físicas, microbiológicas e propriedades funcionais e a cinética de degradação durante armazenamento sob-refrigeração.

O trabalho apresenta a seguinte estrutura:

- CAPÍTULO I: Cinética de degradação do *sous vide* de tambaqui (*Colossoma macropomum*): fatores que influenciam na qualidade – uma revisão
- CAPÍTULO II: *Sous vide* de tambaqui: caracterização e parâmetros de qualidade
- CAPÍTULO III: Modelagem cinética das mudanças na qualidade de *sous vide* de tambaqui durante o armazenamento

CAPÍTULO I

Cinética de degradação do *sous vide* de tambaqui: fatores que influenciam na qualidade – uma revisão

1 TAMBAQUI (*Colossoma macropomun*)

A aquicultura é um dos sistemas de produção de alimentos que mais cresce no mundo, sendo uma alternativa à pesca, diminuindo os impactos da exploração sobre os estoques naturais de peixes. A piscicultura de água doce, subtipo da aquicultura, é a atividade que vem se mostrando mais promissora e visa promover o cultivo de peixes em cativeiro, exercendo controle sobre seu crescimento e reprodução, oferecendo, assim, ao mercado consumidor, proteína animal com qualidade (FERNANDES, DORIA, MENEZES, 2010; CARTONILHO, JESUS, 2011).

O tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, Characidae, Serrasalminae) é uma das espécies em destaque no cultivo, originário do Rio Amazonas, está adaptado às condições da região e aos ambientes de cultivo, aceita rações artificiais e possui índices desejáveis de crescimento e conversão alimentar. Na Região Norte, desponta como a principal espécie de peixe cultivada e apresenta boas qualidades zootécnicas incluindo o hábito gregário, resistência a baixos níveis de oxigênio dissolvido, elevada eficiência na conversão de proteína da dieta, além da adaptação ao confinamento e arraçoamento, enquadrando-se entre os 88% dos peixes explorados em piscicultura que apresenta hábito alimentar onívoro e/ou herbívoro (MOLINA-FILHO et al., 2006; FERNANDES, DORIA, MENEZES, 2010; CARTONILHO, JESUS, 2011; INOUE et al., 2011).

2 MÉTODOS COMBINADOS

A preservação de alimentos por métodos combinados consiste na utilização adequada de vários parâmetros de barreira, como redução na atividade de água, decréscimo no pH, adição simples ou combinada de agentes antimicrobianos e moderado tratamento térmico que permitem a obtenção de alimentos estáveis à temperatura ambiente e com baixo custo de produção. A base tecnológica dos métodos combinados é a exposição simultânea das células microbianas vegetativas a vários fatores, de modo que o conteúdo de energia consumido nos processos homeostáticos seja elevado e as células microbianas não tenham energia suficiente para o crescimento

e reprodução. O processo é relativamente simples, sendo uma alternativa técnica à refrigeração, congelamento, desidratação e outros procedimentos de alto investimento (MESQUITA et al., 2003; BEZERRA et AL., 2006; CORREIA, FARAONI, PINHEIRO-SANT'ANA, 2008).

3 SOUS VIDE

A técnica *sous vide* consiste em submeter alimentos, embalados a vácuo, a um tratamento térmico (pasteurização) sob condições controladas de tempo e temperatura. Envolve temperaturas de pasteurização/cocção entre 65° a 95°C aplicadas por um determinado tempo, seguido de um rápido resfriamento (CONSANSU et al., 2011; DÍAZ, GARRIDO, BAÑÓN, 2011). Esses produtos devem ser mantidos em refrigeração, e (sobre estas condições) podendo ser armazenados por 3 a 5 semanas antes do reaquecimento e consumo (SZERMAN et al., 2007), sendo considerada um método combinado.

Baldwin (2012) assinalou que o método de cocção do *sous vide* difere do método tradicional por duas formas fundamentais: 1) o alimento cru é selado a vácuo e estabilizado termicamente em embalagens plásticas e; 2) os alimentos são cozidos usando temperaturas controladas. Essa técnica diminui a probabilidade de haver uma pós-contaminação, pois o tratamento térmico é realizado com os alimentos embalados em embalagens plásticas hermeticamente seladas. A pasteurização é um tratamento térmico que utiliza temperaturas mais baixas preservando o flavor, textura e qualidade nutricional dos alimentos ao contrário do uso da cocção convencional com aplicação de altas temperaturas que diminui a qualidade sensorial dos produtos, pois a maioria dos componentes dos alimentos se degrada (GALIMPIN-JOHAN et al., 2007; GONZALEZ et al., 2007; SHAKILA et al., 2009).

A utilização da embalagem a vácuo e pasteurização na elaboração do *sous vide* são responsáveis pela manutenção da qualidade sensorial, estabilidade físico-química e microbiológica durante o armazenamento (CONSANSU et al., 2011). A temperatura de pasteurização usada na técnica *sous vide* pode reduzir perdas de líquidos, proteínas, lipídios, compostos aromáticos e nutrientes que são sensíveis ao calor e ao mesmo tempo melhorar a textura quando comparado com a cocção convencional, além de retardar o aparecimento de odores e sabores indesejáveis durante armazenamento e preservando a qualidade microbiológica por longos períodos (DÍAZ et al., 2008; DIAZ et al., 2009; SEBASTIÁ et al., 2010).

3.1 PASTEURIZAÇÃO

O controle preciso da temperatura apresenta melhores resultados quando combinado com a embalagem a vácuo, pois permite uma reprodutibilidade quase perfeita, além de um maior controle sobre o cozimento do que os métodos tradicionais, os alimentos podem ser pasteurizados e mantidos seguros a baixas temperaturas (MYHRVOLD, YOUNG, BILET, 2011; BALDWIN, 2012).

O tratamento térmico é um dos métodos mais comuns para se conseguir alimentos de conveniência seguros com uma vida útil prolongada, porém a qualidade nutricional do peixe é severamente diminuída se o processo térmico é projetado para uma vida útil de mais de 21 dias em condições refrigeradas. A concepção de um processo térmico para este tipo de produto é um desafio, pois a carga de calor necessária para a inativação de micro-organismos e enzimas pode causar alterações indesejáveis, tais como, estrutura seca e descamação. O tempo de cozimento reduzido a uma temperatura inferior melhora a qualidade sensorial dos produtos a base de peixe, mas pode reduzir a vida útil. Algumas bactérias podem se adaptar a condições sub-letais mesmo na presença de obstáculos adicionais, o que deve ser levado em conta na concepção da segurança ou na vida útil estendida em produtos (RODRIGUEZ et al., 2008; SKIPNES et al., 2008; ROSNES, SKÅRA, SKIPNES, 2011)

3.2 EMBALAGEM A VÁCUO

O uso de embalagem a vácuo no processamento *sous vide* previne a degradação, a oxidação e reduz a perda de água no produto, melhorando as propriedades sensoriais, elimina o risco de recontaminação durante o armazenamento e reduz o crescimento de bactérias aeróbias, portanto, aumentando o período de vida útil (GALIMPIN-JOHAN et al., 2007; BALDWIN, 2012).

Produtos com pressão parcial de oxigênio inferior a 1% inibe o crescimento de micro-organismos aeróbios deteriorados, particularmente *Pseudomonas* spp. e *Aeromonas* spp. Masniyom (2011) relatou que contagem de bactérias psicrotóxicas e mesófilas foram reduzidas em truta arco-íris embaladas sob vácuo, comparados com a embalagem em atmosfera normal.

As condições anaeróbicas da embalagem a vácuo podem afetar a qualidade dos produtos, pois, muitos estudos têm revelado uma mudança na microflora remanescente na embalagem a vácuo de produtos a base de peixe embalados a vácuo comparado com que prevalecia antes da estocagem. Essas mudanças microbiológicas podem resultar em

algumas modificações nas propriedades sensoriais e afetar o valor nutricional e a composição química dos produtos (SUMMO, CAPONIO, PASQUALONE, 2006).

3.3 ALTERAÇÕES QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E SENSORIAIS NO *SOUS VIDE*

Dentre as alterações post-mortem dos pescados que afetam diretamente a qualidade e a vida útil do *sous vide* tem-se: degradação de proteínas, degradação de ATP, queda do pH, oxidação lipídica, produção de compostos indesejáveis como trimetilamina (N-TMA) e bases voláteis de baixo peso molecular (N-BVT) que são produzidas pela ação de bactérias. Da mesma forma, o músculo do peixe pode experimentar alterações na textura, capacidade de retenção de água e cor (OCANO-HIGUERA et al., 2006; LI et al., 2011).

Com a deterioração em *sous vide* de peixe, pode ocorrer o desenvolvimento de odor e sabor desagradáveis ocasionada pela rancidez, formação de trimetilamina (N-TMA) e bases voláteis totais (N-BVT) durante o armazenamento sob refrigeração (SALLAM et al., 2007).

N-BVT é comumente considerado um indicador da deterioração do pescado e de seus produtos, muitos estudos têm correlacionado o seu aparecimento com o tempo de armazenamento (BAIXAS-NOGUERAS et al., 2009; CAN, 2011; MOL, OZTURAN E CONSANSU, 2012). A trimetilamina (N-TMA) é considerada um indicador da qualidade, pois possui alta correlação com as mudanças sensoriais e nas cargas microbianas durante o armazenamento (ORBAN et al., 2011).

Alterações na qualidade de lipídios nos peixes e seus produtos são responsáveis pela deterioração da qualidade durante o armazenamento, especialmente sob condições inapropriadas (MASNIYOM, 2011). Elas envolvem lipólise, oxidação lipídica e a interação dos produtos com compostos não lipídicos como a proteína. Além do elevado teor de ácidos graxos poliinsaturados, a presença de pigmentos heme e íons metálicos nos peixes leva a oxidação dos lipídios (THANONKAEW et al., 2006). Durante os estágios avançados da oxidação lipídica, a quebra de hidroperóxidos gera compostos do grupo carbonila e álcool de baixo peso molecular que pode levar a mudanças na qualidade dos alimentos, que afetam a cor, textura, flavor e odor do produto (MASNIYOM, 2011). O produto resultante das reações entre proteína e oxidação lipídica é a formação de pigmentos amarelos e odor de ranço (THANONKAEW et al., 2006).

O índice do ácido tiobarbitúrico (TBA) é o método mais utilizado para avaliar a oxidação dos lipídios e se baseia na reação de condensação do ácido tiobarbitúrico com os produtos de decomposição dos hidroperóxidos. Um dos principais produtos formados no processo oxidativo é o malonaldeído (MDA). O índice de TBA envolve a reação entre duas moléculas de TBA com uma molécula de MDA produzidas a partir da decomposição de hidroperóxidos para formar um complexo rosa com absorvância máxima a 532 nm (STEVANATO et al., 2007; GANHÃO, ESTÉVEZ, MORCUENDE, 2011).

Principalmente em carnes, pescados e derivados o conhecimento do valor do índice de TBA é relevante. Processos envolvidos na elaboração do produto como moagem, cozimento e mistura favorecem a formação do malonaldeído, sendo fundamental o emprego deste índice para avaliar a qualidade do produto (STEVANATO et al., 2007; FOGAÇA, SANTANA, 2009).

A hidrólise lipídica também pode ocorrer com a ação de enzimas. A maioria das lipólises em peixes e seus produtos armazenados é originada de enzimas endógenas e de micro-organismos, principalmente da fosfolipase e triacil lipases (THANONKAEW et al., 2006).

3.4 ALTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS NO *SOUS VIDE*

O crescimento de micro-organismos aeróbios é reduzido pela embalagem a vácuo, aumentando o tempo de preservação do *sous vide* (DÍAZ, GARRIDO, BAÑÓN, 2011). Produtos armazenados abaixo de 3°C previne o crescimento de *Clostridium botulinum* do tipo E e outros micro-organismos patogênicos resistentes a pasteurização, no entanto, as bactérias patogênicas psicotróficas não-esporulantes como a *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. e *Escherichia coli* O157: H7 podem proliferar nessa temperatura (DÍAZ et al., 2008).

O armazenamento do *sous vide* sob refrigeração pode prevenir também o crescimento de bactérias mesofílicas formadoras de esporos, embora o crescimento possa ser possível se ocorrer abusos de temperaturas. No entanto, este processamento mínimo permite o crescimento de micro-organismos formadores de esporos que crescem na ausência de oxigênio em temperaturas de refrigeração (PECK, STRINGE, 2005).

As bactérias ácido lácticas podem atingir populações efetivas de 10^5 - 10^6 UFC/g e deteriorar um *sous vide* de peixe durante o armazenamento sob refrigeração, além de causar sabor e odor indesejáveis, exsudado viscoso-leitoso e CO_2 , o que pode causar o estufamento da embalagem. E a presença de oxigênio residual dentro da embalagem poderá acarretar o crescimento de bolores e leveduras (CONSANSU et al., 2010; DÍAZ, GARRIDO, BAÑÓN, 2010).

Alguns autores indicam que a vida útil do *sous vide* apresenta estabilidade de 4 a 9 semanas, dependendo da matéria-prima, composição química (pH, aw, conservantes), embalagem, cocção e condições de armazenamento (temperatura, tempo, sistema de embalagem, luz e antimicrobianos) e também pela sua estrutura física por apresentar um ambiente heterogêneo (GONZALEZ et al., 2005; DIAZ et al., 2008; THEYS et al., 2008).

Para a indústria alimentícia é importante compreender os mecanismos de deterioração que limitam a vida útil do *sous vide* e vários estudos científicos têm abordado a deterioração de *sous vide* a base de peixe durante o armazenamento (SEBASTIÁ et al., 2010; DÍAZ, GARRIDO, BAÑÓN, 2011; PICOUET et al., 2011; MOL, OZTURAN, COSANSU, 2012).

4 CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO

A perda do valor nutricional dos alimentos despertou um crescente interesse na comunidade científica em quantificar a deterioração da qualidade dos alimentos durante o processamento e armazenamento (BARAT et al., 2008). Portanto, é importante conhecer as velocidades das reações químicas e bioquímicas que afetam o produto durante o processamento e armazenamento, que apesar de serem muito complexas, é mais fácil analisá-las utilizando modelos matemáticos baseados em leis químicas. Por essa razão os estudos cinéticos são necessários para desenvolver modelos matemáticos apropriados a fim de predizer o efeito do tempo, temperatura, atividade de água, e outros fatores sobre as mudanças que ocorrem em um alimento durante o processamento e armazenamento (TIBURCIO et al., 2007; OCAÑO-HIGUERA et al., 2009; OLIVERA, SALVADORI, 2012).

O modelo clássico de Arrhenius é comumente usado para descrever as relações entre temperaturas e velocidade das reações nos sistemas biológicos e de alimentos. É particularmente adequado para sistemas com uma ampla gama de temperaturas sem

grandes mudanças dos mecanismos que determinam a constante de velocidade cinética (KONG et al., 2007).

4.1 MODELO ISOTERMAL

Quando a temperatura de estocagem é constante (condição isotermal) as ordens cinéticas (zero, primeira e segunda ordem) podem ser facilmente integradas obtendo funções decrescentes com valores estimados de constante de velocidade (k) (DEROSSI, PILLI, FIORE, 2010). Uma vez que os valores de k são estimados, a equação de Arrhenius é tradicionalmente usada para descrever a dependência da temperatura, dos valores de k e estimar a energia de ativação da reação. Um grande número de dados experimentais suporta este método para prever a vida útil dos produtos (GARCIA-GARCIA, LOPEZ-LOPEZ, GARRIDO-FERNANDEZ, 2008).

Geralmente, mudanças na qualidade do fator “C” sobre condição isotermal podem ser representadas pela equação 1 (WANG et al., 2004):

$$\frac{dC}{dt} = -k(C)^n \quad (1)$$

Onde k é a constante de velocidade, C é o indicador quantitativo do atributo de qualidade pelo tempo, e n é a ordem da reação. Para condição isotermal (temperatura constante), ambos os lados da equação podem ser integrados analiticamente para produzir uma função decrescente (CORRADINI, PELEG, 2006). A forma integrada para zero, primeira e segunda ordem do modelo cinético é listada nas equações 2, 3 e 4 (KONG et al., 2007).

$$\text{Zero ordem: } C_t = C_0 - k.t \quad (2)$$

$$\text{Primeira ordem: } \ln \frac{C_t}{C_0} = -k.t \quad (3)$$

$$\text{Segunda ordem: } kt = \frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_0} \quad (4)$$

4.2. EFEITO DA TEMPERATURA

A dependência da constante da taxa de degradação com o aumento da temperatura pode ser representada pela relação de Arrhenius, equação 5:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

Onde k é a constante de velocidade a temperatura T (K), k_{ref} é a constante de velocidade na temperatura de referência T_{ref} , que é a média das temperaturas de estocagem, E_a é a energia de ativação (kJ/mol) e R é a constante universal dos gases (8.314 J/mol/K) (GONÇALVES et al., 2007).

Um modelo global que inclui o efeito da temperatura pode ser obtido pela fusão das equações 2 ou 3 com a equação 5, dando assim (equação 6 e 7) (GONÇALVES et al., 2011):

$$C = C_0 - \left(k_{ref} \exp \left(-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) t \right) \quad \text{Ordem zero} \quad (6)$$

ou

$$C = C_0 \exp \left(-k_{ref} \exp \left(-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) t \right) \quad \text{Primeira ordem} \quad (7)$$

Outro parâmetro frequentemente calculado é o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) (equação 8), que representa a sensibilidade de uma reação com a mudança de temperatura e estima o quanto as mudanças de qualidade são aceleradas pelo aumento de 10°C na temperatura de estocagem definido como (BOEKEL, 2008; OLIVERA, SALVADORI, 2012):

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (8)$$

5 REFERÊNCIAS

BAIXAS-NOGUERAS, S.; BOVER-CID, S.; VECIANA-NOGUES, M. T.; VIDAL-CAROU, M. C. Effect of gutting on microbial loads, sensory properties, and volatile and biogenic amine contents of European hake (*Merluccius merluccius* var. *Mediterraneus*) stored in ice. **Journal of Food Protection**, v. 72, p. 1671–1676. 2009.

BARAT, J.M.; GIL, L.; GARCIA-BREIJO, E.; ARISTOY, M.C.; TOLDRA, F., MARTINEZ-MANEZ, R.; SOTO, J. Freshness monitoring of sea bream (*Sparus aurata*) with a potentiometric sensor. **Food Chemistry**, v. 108, p. 681 – 688. 2008.

BEZERRA, G.A.S.; MAIA, G.A.; FIGUEIREDO, R.W.; SOUZA FILHO, M.S.M.; SOUSA, P.H.M. Influência da adição da sacarose na estabilidade da polpa de bacuri conservada por métodos combinados. **Revista Ciência Agrotécnica**, v. 30, p. 715-723. 2006.

BINEESH, N.P.; SINGHAL, R.S.; PANDIT, A.B. A study on degradation kinetics of ascorbic acid in drumstick (*Moringa olifera*) leaves during cooking. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p.1953–1958. 2005.

BOEKEL, C.V. Kinetic modeling of food quality: a critical review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 7, p. 144 – 158. 2008.

CAN, O.P. Evaluation of the Microbiological, Chemical and Sensory Quality of Carp Processed by the Sous Vide Method. **Engineering and Technology**, v. 80, p. 1225 – 1230. 2011.

CARTONILHO, M.M.; JESUS, R.S. Qualidade de cortes congelados de tambaqui cultivado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.4, p.344-350. 2011.

CORREIA, L.F.M; FARAONI, A.S.; PINHEIRO-SANT'ANA, H.M. Efeitos do Processamento Industrial de Alimentos sobre a Estabilidade de Vitaminas. **Revista Alimentos e Nutrição**, v.19, n.1, p. 83-95. 2008.

COSANSU, S.; MOL, S.; ALAKAVUK, D.U.; OZTURAN, S. The effect of lemon juice on bonito (*Sarda sarda*, Bloch, 1793) preserved by sous vide packaging. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 395 – 401. 2011.

DEROSSO, A.; PILLI, T.; FIORE, A.G. Vitamin C kinetic degradation of strawberry juice stored under non-isothermal conditions. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 590 – 595. 2010.

DIAZ, P.; NIETO, G.; GARRIDO, M.D.; BANON, S. Microbial, physical–chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method. **Meat Science**, v. 80, p. 287–292. 2008.

DIAZ, P.; NIETO, G.; GARRIDO, M.D.; BANON, S. Determination of shelf life of sous vide salmon (*Salmo Salard*) based on sensory attributes. **Journal of Food Science**, v. 74, p. 287- 292. 2009.

DÍAZ, P.; GARRIDO, M.D.; BAÑÓN, S. The effects of packaging method (vacuum pouch vs. plastic tray) on spoilage in a cook-chill pork-based dish kept under refrigeration. **Meat Science**, v. 84, p. 538–544. 2010.

DÍAZ, P.; GARRIDO, M.D.; BAÑÓN, S. Spoilage of *sous vide* cooked salmon (*Salmo salar*) stored under refrigeration. **Food Science and Technology International**, v. 17, p. 31 – 37. 2011.

FERNANDES, T.R.C.; DORIA, C.R.C.; MENEZES, J.T.B. Características de carcaça e parâmetros de desempenho do tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) em diferentes tempos de cultivo e alimentado com rações comerciais. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.36, p. 45 – 52. 2010.

FOGAÇA, F.H.S.; SANT'ANA, L.S. Oxidação lipídica em peixes: mecanismo de ação e prevenção. **Archives of Veterinary Science**, v.14, p.117-127. 2009.

GALIMPIN-JOHAN, S.M.C.; RAHMAN, R.A.; JAMILAH, B.; MAN, Y.B.C.; RUSUL, G. Pasteurization, development and storage of sous vide rending(spicy beef stew). **Journal of Food service**, v. 18, p. 251–263. 2007.

GANHÃO, R.; ESTÉVEZ, M.; MORCUENDE, D. Suitability of the TBA method for assessing lipid oxidation in a meat system with added phenolic-rich materials. **Food Chemistry**, v. 126, p. 772–778. 2011.

GARCIA-GARCIA, P.; LOPEZ-LOPEZ, A.; GARRIDO-FERNANDEZ, A. Study of the shelf life of ripe olives using an accelerated test approach. **Journal of Food Engineering**, v.84, p. 569 – 575. 2008.

GONÇALVES, E.M.; PINHEIRO, J.; ABREU, A.; BRANDAO, T.R.S.; SILVA, C.L.M. Modeling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima L.*) during blanching. **Journal of Food Engineering**, v. 81, p. 693 – 701. 2007.

GONÇALVES, E.M.; CRUZ, R.M.S.; BRANDÃO, T.R.S.; SILVA, C.L.M. Biochemical and colour changes of watercress (*Nasturtium officinale*) during freezing and frozen storage. **Journal of Food Engineering**, v. 93, p. 32–39. 2009.

GONCALVES, E.M.; ABREU, M.; BRANDAO, T.R.S.; SILVA, C.L.M. Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea L. ssp. Italica*) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. **International Journal of Refrigeration**, v. 34, p. 2136 – 2144. 2011.

GONÇALVES, E.M.;PINHEIRO, J.; ABREU, M.;BRANDÃO, T.R.S.;SILVA, C.L.M. Kinetics of quality changes of pumpkin (*Curcubita maxima L.*) stored under isothermal and non-isothermal frozen conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 106, p. 40–47. 2011.

GONZALEZ, E.; VILLARINO, A.; GARCIA, M.C.; GARCIA, M.T.; GARCIA, M.C. Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the sous vide method. **Food Control**, v. 16, p. 77 – 85. 2005.

KONG, F.A.; TANG, J.A.; RASCO, B.B.; CRAPO, C. Kinetics of salmon quality changes during thermal processing. **Journal of Food Engineering**, v. 83, p. 510 – 520. 2007.

INOUE, L.A.K.A.; BOJINK, C.L.; RIBEIRO, P.T.; SILVA, A.M.D.; AFFONSO, E.G. Avaliação de respostas metabólicas do tambaqui exposto ao eugenol em banhos anestésicos. **Acta Amazonica**, v. 41, p.327 – 332. 2011.

LAMPRELL, H.; MAZEROLLES, G.; KODJO, A.; CHAMBA, J.F.; NOE, Y.; BEUVIER, E. Discrimination of *Staphylococcus aureus* strains from different species of *Staphylococcus* using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. **International Journal of Food Microbiology**, v. 108, p. 125 – 129. 2006.

LI, X.; LI, J.; ZHU, J.; WANG, Y.; FU, L.; XUAN, W. Postmortem changes in yellow grouper (*Epinephelus awoara*) fillets stored under vacuum packaging at 0 °C. **Food Chemistry**, v. 126, p. 896 – 901. 2011.

MASNIYOM, P. Deterioration and shelf-life extension of fish and fishery products by modified atmosphere packaging. **Songklanakarin Journal Science Technology**, v. 33, p. 181-192. 2011.

MCMEEKIN, T.A.; BARANYI, J.; BOWMAN, J.; DALGAARD, P.; KIRK, M.; ROSS, T.; SCHMID, S.; ZWIETERING, M.H. Information systems in food safety management. **International Journal Food Microbiology**, v. 112, p.181–194. 2006.

MESQUITA,P.C.; MAIA,G.A.; SOUZA FILHO, M.S.M.; NASSU,R.T. Estabilidade microbiológica, físico-química e sensorial de pedúnculos de caju (*Anacardium occidentale* L.) processados por métodos combinados. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p. 363-369. 2003.

MYHRVOLD, N.; YOUNG, C.; BILET, M. **Modernist Cuisine: The Art and Science of Cooking**. The Cooking Lab. 2011.

MOL, S.; OZTURAN, S.; COSANSU, S. Determination of the quality and shelf life of sous vide packaged whiting (*Merlangius merlangus euxinus*, Nordman, 1840) stored at cold (4°C) and temperature abuse (12°C). **Journal of Food Processing and Preservation.**, ISSN 1745-4549, p. 1-7. 2012.

MOLINA-FILHO, L.; PEDRO, M.A.M.; JELIS-ROMERO, J.; BARBOZA, S.H.R. Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p.453-458. 2006.

NYCHAS, G.J.E.; SKANDAMIS, P.N.; TASSOU, C.C.; KOUTSOUMANIS, K.P. Meat spoilage during distribution. **Meat Science**, v. 78, p.77–89, 2008.

OCANO-HIGUERA, V. M.; MAEDA-MARTÍNEZ, A. N.; LUGO-SÁNCHEZ, M. E.; PACHECO-AGUILAR, R. Postmortem biochemical and textural changes in the adductor muscle of catarina scallop stored at 0 °C. **Journal of Food Biochemistry**, v. 30, p. 373–389, 2006.

OCAÑO-HIGUERA, V.M.; MARQUEZ-RÍOS, E.; CANIZALES-DÁVILA, M., CASTILLO-YÁÑEZ, F.J.; PACHECO-AGUILAR, R.; LUGO-SÁNCHEZ, M.E.; GARCÍA-OROZCO, K.D.; GRACIANO-VERDUGO, A.Z. Postmortem changes in cazon fish muscle stored on ice. **Food Chemistry**, v. 116, p. 933 – 938. 2009.

OLIVERA, D.F.; SALVADORI, V.O. Kinetic modeling of quality changes of chilled ready to serve lasagna. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 487 – 492. 2012.

ORBAN, E.; NEVIGATO, T.; DI LENA, G.; MASCI, M.; CASINI, I.; CAPRONI, R.; RAMPACCI, M. Total volatile basic nitrogen and trimethylamine nitrogen levels during ice storage of European hake (*Merluccius merluccius*): A seasonal and size differentiation. **Food Chemistry**, v. 128, p. 679–682. 2011.

PAIK, H.D.; KIM, H.J.; NAMB, K.F.; KIM, A.J; LEE, S.E.; LEE. D.S. Effect of nisin on the storage of *sous vide* processed Korean seasoned beef. **Food Control**, v. 17, p. 994 – 1000. 2006.

PECK, M.W.; STRINGER, S.C. The safety of pasteurised in-pack chilled meat products with respect to the food borne botulism hazard. **Meat Science**, v. 70, p. 461 – 475. 2005.

PICOUET, P.A.; COFAN-CARBO, S.; VILASECA, H.; BALLBÈ, L.C.; CASTELLS, P. Stability of sous-vide cooked salmon loins processed by high pressure. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.12, p. 26–31. 2011.

ROCA, J.; BRUGUES, S. **La cocina al vacío**. Barcelona: Montagud Editores, S.A, p. 1 – 189. 2004.

RODRIGUEZ, A.; CARRILES, N.; CRUZ, J.M.; AUBOURG, S.P. Changes in the flesh of cooked farmed salmon (*Oncorhynchus kisutch*) with previous storage in slurry ice (-1.5 °C). **Food Science and Technology**, v. 41, 1726-1732. 2008.

ROSNES, J.T.; SKÅRA, T.; SKIPNES, D. Recent advances in minimal heat processing of fish: effects on microbiological activity and safety. **Food Bioprocess Technology**, v. 4, p.833–848. 2011.

SALLAM, K.H.I.; AHMED, A.M.; ELGAZZAR, M.M.; ELDALY, E.A. Chemical quality and sensory attributes of marinated Pacific saury (*Cololabis saira*) during vacuum-packaged storage at 4 °C. **Food Chemistry**, v. 102, p. 1061 – 1070, 2007.

SEBASTIÁ, C.; SORIANO, J.M.; IRANZO, M.; RICO, H. Microbiological quality of sous vide cook–chill preserved food at different shelf life. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34, p. 964 – 974. 2010.

SHAKILA, R.J.; JEYASEKARAN, G.; VIJAYAKUMAR, A.; SUKUMAR,D. Microbiological quality of sous-vide cook chill fish cakes during chilled storage. **International Journal Food Science Technology**, v. 44, p. 2120–2126. 2009.

SKIPNES, D.; VAN DER PLANCKEN, I.; VAN LOEY, A.; HENDRICKX,M. Kinetics of heat denaturation of proteins from farmed Atlantic cod (*Gadus mohua*). **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 51–58. 2008

STEVANATO, F.B.; SOUZA, N. E.;MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J.V. Aproveitamento de resíduos, valor nutricional e avaliação da degradação de pescado. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 1. 2007.

SUMMO, C.; CAPONIO, F.; PASQUALONE, A. Effect of vacuum-packaging storage on the quality level of ripened sausages. **Meat Science**, v. 74, p. 249-254. 2006.

SZERMAN, N.; GONZALEZ, C.B.; SANCHO, A.M.; GRIGIONI, G.; CARDUZA, F. VAUDAGNA, S.R. Effect of whey protein concentrate and sodium chloride addition plus tumbling procedures on technological parameters, physical properties and visual appearance of sous vide cooked beef. **Meat Science**, v. 76, p. 463 – 473. 2007.

TIBURCIO, P.C.; GALVEZ, F.C.F.; CRUZ, G.; CRUZ, L.J.; GAVINO, V.C. Determination of shelf life of *Spirulina platensis* (MI2) grown in the Philippines. **Journal of Applied Phycology**, v. 19, p. 727 – 731. 2007.

THANONKAEW, A.; BENJAKUL, S.; VISSISSANGUAN ,W.; DECKER, E.A. The effect of metal ions on lipid oxidation, color and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles. **Food Chemistry**, v. 95, p. 591-599. 2006.

THEOFANIA, N.; TAOUKIS, P.S. Modeling Microbial Spoilage and Quality of Gilthead Sea bream Fillets: Combined effect of osmotic pretreatment, modified atmosphere packaging, and nisin on shelf life. **Journal of Food Science**, v. 75, p. 243 – 251. 2010.

THEYS, T.E.; GEERAERD, A.H.; VERHULST, A.; POOT, K.; VAN BREE, I.; DEVLIEGHIERE, F.; MOLDENAERS, P.; WILSON, D.; BROCKLEHURST, T.; VAN IMPE, J.F. Effect of pH, water activity and gel micro-structure, including oxygen profiles and rheological characterization, on the growth kinetics of *Salmonella typhimurium*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 128, p. 67–77. 2008.

TSIRONI, T.N.; TAOUKIS, P.S. Modeling microbial spoilage and quality of gilthead seabream fillets: combined effect of osmotic pretreatment, modified atmosphere packaging, and nisin on shelf life. **Journal Food Science**, v. 75, p. 243-251. 2010.

USFDA, **Food Code Annex 6 Food Processing Criteria**. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~acrobat.fc05-a6.pdf>, acessado em 01 de agosto de 2010. 2005.

VAUDAGNA, S.R.; PAZOS, A.A.; GUIDI, S.M.; SANCHEZ, G.; CARP, D.J.; GONZALEZ, C.B. Effect of salt addition on *sous vide* cooked whole beef muscles from Argentina. **Meat Science**, v. 79, p. 470–482. 2008.

WANG, Y.; LAU, M.H.; TANG, J.; MAO, R. Kinetics of chemical marker M-1 formation in whey protein gels for developing sterilization processes based on dielectric heating. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 111–118. 2004.

ZHANG, L.; LI, X.; LU, W.; SHEN, H.; LUO, Y. Quality predictive models of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) at different temperatures during storage. **Food Control**, v. 22, p. 1197-1202. 2011.

CAPÍTULO II

***Sous vide* de tambaqui (*Colossoma macropomum*): caracterização e parâmetros de qualidade**

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar as características físicas, físico-químicas, microbiológicas e propriedades funcionais do tambaqui (*Colossoma macropomun*) cultivado *in natura* e do *sous vide* de tambaqui. O rendimento dos filés tambaquis foi de 25,13% e apresentaram alto valor nutricional e reduzido valor calórico. Os resultados de coliformes a 45°C, *Salmonella* sp. e *Staphylococcus aureus* para tambaqui *in natura* e *sous vide* de tambaqui estavam de acordo com a legislação vigente. As análises de CRA e cloretos, do tambaqui *in natura* apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparados ao *sous vide* de tambaqui devido a adição do molho de manjerição. Os valores de N-BVT e de TBARS no tambaqui *in natura* e no *sous vide* encontravam-se muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação e podem ser classificados como alimentos de excelente qualidade. O pH e a a_w do tambaqui *in natura* e o *sous vide* de tambaqui apresentaram valores de pH de 6,34 e 5,52, e a_w de 0,932 e 0,994, respectivamente. Os parâmetros de cor instrumental L^* e b^* não mostraram diferença significativa entre as amostras ($p > 0,05$), porém os parâmetros a^* , croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h°) diferiram significativamente ($p < 0,05$), observando-se que as amostras de tambaqui apresentaram uma cor mais clara quando foram submetidas a técnica *sous vide*, e as amostras foram identificadas com a cor amarela. Foram encontrados boas proporções de ácidos graxos ômega 3 (ácido linolênico) e ômega 6 (ácido linoléico) nos filés de tambaqui *in natura* e no *sous vide* tambaquis. O tambaqui *in natura* e o *sous vide* apresentaram altas concentrações de cálcio, zinco, magnésio e potássio. Conclui-se, que o *sous vide* de tambaqui é boa fonte de nutrientes, rico de ácidos graxos e minerais essenciais para a saúde humana.

Palavras-chave: Colossoma macropomun, qualidade, minerais, ácidos graxos.

Sous vide of the tambaqui (Colossoma macropomum): characterization and quality parameters

Abstract

The aim of this study was to analyze the physical, physico-chemical, microbiological and functional properties of tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles grown in nature and sous vide tambaqui. The yield of the fillets tambaquis was 25.13% and showed a high nutritional value and low caloric value. The results of coliforms at 45 °C, *Salmonella* sp. and *Staphylococcus aureus* to tambaqui raw and sous vide tambaqui were in accordance with current legislation. Analyses of CRA and chlorides, tambaqui in natura significant difference ($p < 0.05$) when compared to sous vide tambaqui due to addition of the basil sauce. The values of TVB-N and TBARS in tambaqui fresh and sous vide were well below the limits set by law and can be classified as foods of excellent quality pH and aw tambaqui raw and sous vide tambaqui presented pH values of 6.34 and 5.52, and Aw of 0.932 and 0.994, respectively. The instrumental color parameters L * and b * showed no significant difference between samples ($p > 0.05$), but the parameters a *, chroma (C *) and hue angle (h °) differed significantly ($p < 0.05$), noting that tambaqui samples showed a lighter color when submitted to sous vide, and the specimens were identified with the color yellow. Found good proportions of omega 3 fatty acids (linolenic acid) and omega 6 (linoleic acid) in fresh fillets tambaqui and sous vide tambaquis. Tambaqui raw and sous vide showed high concentrations of calcium, zinc, magnesium and potassium. It follows that the sous vide tambaqui is good source of nutrients, rich in fatty acids and minerals essential to human health.

Keywords: Colossoma macropomun, quality, minerals, fatty acids.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da piscicultura na Amazônia e a conquista de novos mercados, particularmente o externo, dependem de sua vinculação ao processo de beneficiamento do pescado, oferecendo produtos que melhor atendam as necessidades e conveniência dos consumidores (GAMA, 2008; CARTONILHO, JESUS, 2011; INOUE et al., 2011).

Com o processamento adequado de espécies a piscicultura torna-se uma alternativa para atender novos nichos de mercado, constituída por consumidores cada vez mais exigentes, quanto à higiene e qualidade do produto, especialmente no que se relaciona ao mercado externo, já que a forma de apresentação dos peixes nativos brasileiros para a comercialização limita o consumo principalmente devido à falta de praticidade e de padronização do produto (BOMBARDELLI et al., 2005).

O tambaqui *Colossoma macropomum* (Characiformes, Serrasalmidae), nativo da Bacia Amazônica, além de ser a espécie que mais tem despertado interesse para a piscicultura por sua capacidade de aproveitar vários tipos de alimentos e também se apresentar como excelente filtrador de plâncton além de possuir um crescimento rápido até aos oito meses, os peixes de cultivo crescem em condições mais estáveis, e não somente pode ter a taxa de crescimento controlada, como também a composição de sua dieta, com isso esses peixes podem ser utilizados na elaboração de produtos (ARBELÁEZ-ROJAS et al., 2002; IZEL; MELO, 2004).

O aprimoramento da piscicultura na região deve ser acompanhado pelo progresso da indústria de beneficiamento, através do emprego de novos equipamentos e processos produtivos para oferecer ao mercado consumidor uma grande variedade de produtos, que agreguem valor à atividade e aumentem o acesso a novos alimentos oriundos do pescado (SUFRAMA, 2003). Um produto com boa apresentação (cortes adequados) e embalagem de qualidade, pode ser alvo de estratégias de “marketing”, para atingir mercados que procuram por alimentos de qualidade e de fácil preparo (GALIMPIN-JOHAN et al., 2007).

Dentre as alternativas de novos produtos que atendam estes requisitos, pode-se empregar a técnica *sous vide*, que consiste em promover o vácuo e combiná-lo à cocção controlada resultando em produto pronto, que pode ter consumo imediato, ou ser resfriado/congelado, para consumo posterior. Este produto apresenta melhores características de cor, sabor, textura e retenção de nutrientes quando comparado com processos de cocção tradicionais, sendo atraente alternativa para o consumo. Inúmeras pesquisas têm sido realizadas e indicam a viabilidade da utilização do processo de *sous*

vide com diferentes tipos de carnes e pescados (VAUDAGNA et al., 2002; GARCÍA-LINARES et al., 2004).

Quando comparado com o método tradicional, *sous vide* possui muitas vantagens; por exemplo, não existe qualquer contaminação pós-processo, pois as etapas do processo como a pasteurização, resfriamento e estocagem são realizadas com o produto dentro da embalagem. Além disso, o tratamento térmico empregado é menos severo e com isso preserva a qualidade nutricional e sensorial do produto (GALIMPIN-JOHAN et al., 2007; FDA, 2009; SHAKILA et al., 2009; MOL, OZTURAN, COSANSU, 2012;).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi elaborar *sous vide* de tambaqui cultivado e estabelecer o valor nutricional e as propriedades funcionais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Foram utilizados 110 kg de peixes da espécie tambaqui (*Colossoma macropomum*) dos tanques de cultivo da Comunidade de Cacoal, no Município de Santa Isabel do Pará. Os tambaquis pertenciam à mesma origem genética, 10 meses de idade e se alimentavam com dois tipos de ração: no primeiro período, com ração do tipo crescimento com teor mais alto de proteína, em seguida com ração do tipo engorda com um teor mais baixo de proteína.

O abate foi realizado por choque térmico onde os peixes, ainda vivos, foram colocados em caixas de isopor e intercalados com camadas de gelo, em seguida transportados ao Laboratório de Alimentos da Universidade Estadual do Pará – UEPA onde foram lavados e sanitizados com uma solução de hipoclorito de sódio a 5ppm por 15 minutos.

Para a elaboração do *sous vide* foi utilizado molho contendo ervas desidratadas nas seguintes proporções: 3% manjericão (*Ocimum basilicum*), 2% orégano (*Origanum vulgare*) e 3% cebola (*Allium caepa*), 16,5% solução de fermentado acético de maçã, 16,5% solução de fermentado acético de arroz, 4% sal e 55% água.

2.2 CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DOS PEIXES

No local de coleta, foram medidos o comprimento e a largura dos peixes, assim como o tamanho das cabeças, para determinar o tamanho médio dos tambaquis inteiros e de seus filés, com a ajuda de paquímetro (Paraná, Eccofer, 150mm) com precisão de 0,05.

Os tambaquis foram pesados individualmente, em balança analítica, marca Toledo com capacidade máxima de 15 kg, e para o cálculo do rendimento dos filés, utilizou-se a equação 1:

$$\eta = \frac{PTF}{PTP} \times 100 \quad (1)$$

Onde: PTF = Peso Total dos Filés; PTP = Peso Total dos Peixes

2.3 PROCESSO DE FILETAGEM

Os utensílios facas, tábuas, bandejas e basquetas utilizados no processo de filetagem foram lavados e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 5ppm por 30 minutos. Em seguida, os tambaquis foram filetados, pesados, embalados a vácuo, utilizando seladora a vácuo (Fastvac, F200, Rio de Janeiro) e embalagem da marca Solupack com as seguintes especificações: permeabilidade ao oxigênio: < 45 cm³/m²/dia; permeabilidade ao vapor d'água: < 10 g/m² e resistência a temperatura: 30 a 100°C (SOLUPACK, 2011). Os filés de tambaqui *in natura* foram armazenados a -22° C até o momento de sua utilização para elaboração dos *sous vide*.

2.4 ELABORAÇÃO DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Para a elaboração do *sous vide* de tambaqui, os utensílios e bancadas foram lavados e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 5ppm por 30 minutos, e em seguida, foi colocada solução de álcool a 70%.

Os filés de tambaqui *in natura* foram descongelados em temperatura de refrigeração (4°C) durante 3 horas, retiradas as espinhas e padronizados em aproximadamente 5 x 7 x 2,5cm da parte lombar dos filés de tambaqui. Porções de 200g foram acondicionadas em embalagens tipo *sous vide* (20 x 25 x 18 cm), marca SOLUPACK, juntamente com 50 g de molho de manjeriço, em uma proporção 1:4 de filé de peixe: molho, e 10 mL de lactato de sódio a 50%.

Após à adição do molho, as amostras foram embaladas a vácuo na embaladora (Fastvac, F200, Rio de Janeiro) e em seguida, os produtos foram pasteurizados em banho-maria (Quimis, Q-350-2, São Paulo), a 65°C durante 12,5 min, contados a partir do momento em que o centro da peça alcançou a temperatura do processo.

Imediatamente após o tratamento térmico, as amostras foram resfriadas em água com gelo até alcançar a temperatura de 0°C, sendo armazenados em temperatura de refrigeração (1°C±1) e analisados logo após sua preparação.

2.5 CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Foram realizadas as análises de *Estafilococcus* coagulase positiva, *Salmonella* e coliformes a 45°C conforme exigido pela legislação vigente (BRASIL, 2001). Além destas, foram realizadas: contagens de coliformes a 35° C, mesófilos, psicotróficos, bolores e leveduras, Clostridium sulfito redutor, todas seguindo a metodologia descrita por Downes e Ito (2001) e análise de *Listeria monocytogenes* realizada de acordo com a metodologia da AOAC (2000).

2.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE*

A aw foi realizada através de leitura direta em termohigrômetro digital (Decagon, Aqualab Séries 3TE 8063, Pullman/USA), com controle interno de temperatura (≈ 25°C).

A avaliação da cor instrumental foi feita em Colorímetro (Minolta, CR 310, Tokyo), obtendo-se parâmetros de L* (luminosidade), a* (intensidade do vermelho) e b* (intensidade do amarelo). Com os dados obtidos foram calculados:

O valor de croma C* de acordo com a equação 2:

$$C * = \sqrt{(a *)^2 + (b *)^2} \quad (2)$$

O valor do ângulo de tonalidade h° de acordo com a equação 3:

$$h^{\circ} = \cos^{-1} \frac{a}{(a^2+b^2)^{1/2}} \quad (3)$$

A diferença total de cor (ΔE^*) de acordo com a equação 4:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Para análise de textura, os filés foram padronizados (2 x 2 x 1,5 cm) e utilizou o Analisador de Textura (Brookfield, QTS, Midleboro) com probe cilíndrico (diâmetro de 38 mm). As condições do teste foram: temperatura ambiente; medida de força em compressão; velocidade de teste: 2,0 mm/s; trigger point: 0,1N; distância: 114 mm; target value: 20N e deformação de 7 mm. O parâmetro avaliado foi firmeza e a análise foi realizada em 6 repetições.

Capacidade de retenção de água

Determinada em triplicata de acordo com a metodologia adaptada de Hamm (1960), cada amostra de 5 g foi posicionada entre dois papéis filtros circulares de 12,5 cm de diâmetro, espessura de 205 µm e gramatura de 80 g/m². Amostras e papéis de filtro foram posicionados entre duas placas quadrangulares de poliuretano e sobre este sistema foi colocado um peso de 8 kg por cinco minutos. A pressão exercida sobre a amostra foi uniforme em toda sua área. Posteriormente a amostra foi pesada e o resultado expresso em porcentagem, de acordo com a equação 5.

$$\text{CRA (\%)} = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

Onde: m_i = massa inicial da amostra; m_f = massa final da amostra

2.7 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR ENERGÉTICO TOTAL DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Foram realizadas as análises de umidade, cinzas, proteína, lipídios que seguiram a metodologia da AOAC (2000), o carboidrato foi determinado por diferença e o valor energético total (VET) foi calculado de acordo com os coeficientes de Atwater, metodologias proposta pela RDC N° 360 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003).

2.8 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

As seguintes análises físico-químicas foram realizadas em triplicata:

2.8.1 pH

Determinado em potenciômetro (Michigan, Hanna Instruments, HI9321), previamente calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7, de acordo com o método 981.12 da AOAC (2000).

2.8.2 Bases Nitrogenadas Voláteis Totais (BNVT)

Realizada de acordo com o método descrito pelo Laboratório Nacional de Referência Animal - LANARA (BRASIL, 1981).

2.8.3 Determinação do índice de ácido tiobarbitúrico (TBA)

Determinado pela metodologia proposta por Vyncke (1970) e os resultados expressos em mg *malonaldeído* (MDA)/ kg.

2.8.4 Análise de cloretos

A determinação de cloretos foi feita através da quantificação de íons Cl⁻, seguindo o método de titulação direta com AgNO₃, utilizando K₂CrO₄ como indicador segundo Método de Mohr (AOAC, 2000).

2.9 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Os lipídios foram extraídos pelo método Bligh-Dyer, e a composição de ácidos graxos foi determinada pela conversão de ácidos graxos em ésteres metílicos (FAMES) com base no método proposto por Rodrigues et al. (2010). A detecção foi realizada por cromatografia gasosa (EUA, Varian, modelo CP 3380) equipado com um detector de ionização de chama e com um CP-Sil coluna capilar 88 (comprimento 60 m, diâmetro interno 0,25 mm, espessura 0,25 mm; Varian Inc., EUA). As condições de operação serão: hélio como gás de arraste com vazão de 0,9 mL / min, um detector FID a 250 ° C, um injetor (split razão de 1:100) a 245 ° C, um volume de injeção de 1 mL. A temperatura programada da coluna foi de 4 min a 80 ° C e um aumento subsequente a 220 ° C a 4 ° C/min. Os picos de ácidos graxos individuais foram identificados por comparação dos tempos de retenção com os de misturas conhecidas de padrão de ácidos graxos (Nu-check-prep, Inc., EUA), executados sob as mesmas condições operacionais. O tempo de retenção e a área de cada pico foram calculados utilizando a Estrela Varian

3.4.1. Software e os resultados expressos em porcentagem relativa do total de ácidos graxos.

2.10 COMPOSIÇÃO DE MINERAIS DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Os filés e *sous vide* de tambaqui foram inicialmente liofilizados e na etapa de digestão, utilizou-se 0,25 g destas amostras e os brancos foram preparados com os mesmos reagentes e nas mesmas condições de mineralização das amostras.

Os teores de cobre, ferro, manganês, zinco, cálcio, magnésio, potássio e sódio foram determinados por espectrometria de absorção atômica em chama (AASPECTROMETER, Marca THERMO SCIENTIFIC, Modelo ICE 3000 Series, EUA), no laboratório GEAP (Grupo de Espectrometria Analítica Aplicada) na Universidade Federal do Pará, Campus Belém.

Neste trabalho os resultados foram expressos em mg/kg (ppm), base seca e úmida para facilitar a comparação com outros autores e com as concentrações máximas permitidas pelas legislações vigentes (BRASIL, 1965; BRASIL, 2003; DIR, 2004; BRASIL, 2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA

Os resultados obtidos pela análise biométrica estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização biométrica dos tambaquís do cultivo Cacoal-PA

Biometria	Média	CV(%)
Comprimento (cm)	36,93±3,80	10,30
Largura (cm)	15,70±1,89	12,03
Largura da cabeça (cm)	9,63±1,56	16,24
Espessura (cm)	4,40±0,60	13,69
Peso Peixe (g)	1012,0±0,36	35,29

*DP: Desvio Padrão; **CV: Coeficiente de Variação.

Os valores do coeficiente de variação (CV) para comprimento, largura, largura da cabeça e espessura foram considerados baixos. Contudo, o valor do CV obtido para o peso foi elevado, os peixes utilizados na pesquisa não apresentavam o mesmo tamanho

sendo que os pesos dos peixes variaram de 500 g até 2000 g contribuindo para o elevado coeficiente de variação.

Souza e Inhamuns (2011) caracterizaram biometricamente tambaquis de cultivo e obtiveram valores médios para comprimento e peso de 31,5 cm e 1150,1 g, respectivamente, no período da cheia e no período da seca. Inoue et al.(2011) encontraram valor médio de comprimento em tambaquis de 28,3 cm. Gomes et al. (2006) estudando tambaquis de cultivo encontraram valores para peso de 997,1 g. Observa-se também que os tambaquis da presente pesquisa apresentaram maior comprimento porém com menor peso semelhante ao encontrados pelos autores acima, o que pode ter sido influenciado pela espécie, alimentação a base de ração e a idade dos peixes.

Na Tabela 2 estão apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson para as características biométricas avaliados nos tambaquis. As maiores correlações obtidas entre as diversas medidas foram positivas, com altos valores entre o peso e comprimento, peso e largura e entre a largura e comprimento. A menor correlação encontrada foi entre largura e a espessura. Pires et al (2011) analisando exemplares de tilápia-do-nilo verificaram correlação negativa entre o comprimento total e espessura, e o comprimento e peso.

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) para as características biométricas: largura, comprimento, largura da cabeça, espessura e peso do tambaqui.

	Peso tambaqui	Largura	Comprimento	Largura da Cabeça	Espessura
Peso tambaqui	1,00	0,85	0,95	0,63	0,62
Largura	-	1,00	0,86	0,68	0,48
Comprimento	-	-	1,00	0,67	0,59
Largura da Cabeça	-	-	-	1,00	0,51
Espessura	-	-	-	-	1,00

O rendimento médio encontrado para os filés de tambaquis foi de 25,13%, valor semelhante ao encontrado por Souza, Inhamuns (2011) de 27,39% quando analisou a mesma espécie no período da cheia e da seca. Fernandes, Doria e Menezes (2010) verificaram o rendimento dos filés de tambaqui com o tempo de crescimento (dias) e observou nos tempos 107, 137 e 167 dias, que o rendimento foi de 31,8 %, 31,5% e 32,6 %, respectivamente. Os peixes do presente trabalho tinham 10 meses de idade (300

dias), no entanto obtiveram rendimento menor do que o encontrado por estes autores. Costa et al. (2010) menciona que a carcaça representa em torno de 62,6% do peso do peixe em geral, levando-se em consideração a destreza do filetador, a forma anatômica do corpo, o tamanho da cabeça e o peso das vísceras, pele e nadadeiras. No entanto, peixes com cabeça grande em relação à musculatura apresentam menor rendimento de filé, quando comparado a peixes de cabeça pequena, o que poderia justificar o baixo rendimento do tambaqui.

3.2 CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA

A Tabela 3 mostra os resultados das análises microbiológicas realizada nos filés de tambaqui *in natura* e no *sous vide*, a RDC N° 12 de 12 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001) estabelece que o peixe *in natura* deve apresentar ausência em 25g de produto de *Salmonella* sp. e para *Estafilococcus* coagulase positiva no máximo 10^3 UFC/g de amostra, para os produtos a base de pescados refrigerados (*sous vide*) além desses limites citados anteriormente, a legislação estabelece um limite máximo de 10^3 NMP para coliformes a 45°C, sendo assim, foi verificado que as amostras se encontravam dentro do padrão estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2001). Resultados semelhantes foram encontrados em outras pesquisas com filés de tilápias tailandesas, filés de mapará e em *sous vide* de salmão (SIMÕES et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; DÍAZ, GARRIDO, BAÑÓN, 2011).

Tabela 3. Análises microbiológicas realizadas no tambaqui e *sous vide*.

Análises	Tambaqui <i>in natura</i>	<i>Sous vide</i>
<i>Salmonella</i> sp.	Ausência / 25 g	Ausência / 25 g
<i>Estafilococcus</i> coagulase positiva	<1.10 ^{1a} UFC/g	<1.10 ^{1a} UFC/g
Coliformes a 35°C	2,3. 10 ^{1a} NMP/g	< 3 ^b NMP/g
Coliformes a 45°C	2,3. 10 ^{1a} NMP/g	< 3 ^b NMP/g
Contagem de Mesófilos	6,6. 10 ^{2a} UFC/g	3,8. 10 ^{2b} UFC/g
Contagem de Psicotróficos	2,8. 10 ^{2a} UFC/g	< 10 ^b UFC/g
Contagem de Bolores e Leveduras	---	<10 ² UFC/g
<i>Clostridium</i> sulfito redutor	Ausência	Ausência
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausência	Ausência

*NMP = número mais provável; **UFC = Unidade Formadora de Colônia, *** Letras diferentes significam que as amostras diferem entre si (p<0,05) pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade

Observa-se que a pasteurização foi eficaz, pois ocorreu uma diminuição significativa (p<0,05) nos valores de coliformes a 35° e a 45°C e nas contagens de mesófilos e psicotróficos no *sous vide* de tambaqui que encontravam dentro dos padrões

estabelecidos pela ICMSF (1986) de 10^6 UFC/g. Mol, Ozturan, Consansu (2012) e Consansu et al. (2011) também não detectaram presença de coliformes a 35° e a 45°C em *sous vide* de Badejo do Mar Negro (*Merlangius merlangus euxinus*) e em *sous vide* de Serra comum (*Sarda sarda*).

De acordo com a *International Commission on Microbiological Specifications for Foods* - ICMSF (1986) a contagem de bactérias psicotróficas avalia o grau de deterioração do produto refrigerado e a contagem de bactérias aeróbias mesófilas é considerada como indicador microbiológico da qualidade dos alimentos, indicando se a limpeza, a desinfecção e o controle da temperatura durante o processo foram realizados de forma adequada.

Shakila et al. (2009) observaram redução na quantidade de bactérias mesófilas, de 10^5 para 10^3 UFC/g em *sous vide* de *fishcakes*. Can (2011) em filés de carpa *in natura* e *sous vide* verificou redução das contagens de mesófilos e psicotróficos de 10^4 para 10^3 UFC/g e 10^5 para 10^2 UFC/g, respectivamente.

A contagem de bolores e leveduras nas amostras analisadas apresentaram níveis indetectáveis ($<10^2$ UFC/g), resultado semelhante encontrado por Díaz, Garrido e Bañón (2011) em *sous vide* de salmão.

Não foi detectada presença de *Clostridium* sulfito redutor nas amostras analisadas. *Sous vide* de frango adicionado de lactato de sódio apresentou atraso no crescimento de *Clostridium perfringens* segundo Juneja (2006). O lactato de sódio tem sido utilizado como agente antimicrobiano por inibir muitos micro-organismos patogênicos e deterioradores aumentando a vida-útil de produtos como carnes curadas, peixes e carnes não curadas.

Não foi detectada presença de *Listeria monocytogenes* nas amostras analisadas no presente estudo (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Gonzalez-Fandos et al (2005) e Shakila et al (2009) em *sous vide* de pescados. A ausência desse patógeno pode ser esperada, uma vez que o peixe *in natura* não foi contaminado e o produto foi elaborado com rigorosa higiene.

3.3 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR ENERGÉTICO TOTAL

Na Tabela 4 encontram-se os valores de composição centesimal e valor calórico do tambaqui *in natura* e *sous vide* de tambaqui. Os teores de cinzas, lipídios, proteínas e valor energético total apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), enquanto que para umidade e carboidratos não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras,

essa diferença pode ser atribuída ao molho de manjeriço do *sous vide*. Mol, Ozturan e Cosansu (2012) e Consansu et al.(2011) ao analisarem o *sous vide* de badejo do mar Negro (*Merlangius merlangus euxinus*) e *sous vide* de Serra comum (*Sarda sarda*), respectivamente encontraram diferença significativa ($p < 0,05$) nos valores de umidade, lipídios e proteínas das amostras de peixe após o processamento do *sous vide* e diferença não significativa ($p > 0,05$) nos teores de cinzas e carboidratos. O valor energético total (VET) da amostra *in natura* e do *sous vide* diferiu entre si ($p < 0,05$), o que se deve ao tratamento térmico aplicado.

Tabela 4. Composição centesimal do tambaqui *in natura* e *sous vide*

Componentes (base úmida)	Tambaqui <i>in natura</i>	<i>Sous vide</i>
Umidade (%)	79,00 ^a ± 0,34	78,73 ^a ± 0,52
Cinzas (%)	0,91 ^a ± 0,03	2,33 ^b ± 0,28
Lipídios (%)	1,10 ^a ± 0,03	3,23 ^b ± 0,94
Proteínas (%)	18,07 ^a ± 0,60	14,67 ^b ± 0,88
Carboidratos (%)	0,92 ^a ± 0,37	1,04 ^a ± 0,39
Valor Energético Total (kcal/100g)	85,87 ^a ± 0,38	91,88 ^b ± 1,44

* Letras diferentes significam que as amostras diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade

3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Os valores de pH encontravam-se dentro dos limites estabelecido pela RIISPOA - Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (BRASIL, 1997a), para carne externa de peixes (<6,8) e interna (<6,5) e não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre o peixe *in natura* e o *sous vide* (Tabela 5). Pesquisas com filé de sarda *in natura* e *sous vide* apresentaram valores de pH 6,07 e 4,71, respectivamente, devido a adição de suco de limão no *sous vide* (CONSANSU et al. 2011)

O tambaqui *in natura* e o *sous vide* de tambaqui apresentaram alto teor de aw o que facilita o crescimento de micro-organismos e a ocorrência de reações químicas e enzimáticas. Diaz et al. (2008) e Diaz, Garrido, Banon (2011) encontraram valor de aw de 0,92 em *sous vide* de lombo de porco processado e *sous vide* de salmão. Os autores afirmam que o processamento no próprio suco dentro de uma embalagem com boa capacidade de barreira ao vapor d'água, dificulta a proliferação de micro-organismos.

Tabela 5. Análises físico-químicas e propriedades funcionais realizadas no tambaqui *in natura* e *sous vide*.

Análises	Tambaqui <i>in natura</i>	<i>Sous vide</i>
pH	6,34 ^a ± 0,04	5,52 ^a ± 0,51
Aw	0,94 ^a ± 0,04	0,99 ^a ± 0,00
CRA (%)	76,41 ^a ± 0,74	86,66 ^b ± 2,73
N-BVT (mg N/100g)	11,17 ^a ± 0,00	8,38 ^b ± 0,00
TBARS (mg MDA/kg)	0,032 ^a ± 0,00	0,163 ^b ± 0,04
Cloretos (g/100g)	0,13 ^a ± 0,01	0,75 ^b ± 0,06
L*	78,38 ^a ± 0,38	78,71 ^a ± 0,18
a*	8,58 ^a ± 0,48	0,28 ^b ± 2,47
b*	24,18 ^a ± 0,86	21,14 ^a ± 1,00
ΔE	-	10,67 ± 0,71
C*	25,66 ^a ± 0,65	21,21 ^b ± 0,97
h°	70,44 ^a ± 1,66	90,91 ^b ± 6,73

* Letras diferentes significam que as amostras diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade

Os valores de CRA para o tambaqui *in natura* e *sous vide* apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) podendo estar relacionado com a adição de lactato de sódio no *sous vide* considerado ótimo umectante. Pulgar, Gázquez, Ruiz-Carrascal (2012) encontraram valores de 79,8% para CRA em *sous vide* de “pork cheeks”.

Os valores de N-BVT no tambaqui *in natura* e no *sous vide* encontravam-se muito abaixo do limite estabelecido pela legislação vigente de 30 mg N/100g (BRASIL, 1997b). O N-BVT tem sido utilizado para estimar objetivamente a qualidade do pescado, ou seja, o grau de frescor. Observa-se na Tabela 5 que houve uma diminuição significativa ($p < 0,05$) dos valores de N-BVT entre as amostras de tambaqui *in natura* e *sous vide* isso se deve a adição dos ingredientes para a elaboração do molho que contribuíram para a diminuição desse valor além de retardar a deterioração do produto. Cartonilho & Jesus (2011) encontraram valor de N-BVT de 11 mg N/100g em filés de tambaqui *in natura*. Can (2011) ao avaliar BVT em filés de carpa (*Cyprinus carpio*) *in natura* e no *sous vide*, obteve 10 e 15mgN/100g, respectivamente, não havendo diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras.

Os valores de TBARS encontrados no tambaqui *in natura* e no *sous vide* apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), e podem ser classificados como alimentos de excelente qualidade. De acordo com Schormuller (1968) valores de TBA < 3 mg MDA/kg no alimento indicam excelente qualidade, entre 3-5 mg MDA/kg o alimento é considerado de boa qualidade e o limite máximo permitido para que o alimento possa ser consumido é de 8 mg MDA/kg. Yarnpakdee et al.(2012) encontraram valor de TBARS em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) *in natura* de

0,3 mg MDA/kg. Can (2011) encontrou valores de TBA em filés de carpa *in natura* e no *sous vide* de 0,4 e 1,0 mg MDA/kg, respectivamente, semelhante ao encontrado por Diaz, Garrido e Banon (2011) em *sous vide* de salmão. As pequenas diferenças nos valores encontrados são devido aos teores de lipídios de cada espécie.

O resultado da análise de cloretos apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras devido à adição de sal na elaboração do molho de manjeriço (Tabela 5). Oliveira et al. (2008) ao analisarem filés de mandim *in natura* encontraram valores superiores (0,85 g/100g), porém estes indicou que os músculos dos pescados tem sal em torno de 0,08 g/100g a 1,00 g/100g.

Os resultados de cor instrumental (Tabela 5) mostram que os parâmetros luminosidade L^* e b^* (intensidade da cor amarela) não apresentaram diferença significativa entre as amostras ($p > 0,05$), os valores de L^* indicaram que as amostras tendem à cor branca, analisando o parâmetro a^* (intensidade da cor vermelha) observou-se que as amostras diferiram significativamente ($p < 0,05$) após os filés serem submetidos a técnica *sous vide* e adicionados o molho de manjeriço, estes perderam a coloração avermelhada que possuíam devido ao processo de pasteurização. Picouet et al. (2011) verificaram que a técnica *sous vide* em filés de salmão modificou a cor, aumentando a luminosidade L^* de 50,9 para 60,7, a^* de 14,8 para 16,9 e o parâmetro b^* de 18,1 para 21,1. A desnaturação protéica ocasionada pela pasteurização pode influenciar a luminosidade do peixe, apesar de não ser o único fator. Diaz, Garrido e Banon (2011) afirmam que a oxidação e outros fenômenos de degradação também podem modificar as proteínas do músculo e pigmentos, relacionadas com a cor dos peixes. Yagiz et al. (2009) e Diaz, Garrido e Banon (2011) ao avaliarem o parâmetro de cor (L^* , a^* e b^*) em *sous vide* de salmão encontraram valores médios de L^* de 75,0, quanto aos parâmetros a^* e b^* estes autores observaram maiores valores para o parâmetro b^* devido o salmão ter coloração avermelhada, diferente o observado no tambaqui *in natura* pois apresenta uma cor mais clara. O valor da diferença total de cor (ΔE) foi de $10,67 \pm 0,71$, a amostra padrão considerada foi o tambaqui *in natura*, a diferença total de cor expressa o quanto a amostra mudou em relação a amostra padrão e pode ser observado que a cor do *sous vide* de tambaqui se diferenciou da amostra padrão. Picouet et al. (2011) ao analisar *sous vide* de salmão verificou que não houve uma perda tão grande da cor em relação ao salmão *in natura*.

Os valores de cromaticidade (C^*) mostraram diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras, como o croma é dependente de a^* e b^* na mesma intensidade,

verificou-se que os resultados tiveram maior influência da cor amarela que da vermelha, o que já era esperado, visto que o tambaqui apresenta músculo “branco”. Diaz, Garrido e Banon (2011) ao avaliar *sous vide* de salmão observaram através do valor de croma a maior dependência deste em relação ao parâmetro a^* .

Os resultados do ângulo de tonalidade (h°) mostraram diferença significativa ($p < 0,05$), o ângulo $h^\circ = 0^\circ$ é fixado no eixo horizontal com a^* (vermelho) e, girando no sentido anti-horário, tem-se, $h^\circ = 90^\circ$ (amarelo), $h^\circ = 180^\circ$ (verde) e $h^\circ = 270^\circ$ (azul). O h° entre 0° e 90° caracteriza a qualidade da cor de vermelho a amarelo. Os resultados de h° apresentados para o tambaqui *in natura* e *sous vide* (Tabela 5), estavam próximos de 90° (amarelo), indicando que o ângulo de tonalidade foi afetado pelo estado químico da mioglobina que está relacionada inversamente com o valor de a^* . Como a elaboração do *sous vide* possui a etapa de pasteurização, o cozimento ocasionou a desnaturação da mioglobina, isso fez com que o valor do ângulo de tonalidade no *sous vide* aumentasse aproximando-se da cor amarela. Diaz, Garrido e Banon (2011) observou no *sous vide* de salmão tendência do valor de h° para o vermelho, devido a cor do peixe utilizado no estudo.

3.5 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Na Tabela 6 são mostradas as composições dos ácidos graxos saturados, ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados do tambaqui *in natura* e *sous vide*. Foram encontradas altas proporções de ácido oleico (C18:1), ácido palmítico (C16:0) e ácido linoléico (C18:2) no tambaqui *in natura*, principal representante da série de ácidos graxos ômega-6. No *sous vide* de tambaqui foram encontradas elevadas quantidades de ácido vacênico trans-11 (C18:1 vac), ácido palmítico (C16:0) e de ácido linolênico (C18:2), o principal representante da série de ácido graxos ômega 3. Segundo Tonial et al (2011), o ácido linoléico (ômega 6) é precursor do ácido araquidônico (C 20:4 n-6), um ácido graxo importante no crescimento fetal, controle da pressão sanguínea e controle da agregação plaquetária, e o ácido linolênico (ômega 3) é o precursor de ácidos graxos poliinsaturados como o ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 n-3) e docosaenoico (DHA, C22:6 n-3), que estão diretamente envolvidos na redução de fatores de risco associados a doenças cardiovasculares, psoríase, depressão e diabetes.

Tonial et al (2011) ao avaliar a composição em ácidos graxos em filés de tilápias (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dieta suplementada com óleo de soja

encontraram valores de ácidos graxos saturados que variaram de 39,65 a 35,11%, para ácidos graxos monoinsaturados de 44,68 a 44,63 % e ácidos poliinsaturados de 15,49 a 21,13%.

Aiura e Carvalho (2004) ao avaliar o efeito do tanino sobre o perfil de ácidos graxos e rendimento de filés de tilápia do Nilo encontraram maiores porcentagens de ácidos graxos insaturados como o oléico (C18:1) e o linoléico (C18:2), sendo que a porcentagem dos poliinsaturados (AGPI) variou de 26,02% a 29,99%, respectivamente, para os tratamentos contendo 0,08% e 0,60% de ácido tânico.

Tabela 6. Perfil de ácidos graxos do tambaqui in natura e do sous vide de tambaqui em %.

Ácidos Graxos (%)	Tambaqui <i>in natura</i>	<i>Sous vide</i> de tambaqui
C14:0	2,78±0,01	1,94±0,03
C14:1	0,42±0,00	0,36±0,00
C16:0	26,30±0,00	28,23±0,61
C16:1	5,12±0,07	3,30±0,06
C18:0	5,34±0,21	12,85±0,09
C18:1	27,29±0,00	Nd
C18:1vac	0,52±0,00	35,04±0,23
C18:2	24,44±0,00	13,30±0,11
C18:3	2,30±0,00	1,34±0,08
C20:0	Nd	0,30±0,01
C20:1	Nd	0,15±0,00
C20:2	Nd	0,59±0,00
C20:3	Nd	0,19±0,00
C20:4	Nd	0,03±0,00
C20:5	0,73±0,05	0,42±0,07
C22:0	Nd	0,12±0,00
C22:1	2,45±0,04	0,89±0,05
C22:6	2,31±0,00	0,79±0,02
C24:0	Nd	0,09±0,00
C24:1	Nd	0,06±0,00
AGS	34,42±0,08	43,53±0,07
AGMI	35,80±0,00	39,80±0,03
AGPI	29,78±0,00	16,67±0,06
AGPI/AGS	0,86±0,03	0,38±0,21
∑n-6	26,74±0,13	14,86±0,08
∑n-3	3,04±0,03	1,21±0,00
n-6/n-3	8,79±0,00	12,28±0,00

*AGS – Ácidos Graxos Saturados; AGMI – Ácidos Graxos Monoinsaturados; AGPI – Ácidos Graxos Polinsaturados; **n-6**: ácidos graxos ômega-6; **n-3**: ácidos graxos ômega-3; **AGPI/AGS**: razões entre ácidos graxos polinsaturados/ saturados; **n-6/n-3**: razões entre ácidos graxos ômega-6/ômega-3; **nd**: não detectado.

De acordo com Department of Health and Social Security (HMSO, 1994) as dietas que apresentam razão AGPI/AGS superior a 0,45 são consideradas saudáveis sob o ponto de vista nutricional para humanos, verifica-se que esta relação na amostra de tambaqui *in natura* era superior a este valor, entretanto a amostra de *sous vide* estava um pouco abaixo desse limite (Tabela 7). Aiura e Carvalho (2004) ao analisar a relação ácidos graxos poliinsaturados/ácidos graxos saturados (AGPI/AGS) em filés de tilápias adicionados de ácido tânico verificou que os valores apresentaram-se superiores ao mínimo recomendado (HMSO, 1994). Jabeen e Chaudhry (2011) ao determinar a composição em ácidos graxos de peixes de espécies de água doce verificaram que variou de 0,2% a 0,44% a relação AGPI/AGS indicando bom fornecimento de ácidos

graxos poliinsaturado em relação aos ácidos graxos saturados, portanto foram considerados alimentos saudáveis.

As proporções de n-3, n-6 e a relação n-6/n-3 encontradas para o tambaqui *in natura* e *sous vide* são mostradas na Tabela 7. Simopoulos (1991) recomenda que as razões n-6/n-3 se mantenham num intervalo de 5 a 10. Neste estudo os valores do tambaqui *in natura* para as razões n-6/n-3 encontravam-se dentro do valor recomendado, no entanto o *sous vide* de tambaqui apresentou valores acima do recomendado. Segundo Novelo, Franceschini, Quintiliano (2008) o balanço da proporção de n-6/n-3 na dieta é essencial para o metabolismo humano, levando a prevenção de doenças cardiovasculares, degenerativas e melhor saúde mental. Prato e Biandolino (2012) ao analisar a composição de ácidos graxos de importantes espécies de peixes do Mar Mediterrâneo encontrando valores para a proporção que variaram de 0,23 a 0,40. Tonial et al (2011) encontrou valores da proporção (n-6/n-3) que variaram de 7,9 a 13,98 em filés de tilápias.

3.6 COMPOSIÇÃO DE MINERAIS DO TAMBAQUI *IN NATURA* E DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

A concentração dos minerais presentes nas amostras foi calculada a partir da construção de curvas de calibração específicas para cada elemento, com no mínimo quatro pontos e apresentando um coeficiente de regressão linear superior a 0,997. Os limites mínimos de determinação para cada elemento foram de Cu (0,0001 mg/L), Fe (0,006 mg/L), Mn (0,002 mg/L), Zn (0,003 mg/L), Ca (0,004 mg/L), Mg (0,01 mg/L), K (0,009 mg/L) e Na (0,02 mg/L). Todos os limites estão abaixo dos valores máximos de tolerância determinados pelas legislações vigentes (BRASIL, 1965; BRASIL, 2003; BRASIL, 2005; DIR, 2004).

Na Tabela 7, são apresentadas as concentrações em mg/kg em base seca (b.s) e em base úmida (b.u) dos seguintes minerais: Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, Mg, K e Na para o tambaqui *in natura* e para o *sous vide* de tambaqui. Observa-se que os minerais potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) apresentaram os maiores teores nessas amostras.

O decreto N° 55.871 de 26 de março de 1965 (BRASIL, 1965) determina limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos que podem ser encontrados em pescados. O limite máximo permitido para o cobre (Cu) é de 30 ppm (30 mg/kg), ou seja, os produtos não poderão ser comercializados se ultrapassarem este limite. Foram

encontrados no presente estudo valores para Cu de 0,14 mg/kg e 0,15 mg/kg para tambaqui *in natura* e *sous vide* de tambaqui, respectivamente, muito abaixo do permitido pela legislação. Segundo Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005) que dispõe sobre a ingestão diária recomendada de minerais (IDR) para adultos preconiza que a IDR para Cu é de 0,9 mg, os valores encontrados no presente trabalho corresponde somente 15 % da IDR. Souza et al, (2009) encontraram valores de Cu em músculos de tilápias, catfish, lambari e piau de 4,8 mg/kg, 5,4 mg/kg, 11,9 mg/kg e 6,5 mg/kg, respectivamente.

Os teores de Fe, Mn, Zn, Ca, K e Na apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras estudadas, apenas os teores de Cu e Mg não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), Tabela 7.

A ingestão diária recomendada de minerais (BRASIL, 2005) para Ferro (Fe) é de 14mg observa-se que o *sous vide* apresentou aproximadamente 17,5 mg para 1 kg de produto e o tambaqui *in natura*, 12,11 mg/kg, é importante lembrar que no *sous vide* foi adicionado o molho de manjeriço o que aumentou o teor de Fe. Souza et al, (2009) encontraram valores de Fe em músculos de tilápias, catfish, lambari e piau de 52,3 mg/kg, 21,9 mg/kg, 48,8 mg/kg e 50,6 mg/kg, respectivamente. Isto se deve ao fato deste mineral estar presente, em grande quantidade, no solo, água, atmosfera e processos industriais (BIRUNGI et al., 2007) e dependendo do habitat dos peixes pode variar a composição dos minerais.

Observou-se uma diminuição do teor de Mn de 1,44 mg/kg para 1,05 mg/kg após a adição de ingredientes na elaboração do *sous vide* de tambaqui influenciando o teor desse mineral, pois a ingestão diária recomendada (BRASIL, 2005) deve ser de 2,3 mg/Mn e as amostras de tambaqui *in natura* e do *sous vide* representam 63% e 46% da IDR, respectivamente.

Os teores de zinco estão apresentados na Tabela 7 e verificou-se uma diminuição significativa ($p < 0,05$) nos teores do peixe *in natura* e *sous vide*. Segundo Brasil (2005) a IDR para Zn é de 7 mg, para o tambaqui *in natura* e o *sous vide*, o consumo de 1 kg desses produtos garantem a IDR necessária para o consumo humano. Souza et al, (2009) encontraram valores de Zn em músculos de tilápias, catfish, lambari e piau de 19,6 mg/kg, 26,2 mg/kg, 73,7 mg/kg e 22,6 mg/kg, respectivamente, esses altos níveis de Zn podem ter ocorrido principalmente por esta ser uma região agrícola, pois sabe-se da necessidade de aplicação de insumos, os quais podem ser levados pela água das chuvas, contaminando as lagoas do pesqueiro (BIRUNGI et al., 2007), apesar de que os

tambaquis utilizados neste trabalho foram obtidos de tanques de cultivo os teores de zinco foram menores do que encontrado por Souza et al. (2009).

Altos valores de Ca foram encontrados para as duas amostras e representaram mais da metade da IDR exigida pela legislação (1000 mg), sendo que após a elaboração do *sous vide* houve uma diminuição significativa ($p < 0,05$). Ersoy e Ozeren (2009) analisando o efeito de métodos de cozimento do catfish na composição de minerais verificaram que o teor de Ca para todos os métodos de cozimento (banho-maria, grelhado, micro-ondas e frito) aumentaram significativamente ($p < 0,05$) em relação ao catfish *in natura*.

Foram encontrados altos teores de Mg no tambaqui *in natura* e *sous vide* (Tabela 7) o dobro indicado pela IDR de 269 mg. Ersoy e Ozeren (2009) ao analisar o efeito de métodos de cozimento do catfish no teor de Mg para todos os métodos de cozimento (banho-maria, grelhado, micro-ondas e frito) aumentaram significativamente ($p < 0,05$) em relação ao catfish *in natura*, obtendo valores de 265 mg/kg, 247 mg/kg, 230 mg/kg, 248 mg/kg e 184 mg/kg, respectivamente.

Dietary Reference Intakes (DRI, 2004) é outra referência comumente utilizada para as recomendações nutricionais onde a ingestão diária de potássio para um adulto é de 4700mg e foi considerado este valor, pois o potássio não está descrito na legislação brasileira. Tanto para o tambaqui *in natura* quanto para o *sous vide* o teor de K foi de aproximadamente 1,5 vezes e 2 vezes maior, respectivamente que a IDR ao consumir 1 kg do produto, com a adição de ingredientes para o molho verificou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) deste teor. Ersoy e Ozeren (2009) analisando o efeito de métodos de cozimento do catfish na composição de minerais, encontrou valores de K para o catfish *in natura*, cozido, grelhado, micro-ondas e frito de 1817 mg/kg, 2486 mg/kg, 2694 mg/kg, 2373 mg/kg e 2770 mg/kg, respectivamente.

Marengoni e Santos (2006) analisaram a composição mineral entre espécie para filé de piavuçu e tilápia do Nilo cultivados em quatro pesque-pagues, para os teores de potássio, magnésio, ferro e zinco verificou que na maioria dos minerais houve diferença entre as espécies e os tipos de pesque-pagues. Segundo esses autores, os teores de minerais sofrem maior influência da qualidade da água, ambiente e alimentação que em relação às condições fisiológicas dos peixes (idade, sexo e maturação sexual).

Segundo a RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003) estabelece o limite de ingestão diária para o Na de 2400 mg. Verifica-se na tabela 7 que o tambaqui *in natura* apresentou teores de sódio abaixo do limite de detecção (0,02 mg/L),

enquanto o *sous vide* de tambaqui apresentou valores de sódio de 963,1 mg/kg, ou seja, este valor representa aproximadamente 41% da ingestão diária recomendada para o sódio. Ersoy e Ozeren (2009) analisando o efeito de métodos de cozimento do catfish na composição de minerais, encontrou valores de Na para a catfish *in natura*, banho-maria, grelhado, micro-ondas e frito de 308 mg/kg, 341 mg/kg, 287 mg/kg, 375 mg/kg e 471 mg/kg, respectivamente, sendo que os teores de Na para cozido, micro-ondas e frito aumentaram significativamente, enquanto o grelhado diminuiu.

Tabela 7. Concentrações de minerais em tambaqui *in natura* e *sous vide* de tambaqui

Minerais	Tambaqui <i>in natura</i> (mg/Kg) b.s	Tambaqui <i>in natura</i> (mg/Kg) b.u	<i>Sous vide</i> de tambaqui (mg/Kg) b.s	<i>Sous vide</i> de tambaqui (mg/Kg) b.u
Cobre (Cu)	0,67 ^a ±0,41	0,14 ^a ±0,09	0,69 ^a ±0,43	0,15 ^a ±0,09
Ferro (Fe)	57,65 ^a ±0,35	12,11 ^a ±0,07	82,19 ^b ±1,74	17,48 ^b ±0,37
Manganês (Mn)	6,84 ^a ±0,01	1,44 ^a ±0,00	4,83 ^b ±0,19	1,05 ^b ±0,19
Zinco (Zn)	38,98 ^a ±0,81	8,19 ^a ±0,17	30,34 ^b ±1,70	6,45 ^b ±0,36
Cálcio (Ca)	3059,6 ^a ±1,18	642,5 ^a ±1,50	2595,6 ^b ±0,90	538,46 ^b ±1,40
Magnésio (Mg)	2053,5 ^a ±0,052	437,8 ^a ±0,80	2247,4 ^a ±0,40	439,87 ^a ±0,60
Potássio (K)	32080,7 ^a ±1,50	6736,9 ^a ±1,80	39688,9 ^b ±1,20	8441,8 ^b ±0,76
Sódio (Na)	0,00 ^a ±0,00	0,00 ^a ±0,00	4527,8 ^b ±0,03	963,1 ^b ±0,30

* Letras diferentes significam que as amostras diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade

4 CONCLUSÃO

Os filés tambaquís apresentaram rendimento de 25,13% com alto valor nutricional e reduzido valor calórico. Os resultados das análises microbiológicas dos teores de N-BVT e de TBARS no tambaqui *in natura* e no *sous vide* encontravam-se muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação e podendo ser classificados como alimentos de excelente qualidade e alto grau de frescor. A composição centesimal dos tambaquís de cultivo e do *sous vide* mostraram alta umidade e teor de proteínas, baixos valores de lipídios e carboidratos, considerados de baixo valor energético. Foram encontrados boas proporções de ácidos graxos ômega 3 (ácido linolênico) e ômega 6 (ácido linoléico) nos filés de tambaqui *in natura* e no *sous vide* tambaquís. AQUI DEVES INCLUIR AQUI OS RESULTADOS relação n-6/n-3 e razão AGPI/AGS O tambaqui *in natura* e o *sous vide* apresentaram altas concentrações de cálcio, zinco, magnésio e potássio. Conclui-se,

que o *sous vide* de tambaqui é boa fonte de nutrientes, rico de ácidos graxos e minerais essenciais para a saúde humana.

5 REFERÊNCIAS

AIURA, F.S.; CARVALHO, M.R.B. Composição em ácidos graxos e rendimento de filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada com dietas contendo tanino. **Revista Portuguesa de Ciências veterinárias**, v. 99, p. 93-98. 2004.

ARBELÁEZ-ROJAS, G.A.; FRACALOSSI, D.M.; FIM, J.D.I. Composição Corporal de Tambaqui, *Colossoma macropomum*, e Matrinxã, *Bryconcephalus*, em Sistemas de Cultivo Intensivo, em Igarapé, e Semi-Intensivo, em Viveiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1059-1069. 2002.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. HORWITZ, W, 17^a ed. Arlington: AOAC Inc., v.1 e v.2. 2000.

BIRUNGI, Z. et al. Active biomonitoring of trace heavy metals using fish (*Oreochromis niloticus*) as bioindicator species. The case of Nakivubo wetland along Lake Victoria. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 32, p. 1350-1358. 2007.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência nacional de Vigilância Sanitária. **Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965**. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, 1965.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Laboratório Nacional de Referência Animal. **Métodos Analíticos Oficiais para Controle de Produtos de Origem Animal e seus Ingredientes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, v. 2, cap. 11. Pescado Fresco. 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA**. Brasília, DF, p. 241, 1997a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria Nº 185, de 13 de maio de 1997. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (Inteiro e eviscerado)**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1997b.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001: **Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos em alimentos**. Brasília, 2001.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados**. Brasília, 2003.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais**. Brasília, 2005.

BOMBARDELLI, R.A.; SYPPERRECK, M.A.; SANCHES E. A. Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado. **Ciências Veterinárias e Zootecnia**, v.8, p.181-195. 2005.

CAN, O.P. Evaluation of the Microbiological, Chemical and Sensory Quality of Carp Processed by the Sous Vide Method. **Engineering and Technology**, v. 80, p. 1225 – 1230. 2011.

CARTONILHO, M.M.; JESUS, R.S. Qualidade de cortes congelados de tambaqui cultivado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.4, p.344-350. 2011.

COSANSU, S.; MOL, S.; ALAKAVUK, D.U.; OZTURAN, S. The effect of lemon juice on bonito (*Sarda sarda*, Bloch, 1793) preserved by sous vide packaging. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 395 – 401. 2011.

COSTA, T.V.; OSHIRO, L.M.Y.; SILVA, E.C.S. O potencial do mapará *Hypophthalmus* spp. (Osteichthyes, Siluriformes) como uma espécie alternativa para a piscicultura na Amazônia. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.36, p. 165 – 174. 2010.

DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY. Diet and cardiovascular disease: report on health and social subjects. London: HMSO, n.28, 1984.

DÍAZ, P.; NIETO, G.; GARRIDO, M.D.; BANON, S. Microbial, physical–chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method. **Meat Science**, v. 80, p. 287 – 292. 2008.

DÍAZ, P.; GARRIDO, M.D.; BAÑÓN, S. Spoilage of Sous Vide Cooked Salmon (*Salmo salar*) Stored under Refrigeration. **Food Science and Technology International**, v.17, p. 31 – 37. 2011.

DIETARY REFERENCE INTAKES. **Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride and sulfate**. Washington, D.C.: Academic Press, 2004. 640p. Disponível em <http://www.nap.edu>. Acesso em: 21 de março de 2013.

DOWNES, F.P; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological**. Examinations of Foods. 4th. ed. Washington (DC): APHA, 2001.

FERNANDES, T.R.C.; DORIA, C.R.C; MENEZES, J.T.B. Características de carcaça e parâmetros de desempenho do Tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) em

diferentes tempos de cultivo e alimentado com rações comerciais. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, p. 45 – 52. 2010.

FDA. Food and Drug Administration. **Food Code 2009: Annex 6 – Food Processing Criteria**. Disponível em: <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/RetailFoodProtection/FoodCode/FoodCode2009/ucm188201.htm>. Acesso em: 10/07/2012.

GALIMPIN-JOHAN, S.M.C.; RAHMAN, R.A.; JAMILAH, B.; CHE MAN, Y.B.; RUSUL, G. Pasteurization, development and storage of *sous vide rending* (spicy beef stew). **Journal of Food service**, v. 18, p. 251–263, 2007.

GAMA, C.S. The tilápia creation in the Amapá state as source of environmental risk. **Revista Acta Amazônica**, v.38, p.525 – 530. 2008.

GARCÍA-LINARES, M.C.; GONZALEZ-FANDOS, E.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, M.C.; GONZÁLEZ-FANDOS, E.; VILLARINO-RODRÍGUEZ, A.; GARCÍA-LINARES, M.C.; GARCÍA-ARIAS, M.T.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, M.C. Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the *sous vide* method. **Food Control**, v. 16, 77-85. 2005.

GOMES, L.C.; CHAGAS, E.C.; MARTINS-JUNIOR, H.; ROUBACH, R.; ONO, E.A.; LOURENÇO, J.N.P. Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. **Aquaculture**, v. 253, p. 374 – 384. 2006.

GONZALEZ-FANDOS, E.; VILLARINO-RODRIGUEZ, A. ; GARCIA-LINARES, M.C; GARCIA-ARIAS, M.T.; GARCIA-FERNANDEZ, M.C. Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the *sous vide* method. **Food Control**, v. 16, p. 77-85. 2005.

HAMM, R. Biochemistry of meat hydration. **Advances in Food Research**, v. 10, p. 355- 463, 1960.

ICMSF – International Commission on Microbiological Specifications for Foods. **Recommended microbiological limits for seafoods**. Acesso em: 28/07/2012. Disponível em:<<http://www.seafood.ucdavis.edu/orgnize/icmsf.htm>>, 1986.

INOUE, L.A.K.A.; BOJINK, C.L.; RIBEIRO, P.T.; SILVA, A.M.D.; AFFONSO, E.G. Avaliação de respostas metabólicas do tambaqui exposto ao eugenol em banhos anestésicos. **Revista Acta Amazônica**, vol. 41, p. 327 – 332. 2011.

IZEL, A.C.U.; MELO, L.A.S. **Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques escavados no Estado do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 32), p. 20, 2004.

JABEEN, F.; CHAUDHRY, A.S. Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. **Food Chemistry**, v. 125, p. 991-996. 2011.

JUNEJA, V. K. Delayed *Clostridium perfringens* growth from a spore inocula by sodium lactate in sous vide chicken products. **Food Microbiology**, v. 23, p. 105 - 111, 2006.

MARENGONI, N.G.; SANTOS, R.S. Rendimento e Composição de Filés de Tilápia do Nilo (*Oreochromis Niloticus*) e Piavuçu (*Leporinus Macrocephalus*) cultivados em pesque-pagues. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, p. 227-238. 2006.

MOL, S.; OZTURAN, S.; COSANSU, S. Determination of the quality and shelf life of sous vide packaged bonito (*Sarda sarda*, bloch, 1793) stored at 4° and 12°C. **Journal of Food Quality**, v. 35, p.137 – 143. 2012.

NOVELO, D.; FRANCESCHINI, P.; QUINTILIANO, D. A. A importância dos ácidos graxos ω -3 e ω -6 para a prevenção de doenças a na saúde humana. **Revista Salus**, Guarapuava-PR, v. 2, n. 1, p. 77-87, 2008.

OLIVEIRA, F.R.; LIRA, G.M.; TORRES, E.A.F.S.; SOARES, R.A.M.; MENDONÇA, S.; SILVA, K.W.B.; SIMON, S.J.G.B.; SANTOS, T.M.P; CABRAL JR, C.R. Efeito do beneficiamento sobre o valor nutricional do peixe mandim (*Ariuss pixii*). **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 44, n. 4, p.655 – 667, 2008.

PICOUET, P.A.; COFAN-CARBO, S.; VILASECA, H.; BALLBÈ, L.C.; CASTELLS, P. Stability of sous-vide cooked salmon loins processed by high pressure. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, p. 26 – 31. 2011.

PIRES, A.V.; PEDREIRA, M.M.; PEREIRA, I.G.; FONSECA JÚNIOR, A.; ARAÚJO, C.V.; SILVA, L.H.S. Predição do rendimento e do peso do filé da tilápia-do-Nilo. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 3, p. 315-319. 2011.

PRATO, E.; BIANCOLINO, F. Total lipid content and fatty acid composition of commercially important fish species from the Mediterranean, Mar Grande Sea. **Food Chemistry**, v. 131, p. 1233–1239. 2012.

PULGAR, J.S.; GÁZQUEZ, A.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time. **Meat Science**, v. 90, p. 828–835, 2012.

RIBEIRO, S.C.A.; PARK, K.J.; HUBINGER, M.D.; RIBEIRO, C.F.A.; ARAUJO, E.A.F.; TOBINAGA, S. Otimização da desidratação osmótica de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) através da metodologia de superfície de resposta. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28 Campinas, v. 28, p. 485-492, 2008.

RODRIGUES, A.M.C.; DARNET, S.; SILVA, L.H.M. Fatty Acid Profiles and Tocopherol Contents of Buriti (*Mauritia flexuosa*), Patawa (*Oenocarpus bataua*), Tucuma (*Astrocaryum vulgare*), Mari (*Poraqueiba paraensis*) and Inaja (*Maximiliana maripa*) Fruits. **Journal Brazilian Chemistry Society**, v.21, No. 10, p.2000-2004, 2010.

SHAKILA, R.J.; JEYASEKARAN, G.; VIJAYAKUMAR, A.; SUKUMAR, D. Microbiological quality of sous-vide cook chill fish cakes during chilled storage. **International Journal Food Science Technology**, v. 44, p. 2120–2126. 2009.

SCHORMULLER, J. **Handbuch der Lebensmittel Chemie**, Band III/2 Teil. Tierische Lebensmittel Eier, Fleisch, Buttermilch, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg-Berlin, Germany; New York, NY. 1968.

SIMÕES, M.R.; 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*). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 608-613, 2007.

SIMOPOULOS, A. P. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. **Clinical Nutrition**, v. 54, p. 438-463, 1991.

SOLUPACK. **Produto Sous vide: embalagem alta barreira para processo sous vide ou enchimento a quente**. <http://www.solupack.com.br/Net/Uploads/EditorHtml/Doc/SousVideProduto.pdf>. Data de acesso: 25/06/2011.

SOUZA, G.R.; GARCEZ, M.A.P.; SANTOS, V.C.G.; SILVA, D.B.; CAETANO, J.; DRAGUNSKI, D.C. Quantificação de Metais Pesados em peixes de um pesqueiro localizado na cidade de Umuarama - PR. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar**, v.12, p. 61-66, 2009.

SOUZA, A.F.L.; INHAMUNS, A.J. Análise de rendimento cárneo das principais espécies de peixes comercializadas no Estado do Amazonas. **Revista Acta Amazônica**, v. 41, p. 289 – 296. 2011.

SUFRAMA. **Potencialidade Regionais, estudo de viabilidade econômica: Piscicultura**, 2003.

YAGIZ Y.; KRISTINSSON H.G.; BALABAN M.O.; WELT B.A.; RALAT M.; MARSHALL M.R. Effect of high pressure processing and cooking treatment on the quality of Atlantic salmon. **Food Chemistry**, v. 16, p. 828 – 835. 2009.

YARNPAKDEE, S.; BENJAKUL, S.; NALINANON, S.; KRISTINSSON, H.G. Lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysate from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle as affected by freshness and antioxidants. **Food Chemistry**, v. 132, p. 1781–1788. 2012.

TONIAL, I.B.; BRAVO, C.E.C.; SOUZA, N.E.; MATSUSHITA, M.; FURUYA, W.M.; VISENTAINER, J.V. Qualidade nutricional dos lipídios de tilápias (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com ração suplementada com óleo de soja. **Revista Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 1, p. 103-112. 2011.

VAUDAGNA, S.R.; SANCHEZ, G.; NEIRA, M.S.; INSANI, E.M.; PICALLO, A.B.; GALLINGER, M.M. *Sous vide* cooked beef muscles: effects of low temperature-long time (LT-LT) treatments on their quality characteristics and storage stability. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 425–441. 2002.

VYNCKE, B.W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette Seifen Anstrichm**, v.72, n.12, p.1084-1087. 1970.

CAPÍTULO III

Modelagem cinética das mudanças na qualidade de *sous vide* de tambaqui durante o armazenamento

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças na qualidade do *sous vide* de tambaqui, através da cinética de degradação, durante o armazenamento sob refrigeração. *Sous vide* de tambaqui foram elaborados e armazenados em três temperaturas (1°C, 4°C e 10°C), as contagens de bactérias mesófilas, psicrotróficas, lácticas e bolores e leveduras assim como os valores de aw, pH, BVT, TBA, textura e os parâmetros de cor foram analisados em intervalos de três dias. Os resultados obtidos foram ajustados aos modelos de Labuza (zero ordem e 1ª ordem) e pela equação de Arrhenius a fim de verificar a influência da temperatura de armazenamento na qualidade do *sous vide* de tambaqui. Os resultados mostraram que as mudanças nas contagens de micro-organismos e nos valores de aw, pH, BVT, TBA, textura assim como os parâmetros de cor dependem das condições de estocagem. Os resultados das análises microbiológicas e físico-químicas obtiveram os melhores ajustes para o modelo de 0ª ordem. A equação de Arrhenius se ajustou melhor as constantes de velocidades do modelo de ordem zero onde observou-se que as mudanças nos valores dos atributos estão relacionados a temperatura. Maiores valores de energia de ativação (Ea) foram encontrados para as contagens de micro-organismos, isso comprova uma maior dependência desses parâmetros com a temperatura verificando uma maior sensibilidade com a variação desta quando comparado aos resultados obtidos pelos parâmetros físico-químicos.

Palavras-chave: *Collossoma macropomun*, processamento, degradação.

Kinetic modeling of the changes in the quality of *sous vide* de tambaqui during storage

Abstract

The aim of this study was to evaluate changes in the quality of *sous vide* tambaqui through degradation kinetics during storage under refrigeration. *Sous vide* tambaqui were prepared and stored at three temperatures (1 °C, 4 °C and 10 °C), the counts of mesophilic, psychrotrophic, lactic acid bacteria and yeasts and molds as well as the values of a_w , pH, TVB, TBA, texture and parameters color were analyzed in three day intervals. The results were used to fit Labuza (zero order and 1st order) and the equation Arrhenius to check the influence of storage temperature on the quality of *sous vide* tambaqui. The results showed that changes in scores of micro-organisms and the values of w , pH, BVT, TBA, as well as the texture color parameters depend on the storage conditions. The results of microbiological and physical-chemical properties have the best settings for the 0th order model. Arrhenius equation adjusted better rate constants of the zero order model which showed that changes in the values of the attributes are related to temperature. Higher values of activation energy (E_a) were found to counts of micro-organisms, it shows a greater dependence of these parameters with temperature checking greater sensitivity to this variation when compared to the results obtained by physicochemical parameters.

Keywords: Colossoma macropomun, processing, degradation.

1 INTRODUÇÃO

A vida útil de produtos refrigerados a base de pescado é limitada, devido a deterioração atribuída à atividade microbiana e as alterações químicas e bioquímicas. As pesquisas sobre as alterações da qualidade e extensão da vida útil de produtos armazenados sob refrigeração ou congelamento são de grande interesse. A utilização de modelos matemáticos para prever a qualidade permite que as indústrias otimizem a gestão com relação ao armazenamento com o objetivo de minimizar as perdas econômicas (RAAB et al., 2008; TSIRONI, TAOUKIS, 2010; ZHANG et al., 2011).

A técnica *sous vide* inclui embalagem a vácuo, tratamento térmico comparável às condições da pasteurização, com temperaturas entre 54°C a 72°C e estocagem em temperatura de resfriamento/congelamento, na tentativa de obter um balanço ótimo entre a extensão da vida de prateleira, segurança microbiológica do produto e a manutenção da aparência de comida fresca, com preservação do conteúdo nutricional (SCHELLEKENS, 1996; RODGERS 2004; PICOUET et al., 2011).

O controle da temperatura no armazenamento até o consumo é um dos principais fatores que afetam a qualidade do produto. A quebra da cadeia do frio resulta na diminuição da vida útil do produto. Estudos realizados têm utilizado modelos para prever as mudanças de qualidade dos produtos durante armazenamento e o efeito de diferentes condições de armazenamento, como tempo-temperatura, sobre a vida útil dos produtos (LIMBO et al., 2010; TSIRONI, TAOUKIS (2010); ZHANG et al. (2011); OLIVERA , SALVADORI (2012).

O modelo clássico de Arrhenius é comumente usado para descrever as relações entre temperaturas e velocidade das reações nos sistemas biológicos e de alimentos. É particularmente adequado para sistemas com uma ampla gama de temperaturas sem grandes mudanças dos mecanismos que determinam a constante de velocidade cinética (KONG et al., 2007). Zhang et al. (2011) estabeleceram modelos preditivos de qualidade para filés de carpa capim armazenados em diferentes temperatura, assim como, Olivera e Salvadori (2012) em lasanhas refrigeradas onde utilizaram a combinação da equação de primeira ordem com a de Arrhenius para prever as mudanças na qualidade dos produtos durante o armazenamento.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças na qualidade do *sous vide* de tambaqui através da cinética de degradação durante o armazenamento sob refrigeração.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ELABORAÇÃO DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI

Para a elaboração do *sous vide* de tambaqui, os utensílios e bancadas foram lavados e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 5ppm por 30 minutos, logo em seguida, foi utilizada solução de álcool a 70%.

Os filés de tambaqui *in natura* foram descongelados em temperatura de refrigeração (4°C) durante 3 horas, retiradas as espinhas e padronizados em aproximadamente 5 x 7 x 2,5cm da parte lombar dos filés de tambaqui. Porções de 200g foram acondicionadas em embalagens tipo *sous vide* (20 x 25 x 18 cm), marca SOLUPACK, juntamente com 50 g de molho de manjeriço, em uma proporção 1:4 de filé de peixe: molho, e 10 mL de lactato de sódio a 50%.

Após à adição do molho, as amostras foram embaladas a vácuo na embaladora (Fastvac, F200, Rio de Janeiro) e em seguida, os produtos foram pasteurizados em banho-maria (Quimis, Q-350-2, São Paulo), a 65°C durante 12,5 min, contados a partir do momento em que o centro da peça atingiu o a temperatura do processo.

Imediatamente após o tratamento térmico, as amostras foram resfriadas em água com gelo até alcançar a temperatura de 0°C, posteriormente sendo armazenados em três temperaturas de refrigeração (1°C±1, 4°C±1 e 10°C±1) e analisadas quanto suas características físicas, físico-químicas e microbiológicas em intervalos de três dias (MOL, OZTURAN E CONSANSU, 2012) após preparação.

2.2 CONTAGENS DE MICRO-ORGANISMOS

As análises de contagem de bactérias mesófilas, psicotróficas e lácticas e bolores e leveduras seguiram a metodologia proposta por Downes e Ito (2001).

2.3 COR INSTRUMENTAL

A avaliação da cor instrumental foi feita em Colorímetro (Minolta, CR 310, Tokyo), obtendo-se parâmetros de L* (luminosidade), a* (intensidade do vermelho) e b* (intensidade do amarelo) e foram calculados:

O valor de croma C* de acordo com a equação 1:

$$C * = \sqrt{(a *)^2 + (b *)^2} \quad (1)$$

O valor do ângulo de tonalidade h° de acordo com a equação 2:

$$h^{\circ} = \cos^{-1} \frac{a}{(a^2+b^2)^{1/2}} \quad (2)$$

A diferença total de cor (ΔE^*) de acordo com a equação 2:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

2.4 ANÁLISE DA TEXTURA

Para análise de textura, os filés foram cortados em pedaços de 2 x 2 x 1,5 cm e avaliados em Texturômetro (Brookfield, QTS, Midleboro) utilizando probe cilíndrico (diâmetro=38 cm). As condições do teste foram: temperatura ambiente; medida de força em compressão; velocidade de teste: 2,0 mm/s; trigger point: 0,1N; distância: 114 mm; target value: 20N e deformação de 7 mm. O parâmetro avaliado foi firmeza e a análise foi realizada em 6 repetições.

2.5 DETERMINAÇÃO DO pH

Realizada em potenciômetro (Hanna Instruments, HI9321, Michigan), previamente calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7, de acordo com o método 981.12 da AOAC (2000).

2.6 BASES NITROGENADAS VOLÁTEIS TOTAIS (N-BVT)

Realizada de acordo com o método descrito pelo Laboratório Nacional de Referência Animal - LANARA (BRASIL, 1981).

2.7 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁCIDO TIOBARBITÚRICO (TBA)

Foi avaliado pela metodologia proposta por Vyncke (1970) e os resultados foram expressos em mg *malonaldeído* (MDA)/ kg.

2.8 ESTABELECIMENTO DE MODELOS PREDITIVOS DE QUALIDADE - CÁLCULOS DOS PARÂMETROS CINÉTICOS

As amostras de *sous vide* de tambaqui armazenadas a $1^{\circ}\text{C}\pm 1$, $4^{\circ}\text{C}\pm 1$ e $10^{\circ}\text{C}\pm 1$ foram analisadas a cada 3 dias. Os resultados obtidos através dos indicadores de qualidade nas contagens de bactérias mesófilas, bactérias psicotróficas, bactérias lácticas e bolores e leveduras, cor instrumental, textura, BVT e TBA foram ajustados pelo

modelo de ordem zero e de primeira ordem (LABUZA, SHAPERO, 1978) que estão representados na equação 4 e 5 abaixo, respectivamente:

$$C_t = C_o - k \cdot t \quad (4)$$

$$\ln \frac{C_t}{C_o} = -kt \quad (5)$$

Onde: C_o = concentração inicial do atributo analisado no tempo 0; C_t = concentração do atributo analisado em um dado tempo t , e o k é a constante de velocidade (dias⁻¹), e o t é o tempo de armazenamento (dias).

Todos os indicadores da qualidade do *sous vide* de tabaqui armazenado em temperaturas controladas (1°C±1, 4°C±1 e 10°C±1) foram analisados para determinar a ordem da reação. Os valores de k foram obtidos através da inclinação da regressão de $\ln(C/C_o)$ versus tempo. Foi analisada a dependência da constante de velocidade (k) sobre a temperatura utilizando a equação de Arrhenius ou a equação modificada de Arrhenius (RATKOWSKY, OLLEY, MCMEEKIN, 1982), equação 6 e 7:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (6)$$

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{RT} \quad (7)$$

Onde k_0 é o fator de frequência, E_A é a energia de ativação (J/mol), T é a temperatura absoluta (K), R é constante dos gases (8,3144 KJ/mol), k_0 e E_A são constantes do experimento relacionada com a natureza do sistema de resposta.

Nas constantes de velocidade calculadas em diferentes temperaturas, a inclinação da linha de regressão ($-E_A/R$) foi obtida através do gráfico $\ln K$ versus $1/T$. A energia de ativação (E_A) foi obtida através da inclinação da linha de regressão, e o fator de frequência (k_0) foi obtido da intercepção da linha de regressão.

Modelos preditivos do *sous vide* de tabaqui armazenados nas temperaturas de 1°C, 4°C e 10°C foram estimados baseados no cálculo da E_a e do K_0 .

2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram realizadas em triplicata. Todos os dados foram submetidos a análises de variância (ANOVA). O teste de Tukey foi utilizado para comparação das médias ($p < 0,05$) no software STATISTICA 6.0. Para a modelagem cinética foram utilizados modelos de regressão linear e não linear, e os critérios de interação utilizados foram o Quasi Newton e Hooke-Jeeves pattern moves.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MUDANÇAS NAS CONTAGENS DE MICRO-ORGANISMOS NOS *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO

Na Figura 1 estão apresentadas as contagens de bactérias mesófilas (Fig. 1a), bactérias psicotróficas (Fig. 1b), bactérias lácticas (Fig. 1c) e bolores e leveduras (Fig. 1d) durante o armazenamento dos *sous vide* de tambaqui em temperaturas diferentes (1°C, 4°C e 10°C). Na Figura 1a observa-se que, as amostras armazenadas na temperatura de 10° C, a partir do 27° dia atingiram contagem de bactérias mesófilas acima do máximo estabelecido pela *International Commission on Microbiological Specifications for Foods* - ICMSF (1986) que é 10^6 UFC/g, estas bactérias são consideradas como indicador microbiológico de qualidade. As amostras armazenadas a 1°C e 4°C ficaram abaixo do limite máximo estabelecido durante os 45 dias de armazenamento, ou seja, os *sous vide* de tambaqui estavam adequados para o consumo. Pode ser observado que o efeito da temperatura influenciou significativamente ($p < 0,05$) nas contagens de bactérias mesófilas. A contagem inicial de bactérias mesófilas encontrada foi de $3,6 \cdot 10^2$ UFC/g e o valor mais alto foi no 45° dia de $4,2 \cdot 10^7$ UFC/g a 10°C. Os valores encontrados nos *sous vide* armazenados a 1° e 4° C estavam abaixo de 10^4 UFC/g no 45° dia.

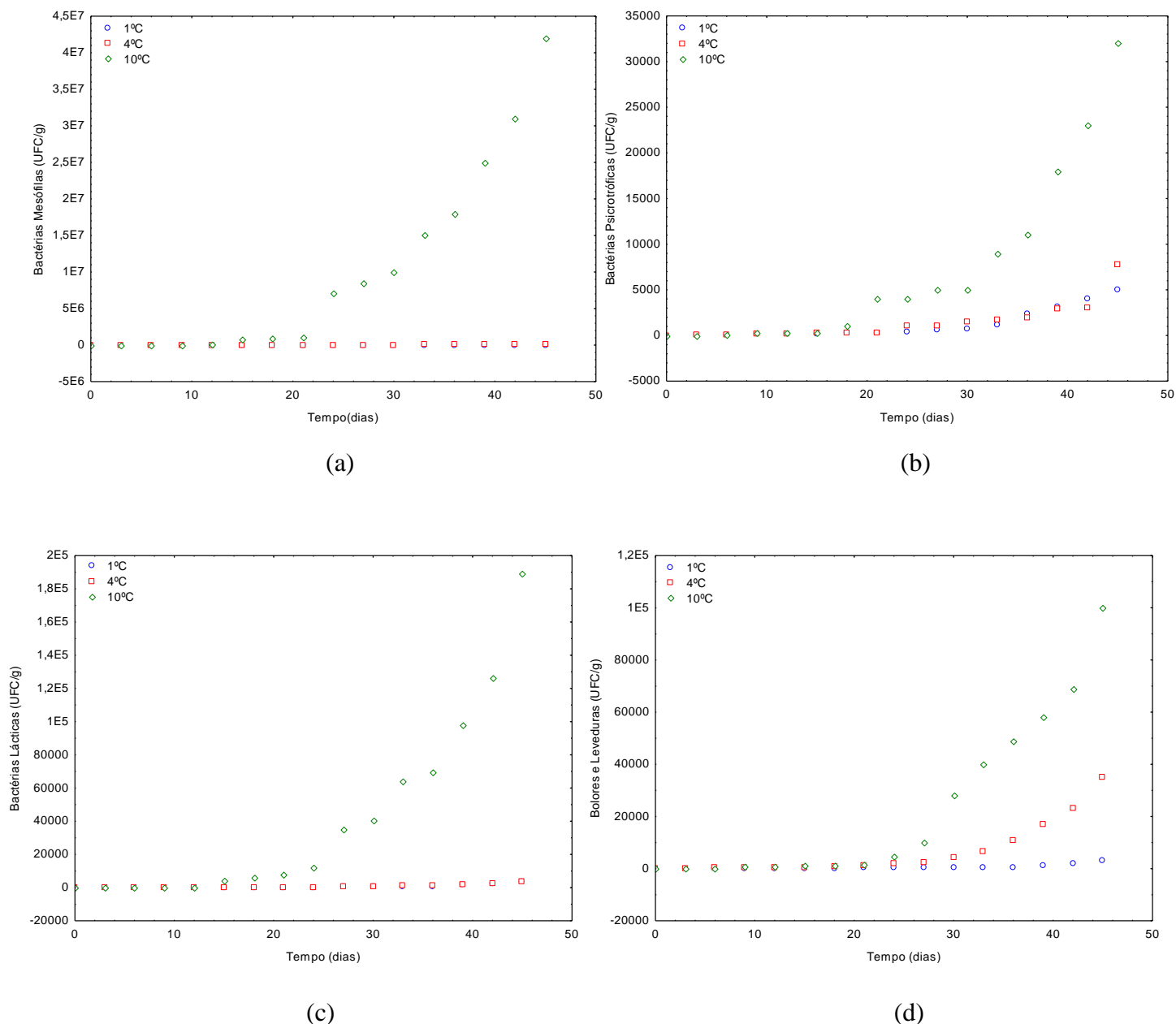


Figura 1. Contagens de micro-organismos durante o armazenamento do *sous vide* (a) Bactérias mesófilas; (b) Bactérias psicotróficas; (c) Bactérias lácticas (d) Bolores e leveduras. Linha azul: ___ (1°C); Linha Vermelha: ___ (4°C); Linha verde: ___ (10°C)

Mol, Ozturan e Consansu (2012) encontraram contagens de bactérias mesófilas em *sous vide* de Badejo do Mar Negro (*Merlangius merlangus euxinus*) de 10^7 UFC/g depois de 42 dias de armazenamento a 4°C, excedendo o limite estabelecido (10^6 UFC/g) a partir do 35º dia, diferente ao encontrado neste estudo que foi a partir do 27º dia e somente na temperatura de 10°C.

As contagens de bactérias psicotróficas estão apresentadas na figura 1b, observando-se que todas as amostras armazenadas em temperaturas diferentes estavam abaixo encontrado por Mol *et al.* (2007) de 10^6 UFC/g. As bactérias psicotróficas podem avaliar o grau de deterioração do produto refrigerado e são os micro-organismos mais importantes nas temperaturas de refrigeração. No último dia de armazenamento ocorreram valores abaixo de 10^4 UFC/g a 1°, 4° e 10°C, o maior valor encontrado de bactérias psicotróficas foi no 45° dia nas amostras armazenadas a 10°C ($3,2 \cdot 10^4$ UFC/g) e a contagem inicial encontrada nos *sous vide* de tambaqui foi de $1,0 \cdot 10^1$ UFC/g. Observa-se na Figura 1b que as temperaturas de armazenamento tiveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas contagens de psicotróficos exceto nos 18°, 24° e 27° dias.

Mol, Ozturan e Consansu (2012) encontraram contagens de bactérias psicotróficas em *sous vide* de Badejo do Mar Negro (*Merlangius merlangus euxinus*) de 10^7 UFC/g depois de 35 dias de armazenamento a 4°C, e as amostras excederam o limite estabelecido (10^6 UFC/g) a partir do 28° dia diferente do encontrado neste estudo, pois nenhuma das amostras armazenadas ultrapassou o limite estabelecido. Mol, Ozturan e Consansu (2012) ao estudar *sous vide* de sarda encontraram contagens de bactérias mesófilas e psicotróficas que excederam o limite estabelecido 10^6 UFC/g (ICMSF 1986; MOL *et al.* 2007), no 21° e 42° dia de armazenamento a 12°C e 4°C, respectivamente. Neste trabalho, a temperatura e tempo de pasteurização utilizados foram 65°C/12min, estudos anteriores com *sous vide* de peixes mostraram que altas temperaturas de cocção atingem contagens mais baixas de bactérias mesófilas e psicotróficas durante o armazenamento (GARCIA-LINARES *et al.* 2004; GONZALEZ-FANDOS *et al.* 2004; PAIK *et al.* 2006). No entanto, o cozimento do *sous vide* a altas temperaturas por um longo período pode diminuir a carga microbiana, mas pode também ocorrer a perda da aceitabilidade sensorial do produto (GONZALEZ-FANDOS *et al.* 2005). Consansu *et al.* (2011) estudando *sous vide* de Badejo do Mar Negro (*Merlangius merlangus euxinus*) encontraram contagens de bactérias mesófilas e psicotróficas acima do limite estabelecido no 35° dia de estocagem a 4°C. Gonzalez-Fandos *et al.* (2005) em *sous vide* de salmão (65°C/10min) encontraram valores para contagens de bactérias mesófilas e psicotróficas acima do limite estabelecido no 45° dia de estocagem.

Segundo Shakila *et al.* (2009) bactérias ácido lácticas são capazes de crescer em ambientes anaeróbios/micro aeróbios e podem estar associadas a deterioração de produtos *sous vide*. A contaminação inicial de bactérias lácticas foi de $5,0 \cdot 10^1$ UFC/g e verifica-se na Figura 1c que houve um aumento do número destas bactérias nos *sous*

vide de tambaqui a partir do 12º dia a níveis de 10^4 UFC/g. A temperatura de armazenamento apresentou um efeito significativo ($p < 0,05$) em relação as contagens de bactérias lácticas durante os 45 dias de armazenamento. Bactérias lácticas são relatadas como micro-organismos predominantes na deterioração de produtos cárneos e produtos embalados a vácuo produzem um ecossistema que estimula o crescimento dessas bactérias.

Segundo Diaz, Garrido e Banon (2011) os bolores e leveduras podem crescer durante a vida de prateleira de *sous vide* quando mantidos sob refrigeração. A Figura 1d mostra aumento das contagens de bolores e leveduras em *sous vide* de tambaqui provavelmente devido a embalagem a vácuo conter oxigênio residual, podendo suportar o crescimento de bactérias microaerófilas e bactérias aerófilas/anaeróbias. Nos *sous vide* de tambaqui armazenados a 1º, 4º e 10ºC, verificou-se que nos tempos 27º e 45º dias as amostras não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) com relação a temperatura de armazenamento. O valor inicial encontrado para estes micro-organismos foi de 5.10^0 UFC/g e no último dia de armazenamento de 1.10^5 UFC/g a 10ºC. Diaz, Garrido e Banon (2011) analisando *sous vide* de salmão armazenados a 2ºC/10 dias verificou que houve um crescimento moderado na contagem de bolores e leveduras durante o armazenamento, com valores médios na 5ª semana de 10^4 UFC/g e na 10ª semana foi de 10^2 UFC/g e não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre os diferentes tempos de armazenamento.

Nesta pesquisa, os micro-organismos mesófilos foram encontrados em maior número do que os demais micro-organismos analisados. De acordo com Paik et al (2006) os micro-organismos mesófilos, que sobrevivem ao processo de pasteurização, crescem também em condições de refrigeração e causam deterioração do produto em temperaturas abusivas.

Estes resultados sugerem que a técnica *sous vide* pode retardar o crescimento de bactérias anaeróbicas nos produtos a base de peixe, mas a temperatura de estocagem é um fator que deve ser considerado, dentre as temperaturas utilizadas no presente estudo, os *sous vide* de tambaquis armazenados a 1ºC apresentaram quanto ao ponto de vista microbiológico as menores contagens dos micro-organismos analisados, e as amostras estavam dentro dos padrões estabelecidos nos quarenta e cinco dias de armazenamento. As amostras armazenadas a 4ºC durante os quarenta e cinco dias de armazenamento apresentaram dentro do limite estabelecido e estavam próprias ao consumo, no entanto as amostras que estavam armazenadas a 1ºC apresentaram as menores contagens de

micro-organismos analisados na presente pesquisa. As amostras armazenadas a 10°C estavam impróprias ao consumo nos últimos dias de armazenamento onde as contagens de bactérias mesófilas e psicotróficas estavam acima do limite permitido.

3.2 MUDANÇAS NA QUALIDADE QUANTO AOS PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO

Nas Figuras 2a e 2b são mostrados as variações dos valores de a_w e pH no *sous vide* de tambaqui armazenados a diferentes temperaturas (1°C, 4°C e 10°C). O valor inicial para a_w foi de 0,989 e observou-se um pequeno aumento na a_w durante os 45 dias de armazenamento nas três temperaturas de estocagem, verificou-se também que o *sous vide* de tambaqui deste trabalho apresentou valores de a_w acima de 0,9 durante o armazenamento, podendo concluir que é um produto susceptível a ocorrer reações químicas e bioquímicas e proliferação de micro-organismos patogênicos e deterioradores diminuindo a qualidade do produto.

Durante o armazenamento nas temperaturas diferentes (1°C, 4°C e 10°C) as amostras apresentaram uma variação significativa ($p < 0,05$) do 3° ao 33° dia de armazenamento, a partir do 36° dia ao 45° dia de armazenamento os *sous vide* armazenados em temperaturas diferentes não variaram significativamente ($p > 0,05$).

A Figura 2a mostra que o valor mais baixo de a_w encontrado foi no 21° dia de 0,960 nas amostras a 1°C e o valor mais alto foi no 30° dia de 0,998 nos *sous vide* armazenados a 4°C. Gonzalez-Fandos et al. (2005) e Diaz, Garrido e Banon (2011) armazenaram *sous vide* de salmão a 2°C e não verificaram diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$) após 45 dias e em cinco semanas de estocagem, os autores encontraram valores de 0,982 e 0,90, respectivamente, estes resultados foram semelhantes aos do presente estudo. Jang et al. (2006) encontraram valores para a_w de 0,95 em *sous vide* de bife coreano a dez dias de estocagem a 8° C. Galimpin-Johan et al. (2007) ao armazenar a 2° C e 10°C *sous vide* de bife “rendang” encontraram valores de a_w de 0,970 e 0,974, respectivamente, em 35 dias de armazenamento.

Os valores de pH encontrados durante o armazenamento a 1°C, 4°C e 10°C estão mostrados na Figura 2b. O valor inicial do pH encontrado no *sous vide* de tambaqui foi de 5,22, o valor mais baixo foi de 4,88 nas amostras armazenadas a 10° C no 12° dia, e o valor mais alto de pH encontrado no estudo foi de 6,09 nos *sous vide* armazenados a

4°C no 12º dia. Segundo a legislação (BRASIL, 1997) estabelece que um peixe para ser considerado deteriorado o pH deve estar acima de 7, observa-se que as amostras durante o armazenamento a diferentes temperaturas não excederam este limite, que pode ter sido pela adição de molho de manjeriço que manteve “acidificado” o produto.

Os *sous vide* de tambaqui apresentaram uma variação significativa ($p < 0,05$) do 3º ao 45º dia de armazenamento nas diferentes temperaturas. Consansu et al.(2011) encontraram em *sous vide* de badejo do mar negro armazenados a 4°C durante 42 dias de estocagem valores de pH acima de 6,12. Na Figura 2b verificou-se que as amostras de *sous vide* permaneceram abaixo desse valor durante os 45 dias em todas as temperaturas de armazenamento do presente trabalho. Mol, Ozturan e Consansu (2012) encontraram valores de pH acima de 6,02 durante 27 dias de armazenamento de *sous vide* de sarda a 4º e 12º C. Diaz et al. (2008) ao analisar *sous vide* de suíno encontrou valores para pH de 6,01 em cinco semanas de armazenamento a 2°C. Picouet et al. (2011) em *sous vide* de salmão submetidos a alta pressão verificou que em treze dias de armazenamento a 4°C os valores de pH aumentaram de 6,38 a 6,45.

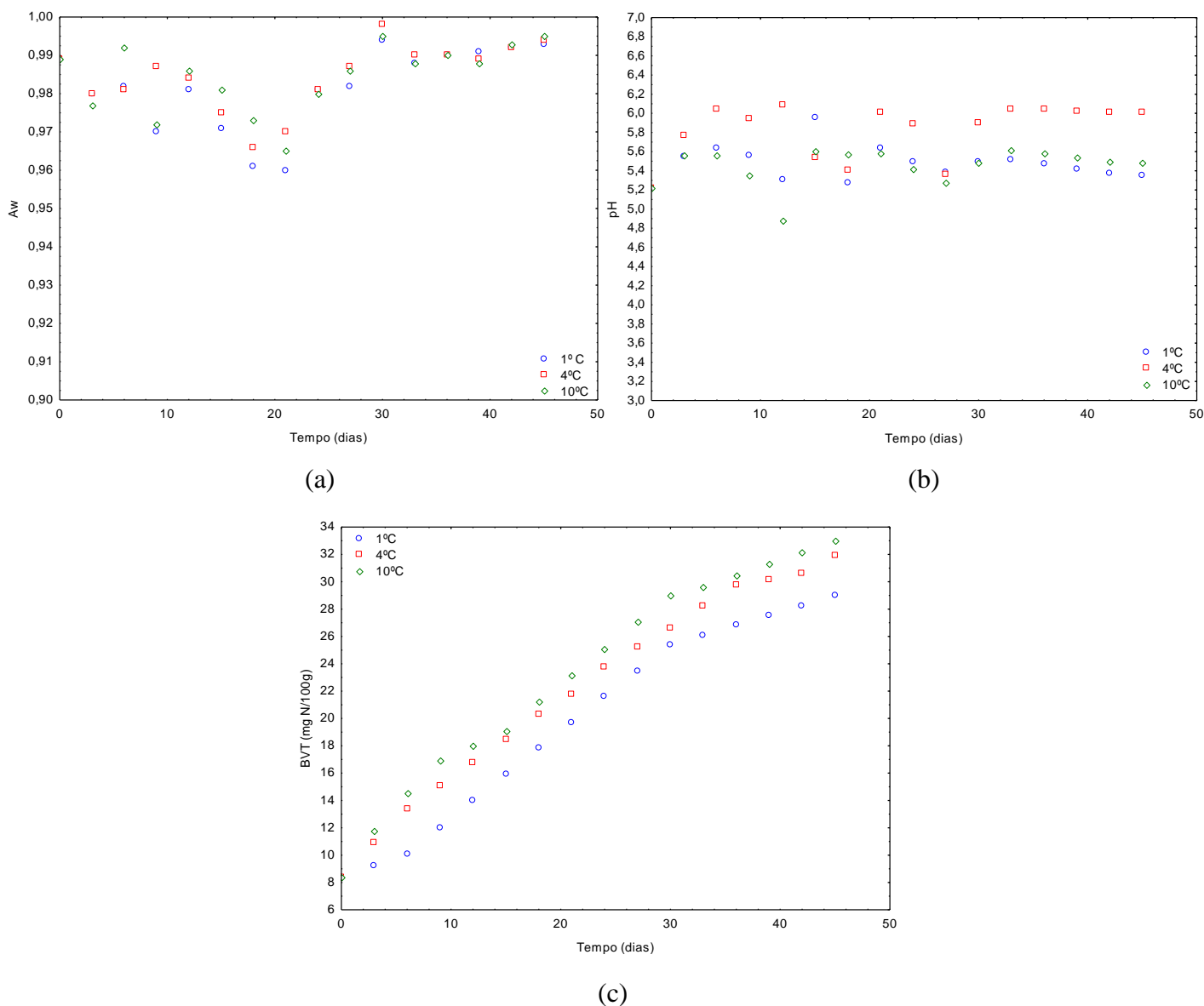


Figura 2. (a) Variação da aw durante o armazenamento do *sous vide*; (b) Variação do pH durante o armazenamento do *sous vide*; (c) Variação do BVT durante o armazenamento do *sous vide*. Linha azul: — (1°C); Linha Vermelha: — (4°C); Linha verde: — (10°C).

Os resultados da análise de BVT nos *sous vide* de tambaqui armazenados a 1°C, 4°C e 10°C estão mostrados na Figura 2c. O valor inicial encontrado foi de 8,38 mgN/100g, e observa-se um aumento nos valores de BVT durante os 45 dias de armazenamento com diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras.

Pode-se observar na Figura 2c que as amostras que apresentaram os maiores valores de BVT foram as armazenadas a 10° C, alcançando valores de 33 mgN/100g (45° dia), acima do valor estabelecido como máximo pela legislação de 30 mg N/100g (BRASIL,1997), os *sous vide* armazenado a 1° C e a 4°C apresentaram valores abaixo do permitido pela legislação, ou seja, as amostras foram consideradas próprias para o

consumo quanto a esse atributo e comprova que produtos armazenados a baixas temperaturas sofrem um retardo na deterioração e na diminuição da qualidade.

Can (2011) encontrou 40,7 mg N/100g de BVT em *sous vide* de carpa no 56º dia armazenado a 10º C e valores abaixo de 30mg N/100g no *sous vide* estocados a 2ºC. Mol, Ozturan e Consansu (2012) ao analisar *sous vide* de sarda armazenados durante 27 dias encontraram valores de BVT de 47,72 mg N/100g a 4º C e de 49,04 mg N/100g a 12ºC. Sallam (2007) analisando *sous vide* de salmão tratado com lactato de sódio encontrou valores iniciais 9,39 de mg N/100g para BVT atingindo valores de 35 mg N/100g no 15º dia de armazenamento a 1ºC.

Nas Figuras 3a e 3b são mostradas as variações dos valores de TBA e firmeza no *sous vide* de tambaquis armazenados a diferentes temperaturas (1ºC, 4ºC e 10ºC). O valor inicial encontrado foi de 0,103 mg MDA/kg (Figura 3a) com aumento nos valores de TBA durante os 45 dias de armazenamento. O valor máximo de TBA encontrado foi de 0,291 mg MDA/kg no *sous vide* armazenados a 4º C. As amostras apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) do 3º ao 45º dia de armazenamento em temperaturas diferentes.

Schormuller (1968) estabeleceu o valor máximo de 8 mg MDA/kg para que o alimento possa ser consumido, sendo assim os valores encontrados pelo presente estudo encontravam-se abaixo do valor citado. Mol, Ozturan e Consansu (2012) encontraram valores de TBA em *sous vide* de sarda armazenados durante 27º dias a 4ºC (16,53 mg MDA/kg) e a 12ºC (19,54 mg MDA/kg), com valor inicial foi de 2,93 mg MDA/kg. Can (2011) encontrou baixos valores de TBA em *sous vide* de carpa que variaram de 0,98 mg MDA/kg a 4,0 mg MDA/kg em temperaturas de 2º C e 10ºC, respectivamente, durante 56 dias de armazenamento. Diaz, Garrido e Banon (2011) ao analisar *sous vide* de salmão encontraram valores de TBA que variaram de 1,10 mg MDA/kg a 2,06 mg MDA/kg em cinco semanas de estocagem a 2º C.

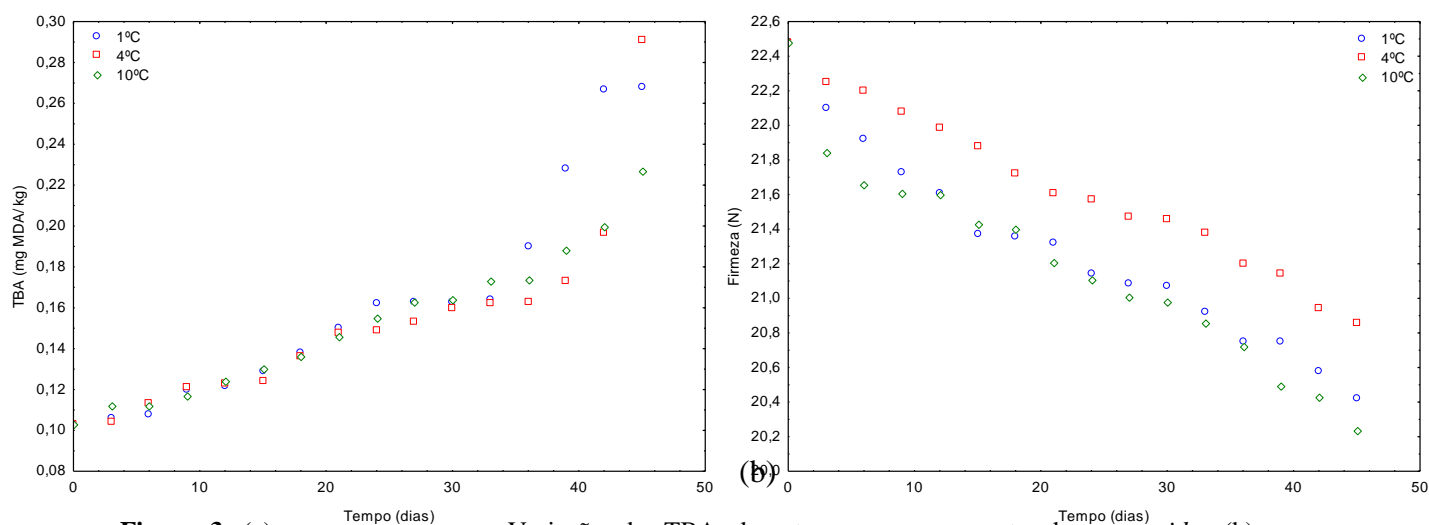


Figura 3. (a) Variação do TBA durante o armazenamento do *sous vide*; (b) Variação da textura durante o armazenamento do *sous vide*. Linha azul: ____ (1°C); Linha Vermelha: ____ (4°C); Linha verde: ____ (10°C)

Na Figura 3b observa-se um decréscimo nos valores de firmeza durante os 45 dias de armazenamento nas três temperaturas de armazenamento. As amostras que apresentaram valores mais elevados de firmeza (20,86 N) foram as que estavam armazenados na temperatura de 4° C no último dia de armazenamento (45° dia).

As amostras apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) do 3° ao 45° dia de armazenamento em temperaturas diferentes. Ao contrário do encontrado neste estudo, Picouet et al.(2011) ao analisar *sous vide* de salmão submetidos a alta pressão verificaram que o valores de textura (firmeza) diminuíram durante o armazenamento a 4° C de 3,20 a 2,50 N. Diaz et al. (2008) ao analisar *sous vide* de suíno verificou que os valores de textura não variaram significativamente ($p > 0,05$) durante cinco semanas a 2° C. Observa-se que os valores de textura do presente trabalho diferiu dos encontrados por outros autores como observado acima, isso deve ter sido pelo tipo de espécie estudada. O parâmetro avaliado para textura foi firmeza e ao observar a Figura 3b nota-se que as amostras ficaram menos firmes, nos últimos dias de armazenamento o que também foi observado ao realizar as análises.

Na Figura 4 são mostrados os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C^* , h e ΔE) no *sous vide* de tambaqui armazenado a diferentes temperaturas (1°C, 4°C e 10°C). Observa-se na Figura 4a que os valores de L^* tiveram tendência a diminuir durante o armazenamento e as amostras de *sous vide* a 10°C apresentaram os menores valores, com valor inicial de 82,24.

As amostras apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) durante o armazenamento exceto no 6º dia que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os *sous vide* armazenados.

O parâmetro L^* está relacionado com a luminosidade quanto maior o valor de L^* mais clara será a amostra. Na Figura 5f pode-se observar que a temperatura foi um fator importante para a mudança deste parâmetro, pois durante o armazenamento as amostras foram ficando mais escuras. Diaz, Garrido e Banon (2011) e Diaz et al. (2008) encontraram valores de L^* (74,87 e 76,70) em *sous vide* de salmão e de suíno respectivamente, armazenados a 2°C durante cinco semanas. Picouet et al. (2011) ao analisar *sous vide* de salmão submetido a alta pressão armazenados a 4°C durante treze dias observaram que os valores de L^* aumentaram de 50,9 a 60,7.

Com relação ao parâmetro a^* (Figura 4b) o valor inicial encontrado foi 1,84 e o maior 6,12 no 21º dia a 10°C. Verificou-se que as amostras apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) durante o armazenamento exceto no 42º dia ($p > 0,05$) entre os *sous vide*.

Este parâmetro está relacionado com a intensidade da cor vermelha e pode-se constatar (Figura 4b) aumento durante o armazenamento. Diaz, Garrido e Banon (2011) e Diaz et al. (2008) encontraram valores de a^* de 15,60 a 15,91 e de 6,57 a 7,19 em *sous vide* de salmão e de suíno, respectivamente armazenados durante cinco semanas a 2°C, observa-se então que o aumento desse parâmetro foi menor do que ao encontrado neste trabalho. Picouet et al. (2011) também verificaram que houve aumento do parâmetro a^* em *sous vide* de salmão submetido a alta pressão e armazenados a 4° C, durante treze dias de armazenamento.

Com relação ao parâmetro b^* verificou-se na Figura 4c que as amostras armazenadas a 1° C apresentaram os maiores valores de b^* . Houve diferença significativa ($p < 0,05$) nos *sous vide* de tambaqui durante os 45 dias de armazenamento em T diferentes.

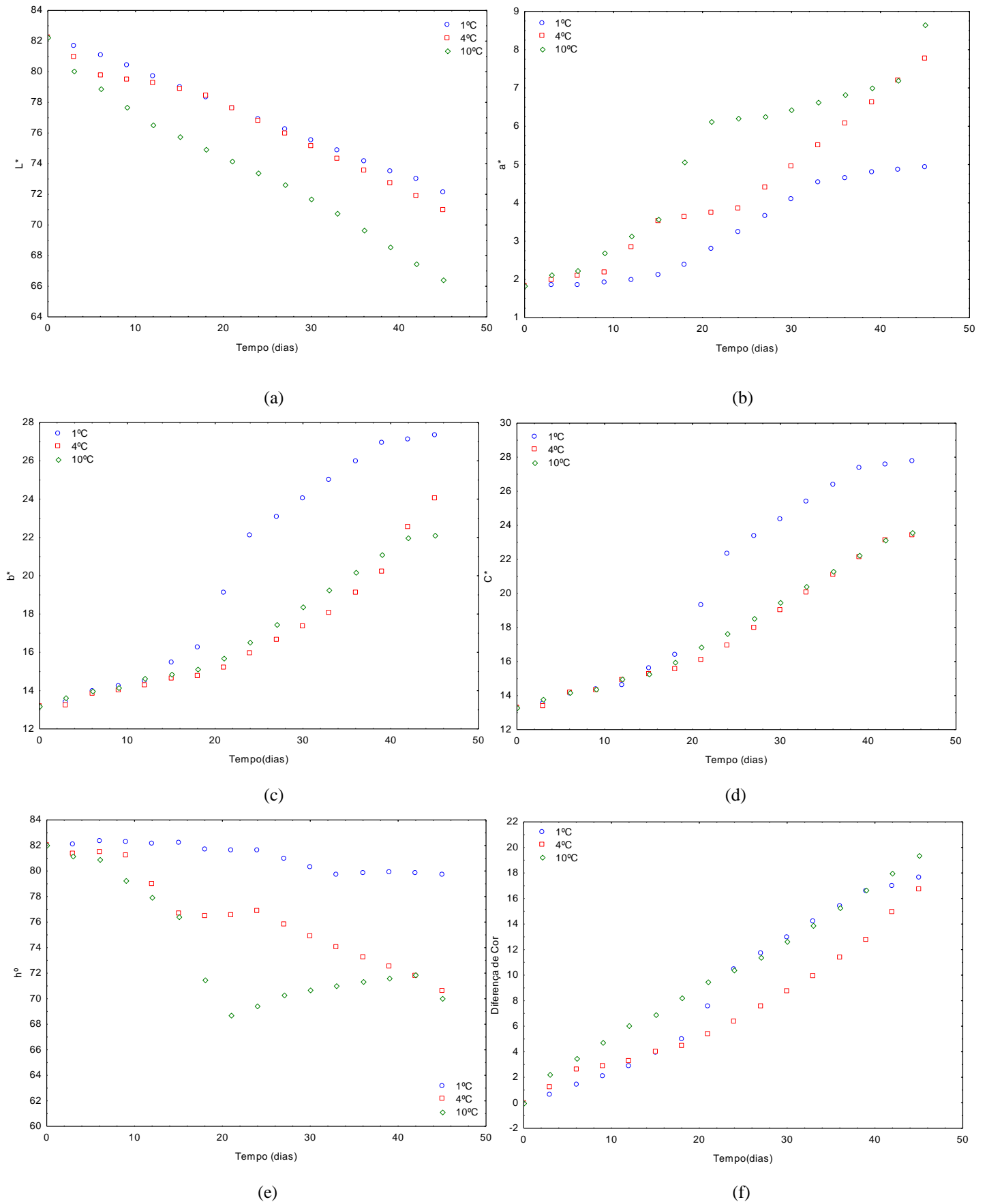


Figura 4. Variação dos parâmetros de cor durante o armazenamento a 1°C, 4° C e 10° C do *sous vide* de tabaqui: (a) L*; (b) a*; (c) b*; (d) Croma; (e) h; (f) ΔE . Linha azul: ___ (1°C); Linha Vermelha: ___ (4°C); Linha verde: ___ (10°C)

O parâmetro b^* está relacionado com a intensidade da cor amarela e observa-se na Figura 4c que ocorreu aumento durante o armazenamento, ou seja, a temperatura (T) é um fator que influencia na mudança. Diaz, Garrido e Banon (2011) encontraram pouca variação no b^* (29,40 a 29,93) em *sous vide* de salmão armazenado durante cinco semanas a 2°C. Diaz et al. (2008) encontrou o b^* de 11,70 a 12,15 em *sous vide* de suíno armazenado durante cinco semanas a 2°C. Picouet et al.(2011) em *sous vide* de salmão submetido a alta pressão armazenados a 4°C observou variação do b^* em treze dias de armazenamento de 18,1 a 21,1. Ao comparar os resultados do parâmetro b^* das pesquisas antes citadas com o presente estudo conclui-se que o *sous vide* de tambaqui maior variação deste parâmetro durante o armazenamento.

A Figura 4d mostra que os *sous vide* de tambaqui apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) do 3º ao 45º dia de armazenamento em temperaturas diferentes com relação ao parâmetro croma (C^*). Como o croma é dependente de a^* e b^* na mesma intensidade, verificou-se que os resultados tiveram maior influência da cor amarela que da cor vermelha, o que já era esperado, visto que os *sous vide* de tambaqui apresentaram coloração clara. Alguns autores também asseguram que o croma está relacionado com a concentração da mioglobina e a sua desnaturação (PULGAR, GASQUEZ, RUIZ-CARRASCAL, 2012). Diaz, Garrido e Banon (2011) encontraram pouca variação nos valores de C^* em cinco semanas de armazenamento de 33,35 a 33,85 em *sous vide* de salmão armazenados a 2°C. Assim como, Diaz et al. (2008) encontraram valores de C^* em cinco semanas de armazenamento de 13,45 a 14,17 em *sous vide* de suíno armazenados a 2°C.

Com relação ao parâmetro ângulo de tonalidade (h^*) verificou na Figura 4e que diminuíram em todas as temperaturas de armazenamento (1°C, 4°C e 10°C). Os *sous vide* de tambaqui apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) durante o armazenamento exceto no 42º dia, entre os *sous vide* armazenados em temperaturas diferentes.

Os valores de h^* variaram entre 85 a 70, ou seja, mesmo havendo essa diminuição desse parâmetro as amostras ainda tendiam para o amarelo e as amostras armazenadas a 1º C foram aquelas que obtiveram valores mais altos ao contrário dos *sous vide* armazenados a 10°C. O ângulo de tonalidade é afetado pelo estado químico da mioglobina e está relacionado inversamente com o valor de a^* , se a mioglobina foi desnaturada mais clara será a amostra (PULGAR, GASQUEZ, RUIZ-CARRASCAL, 2012).

O mesmo foi observado por Diaz et al. (2008) encontraram valores de h^* em cinco semanas de armazenamento de 60,91 a 59,71 em *sous vide* de suíno armazenados a 2°C. No entanto, Diaz, Garrido e Banon (2011) observou que os valores de h^* em cinco semanas de armazenamento aumentaram de 62,04 a 62,14 em *sous vide* de salmão armazenados a 2°C.

O parâmetro diferença de cor (ΔE) está relacionado com a estabilidade de um produto/amostra durante o armazenamento, pode verificar-se na Figura 4f que as amostras armazenadas a 1°, 4° e 10°C comparadas com o início do armazenamento diferiram significativamente ($p < 0,05$) durante todo o período de armazenamento, a cor é considerado um parâmetro de qualidade para o produto e verifica-se que tem relação com o tempo e temperatura de armazenamento influenciando na qualidade do produto. Pode-se verificar na Figura 4 que as amostras submetidas ao armazenamento a 1°C foram aquelas que menos sofreram mudanças no parâmetro de cor durante quarenta e cinco dias de armazenamento. Picouet et al. (2011) estudando *sous vide* de salmão submetido a alta pressão armazenados a 4 ° C encontrou valores de ΔE que variaram em treze dias de armazenamento de 3,3 a 3,5, ou seja não houve uma diferença significativa ($p < 0,05$) durante o armazenamento.

3.3 PARÂMETROS CINÉTICOS DO *SOUS VIDE* DE TAMBAQUI EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO

Inicialmente a modelagem cinética foi realizada considerando que todos os atributos analisados apresentaram um comportamento único durante o armazenamento, onde foram encontrados valores de coeficiente de determinação acima de 0,90, mas os valores do erro médio relativo foram superiores ao sugerido por Lomauro et al (1985) que é de 10%. No entanto, ao avaliar os dados através de gráficos foram observadas várias regiões distintas, sendo assim os dados foram separadas por fases.

Nas Tabelas 8 e 9 são mostrados os parâmetros separados por fases para os modelos de Labuza de ordem zero e primeira ordem, respectivamente. Comparando os valores das tabelas observa-se que os dois modelos obtiveram bons ajustes aos dados das análises físicas e físico-químicas com coeficientes de determinação acima de 0,90, exceto para os resultados de BVT no modelo de 1ª ordem com R^2 de 0,787 nas temperaturas de 10°C, valor não aceitável como índice de confiança por ser menor que 0,80. Sendo assim, o modelo de ordem zero foi o que conseguiu se ajustar melhor aos

resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no *sous vide* de tambaqui ($R^2 > 0,90$; $P < 10\%$).

Ocorreu também uma diminuição dos erros relativos médios, dentro do padrão sugerido por Lomauro et al. (1985), para os dois modelos, exceto nos dados de TBA (4°C / 3ª fase) para o modelo de ordem zero e no ΔE (1°C e 10°C / 1ª fase) para o modelo de primeira ordem, entretanto estavam muito próximos do padrão.

Ao analisar as constantes de velocidades obtidas nos dois modelos verifica-se que ocorreu aumento em alguns parâmetros dessa constante e em outros o valor de k diminuiu. Para o BVT observa-se que o k aumentou com a temperatura, ou seja, a velocidade para ocorrer a reação é maior na temperatura mais alta (10°C), como esse índice detecta deterioração em pescados é importante que sejam armazenados em temperaturas mais baixas para retardar a velocidade da reação.

Zhang et al (2011) estudando a qualidade de modelos para prever filés de carpa (*Ctenopharyngodon idellus*) armazenados a diferentes temperaturas ($-3, 0, 3, 9$ e 15°C) verificaram altos valores de R^2 ($> 0,90$) usando o modelo de Labuza (1ª ordem) para os valores de BVT, TBA e contagem de bactérias mesófilas, sendo assim este modelo pode prever as mudanças de qualidade desses peixes nessas temperaturas de armazenamento.

Tsironi et al (2011) usando modelos preditivos para monitorar a vida de prateleira de filés de dourada (*Sparus aurata*) armazenados a $0; 2,5; 5; 10$ e 15°C verificaram um melhor ajuste no modelo de 1ª ordem da eq. Labuza ($R^2 = 0,97$) com relação as mudanças nos parâmetros de cor.

Niamnuy et al. (2008) estudando camarão seco durante o armazenamento a $4, 15$ e 25°C verificou com a relação aos parâmetro de cor todos se ajustaram ao modelo de 1º ordem com coeficiente de correlação acima de $0,95$. Os autores também verificaram baixos valores de E_a indicando baixa sensibilidade às mudanças de temperaturas.

Nas Tabelas 10 e 11 são mostrados os parâmetros das análises microbiológicas nas diferentes fases encontradas para o modelo de Labuza de zero e primeira ordem, respectivamente. Comparando os valores das tabelas observa-se que os dois modelos obtiveram bons ajustes aos dados das análises microbiológicas sendo que os coeficientes de determinação apresentaram valores acima de $0,80$ (Tabelas 10 e 11).

Com relação aos erros relativos médios, a maioria dos valores encontrados estavam dentro do padrão de 10% sugerido por Lomauro et al. (1985), para os dois modelos. No modelo de ordem zero nas contagens de bactérias psicotróficas a 10°C / 1ª

fase, bolores e leveduras 4°C/3ª fase e no de primeira ordem para bactérias psicotróficas 1° C /4ª fase e 4°C/2ª fase e bactérias lácticas 10° C/ 2ª fase apresentaram o valor de P fora do padrão. Sendo assim, o modelo de ordem zero se ajustou melhor aos dados das bactérias psicotróficas, bactérias lácticas e bolores e levedura, e o modelo de 1ª ordem se ajustou melhor aos dados das bactérias mesófilas. Verifica-se então que o modelo de ordem zero foi o que melhor se ajustou aos dados tanto para os parâmetros físico-químicos quanto para o microbiológico isso deve ao fato de ser um modelo mais simples com poucos parâmetros, isso facilita um melhor ajuste desse modelo aos dados.

Analisando as Tabelas 10 e 11 foi observado aumento da constante de velocidade para as bactérias mesófilas e lácticas com a temperatura para os dois modelos estudados, estando de acordo com o comportamento dessas bactérias que se desenvolvem em temperaturas mais altas fazendo com que esses micro-organismos se multipliquem rapidamente contribuindo para a deterioração do produto. Com relação as bactérias psicrotróficas e os bolores e leveduras não foi observado este comportamento.

Tabela 8. Parâmetros cinéticos de zero para as mudanças físico-químicas nos sous vide de tambaqui em diferentes temperaturas de armazenamento

Análises	Temp (°C)	1ª fase			2ª fase			3ª fase		
		K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*
Textura	1	-0,049	0,933	0,795						
	4	-0,036	0,989	0,270						
	10	-0,050	0,906	0,880						
BVT	1	0,504	0,988	3,42						
	4	0,581	0,982	5,77						
	10	0,620	0,967	6,62						
TBA	1	0,002	0,964	3,40	0,0002	0,949	0,12	0,009	0,974	3,27
	4	0,002	0,965	2,23	0,001	0,969	1,09	0,014	0,901	10,39
	10	0,002	0,984	2,26	0,001	0,934	7,45	0,006	0,981	1,61
C*	1	0,150	0,963	1,50	0,985	1,000	0,10	0,2748	0,980	1,22
	4	0,129	0,989	0,702	0,323	0,997	0,65			
	10	0,133	0,993	0,442	0,290	0,999	0,52			
ΔE	1	0,260	0,997	9,530	0,912	0,999	0,98	0,353	0,991	1,89
	4	0,429	0,999	1,156	0,165	0,989	3,01	0,448	0,992	4,95
	10	0,431	0,996	7,98						

Tabela 9. Parâmetros cinéticos de primeira ordem para as mudanças físico-químicas nos sous vide de tambaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.

Análises	Temp (°C)	1ª fase			2ª fase			3ª fase		
		K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*
Textura	1	-0,002	0,940	0,76						
	4	-0,001	0,990	0,25						
	10	-0,002	0,914	0,83						
BVT	1	0,031	0,920	1,68						
	4	0,033	0,851	2,62						
	10	0,035	0,787	3,03						
TBA	1	0,017	0,979	2,52	0,001	0,949	0,13	0,044	0,974	4,10
	4	0,016	0,973	1,97	0,007	0,969	0,90	0,062	0,901	9,34
	10	0,016	0,994	1,45	0,008	0,934	0,95	0,029	0,981	1,24
C*	1	0,010	0,970	1,32	0,051	1,000	0,41	0,011	0,980	1,43
	4	0,009	0,991	0,69	0,009	0,992	8,96			
	10	0,009	0,992	0,50	0,015	0,999	0,75			
ΔE	1	0,133	0,995	12,52	0,123	0,999	1,97	0,025	0,991	3,00
	4	0,242	0,999	0,001	0,048	0,988	2,02	0,048	0,988	2,55
	10	0,045	0,998	12,86						

Tabela 10. Parâmetros cinéticos de zero para as mudanças microbiológicas nos sous vide de tambaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.

Análises	Temp (°C)	1ª fase			2ª fase			3ª fase			4ª fase			5ª fase		
		K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	*P
Bactérias Mesófilas	1	90,71	0,919	8,76	168,06	0,998	2,53	379,00	0,989	1,38						
	4	258,09	0,979	5,92	528,00	0,992	5,62	2,5.10 ³	0,993	6,22	5,1.10 ³	1,000	0,04			
	10	951,43	0,989	5,26	1,0.10 ⁵	0,932	8,53	1,5.10 ⁶	0,967	10,39						
Bactérias Psicrotróficas	1	19,05	0,969	3,25	9,00	0,894	7,57	51,00	0,997	3,31	2,1.10 ³	0,995	1,52			
	4	17,62	0,918	3,98	19,33	0,949	8,91	223,33	0,825	5,01						
	10	19,45	0,949	11,73	618,33	0,942	3,18	133,33	0,894	4,50	122,85	0,966	5,01			
Bactérias Lácticas	1	2,86	0,922	4,91	5,62	0,971	6,69	43,33	0,997	2,98						
	4	4,52	0,989	2,58	5,00	0,964	2,09	21,17	0,986	5,21	78,33	0,970	8,42	217,3	0,979	9,30
	10	8,09	0,929	1,73	806,09	0,979	4,67	4,8.10 ³	0,978	7,38	1,3.10 ⁴	0,978	7,32			
Bolors e Leveduras	1	1,40	0,988	3,69	4,50	0,978	6,56	22,61	0,994	4,42	273,3	0,984	15,2			
	4	40,62	0,972	9,80	208,33	0,987	3,73	1,7.10 ³	0,960	13,51						
	10	4,33	0,992	4,44	67,51	0,927	4,77	3,9.10 ³	0,980	11,76						

*erro médio relativo

Tabela 11. Parâmetros cinéticos de primeira ordem para as mudanças microbiológicas nos sous vide de tambaqui em diferentes temperaturas de armazenamento

Análises	Temp (°C)	1ª fase			2ª fase			3ª fase			4ª fase			5ª fase		
		K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*	K(d ⁻¹)	R ²	P*
Bactérias Mesófilas	1	0,142	0,978	4,59	0,050	0,998	8,90	0,050	0,994	0,995						
	4	0,305	0,987	5,05	0,092	0,990	1,53	0,097	0,992	6,99	0,081	1,000	1,28			
	10	0,494	0,919	0,99	0,404	0,925	10,28	0,087	0,961	3,76						
Bactérias Psicrotróficas	1	0,338	0,967	7,76	0,037	0,894	6,97	0,104	0,996	2,26	0,127	0,996	8,59			
	4	0,333	0,972	0,62	0,049	0,949	2,56	0,104	0,825	6,27						
	10	0,353	0,994	1,92	0,234	0,806	14,94	0,030	0,894	4,48	0,120	0,980	4,39	0,106	0,979	3,03
Bactérias Lácticas	1	0,005	0,999	5,90	0,009	0,995	3,91	0,084	0,997	2,76	0,167	0,999	5,99			
	4	0,068	0,985	2,68	0,048	0,982	2,49	0,107	0,986	5,48	0,134	0,985	1,27			
	10	0,109	0,996	1,52	0,309	0,972	12,62	0,092	0,947	6,59						
Bolors e Leveduras	1	0,166	0,946	7,23	0,187	0,989	11,94	0,083	0,993	10,21	0,181	0,984	4,68			
	4	0,493	0,779	15,93	0,135	0,852	15,57									
	10	0,307	0,904	1,65	0,275	0,997	11,37									

*erro médio relativo

A Figura 5 mostra os dois modelos de ordem zero e de primeira ordem de Labuza ajustados aos resultados das análises realizadas no presente estudo, onde observa-se o comportamento de cada atributo. Nas Figuras 5a e 5b observa-se apenas uma fase para o parâmetro de textura obtendo bons ajustes nos dois modelos, onde a força aplicada sobre o produto diminuiu durante o armazenamento. Para o BVT (Figura 5c e 5d) observa-se um melhor ajuste ao modelo de zero ordem, ou seja, o aumento desse parâmetro ocorreu de forma linear.

Os valores obtidos de TBA apresentaram durante o armazenamento três fases de comportamento nas temperaturas estudadas verifica-se nas Figuras 5e e 5f que os dados aumentaram de forma linear até o 24º dia, apresentando a sua segunda fase de forma estacionária e depois do 33º dia (3ª fase) os valores aumentaram até o último dia de armazenamento.

Os dois modelos de ordem zero e de primeira ordem foram ajustados também para os parâmetros de cor (C^* e ΔE), onde os dados de croma apresentaram comportamento diferentes em relação as temperaturas estudadas, sendo que para a temperatura de 1°C ocorreram três fases para os dois modelos enquanto para as temperaturas de 4° e 10 °C apenas duas fases. Os valores de croma aumentaram durante o armazenamento visto que esse parâmetro verifica a dependência do a^* e b^* , como já citado anteriormente, item 3.2, as amostras analisadas dependem mais do parâmetro b^* (intensidade do amarelo) que do a^* como pode ser observado nas Figuras 5e e 5f. Analisando o ΔE verifica-se nas Figuras 9i e 9j que o modelo de ordem zero se ajustou melhor que os de primeira ordem para a faixa de temperatura estudada, observa-se também que esse parâmetro aumentou durante o armazenamento.

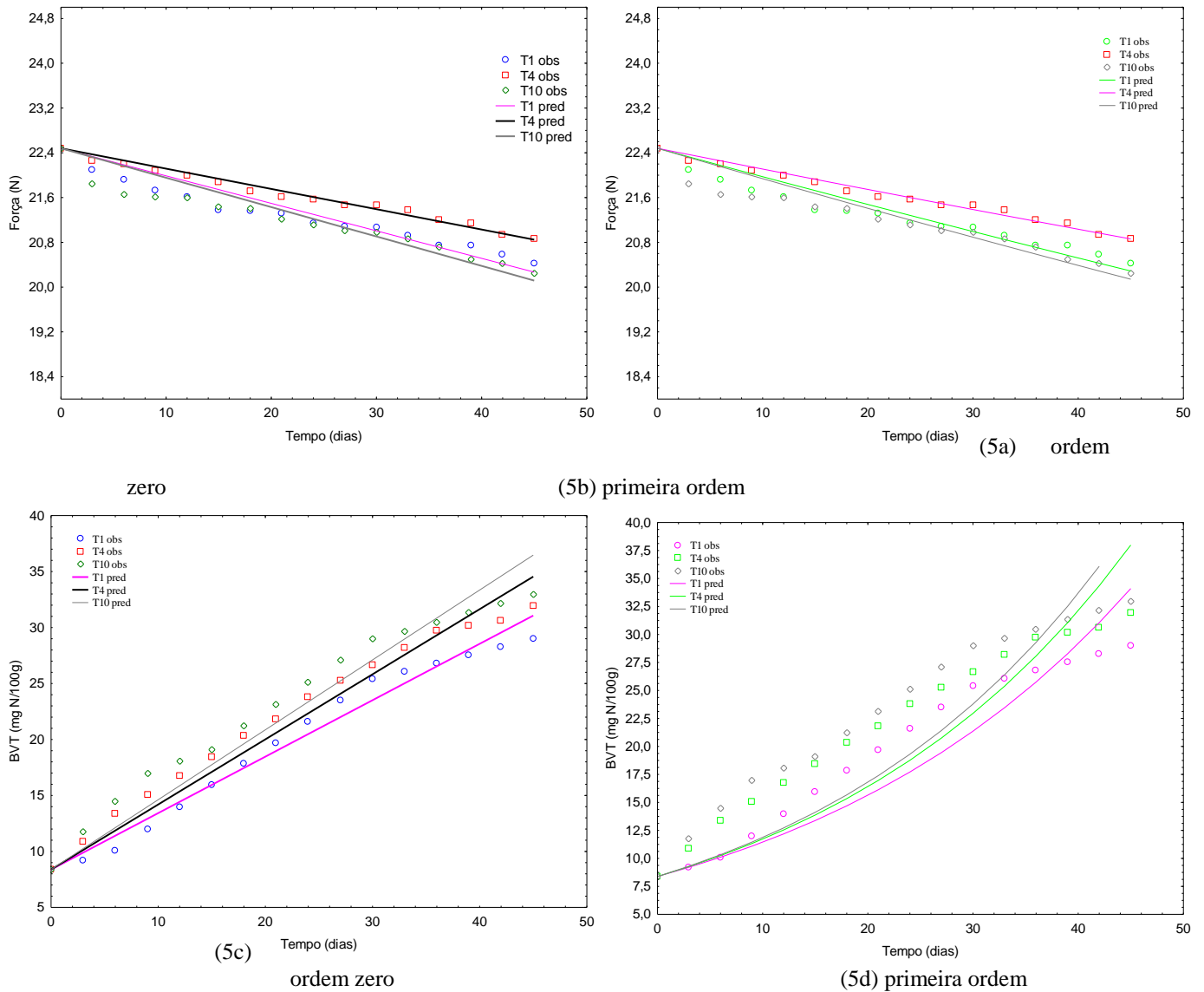
As contagens de bactérias mesófilas apresentaram mais de três fases (Figuras 5k e 5l) e o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o de primeira ordem de forma exponencial notando-se um aumento desses micro-organismos na temperatura de 10°C. Para retardar o crescimento desses micro-organismos é necessário armazenar o *sous vide* de tambaqui em temperaturas mais baixas de refrigeração.

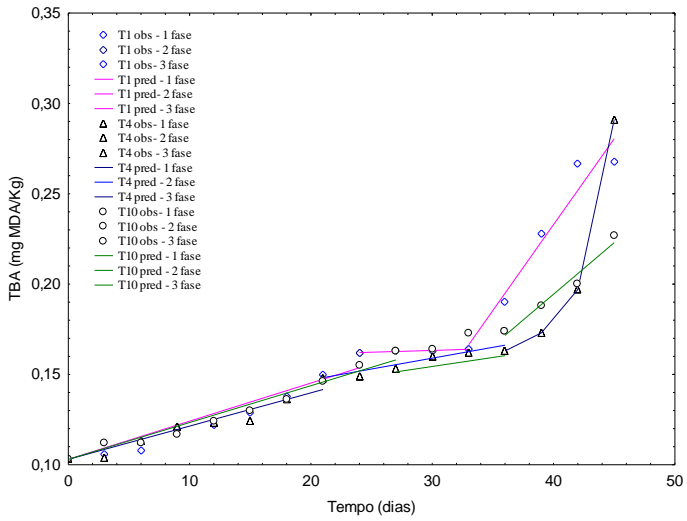
As contagens de bactérias psicotróficas apresentaram (Figuras 5m e 5n) mais de 3 fases para os dois modelos estudados e observa-se também que a baixas temperaturas (1° e 4 °C) o crescimento dessas bactérias foi menor.

O comportamento das bactérias lácticas é mostrado nas Figuras 5o e 5p e verificou-se que os dois modelos de Labuza se ajustaram aos dados desse estudo. Para os bolores e leveduras (Figuras 5q e 5r) o modelo de ordem zero foi o que se ajustou

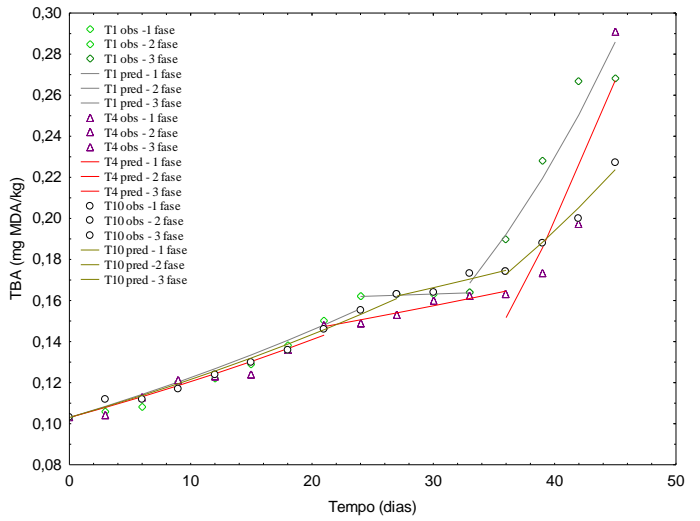
para os dados de todas as temperaturas estudadas ao contrário do modelo de primeira ordem que na 3ª fase (10°C) não apresentou um bom ajuste.

Figura 5. Ajuste dos modelos zero ordem e primeira ordem aos parâmetros analisados no *sous vide* de tabaqui.

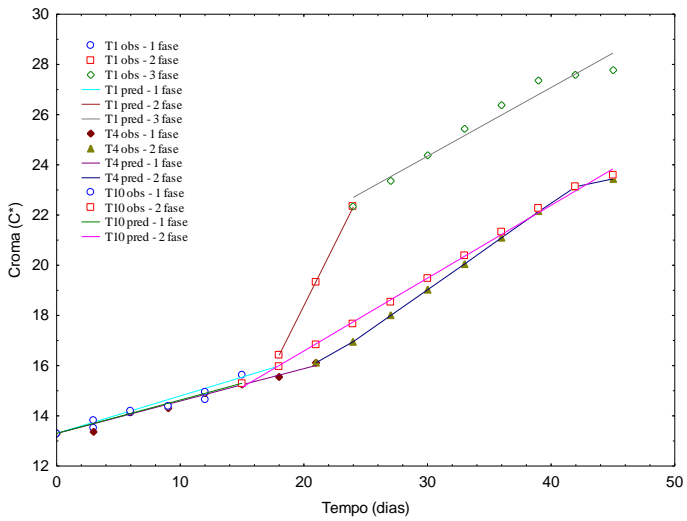




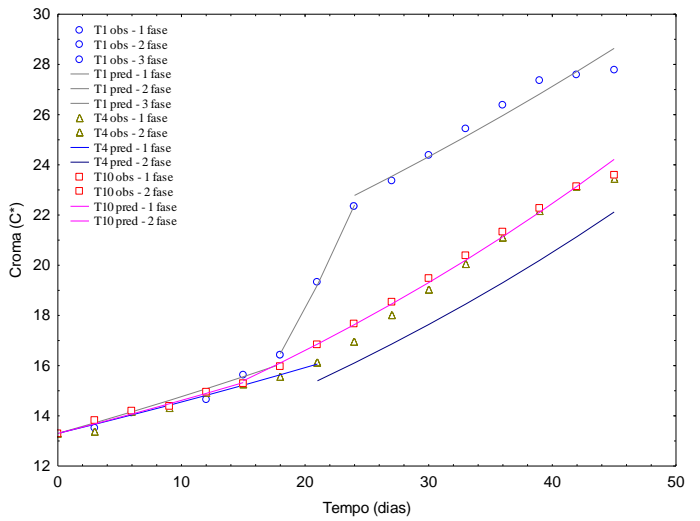
(5e) ordem zero



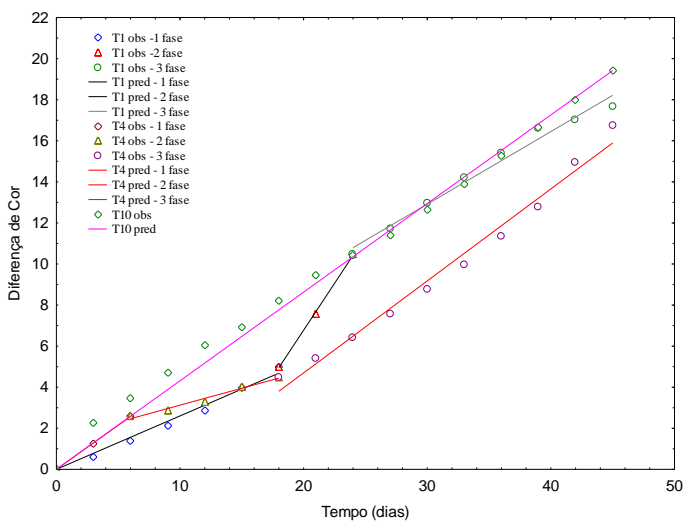
(5f) primeira ordem



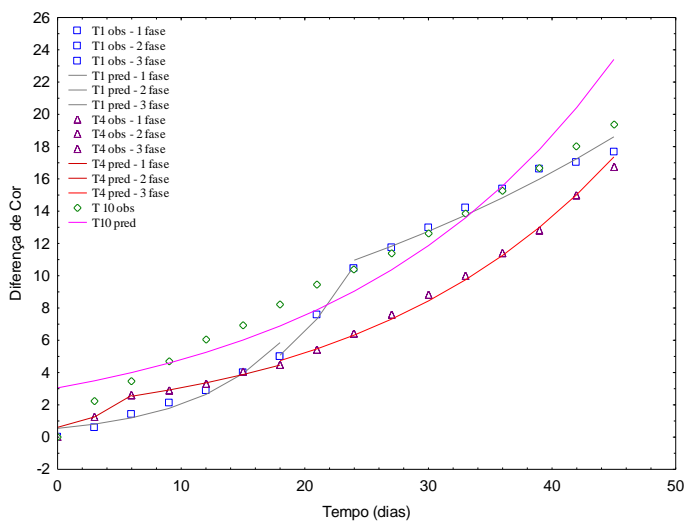
(5g) ordem zero



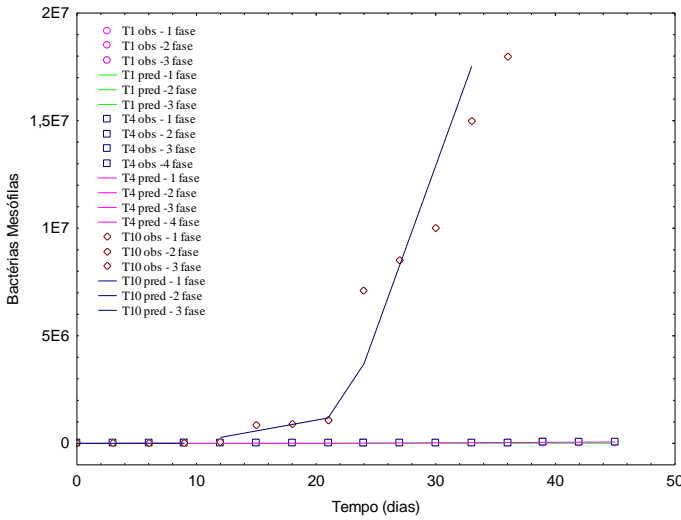
(5h) primeira ordem



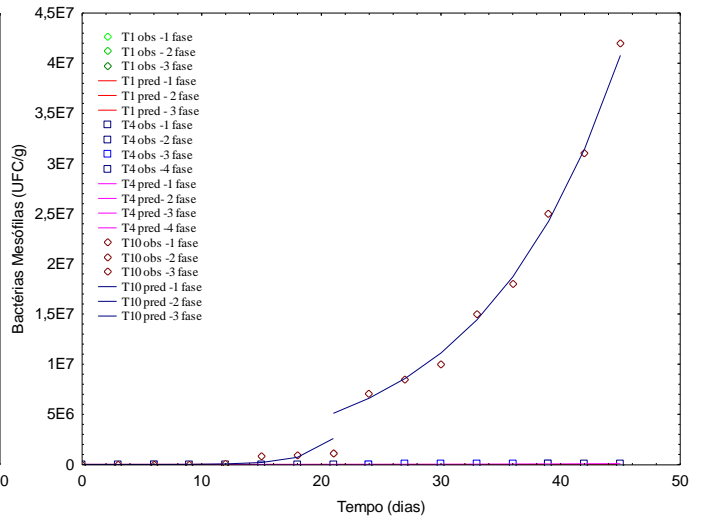
(5i) ordem zero



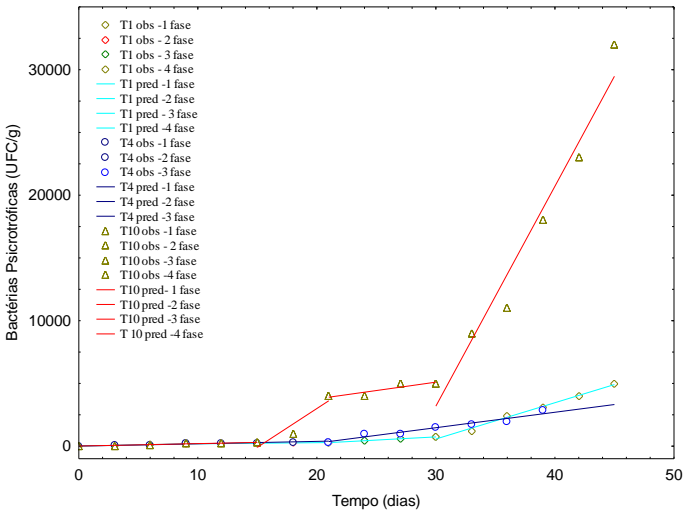
(5j) primeira ordem



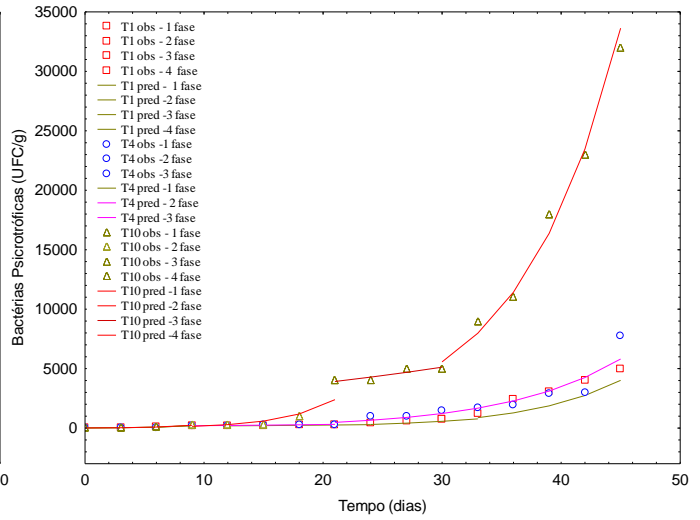
(5k) ordem zero



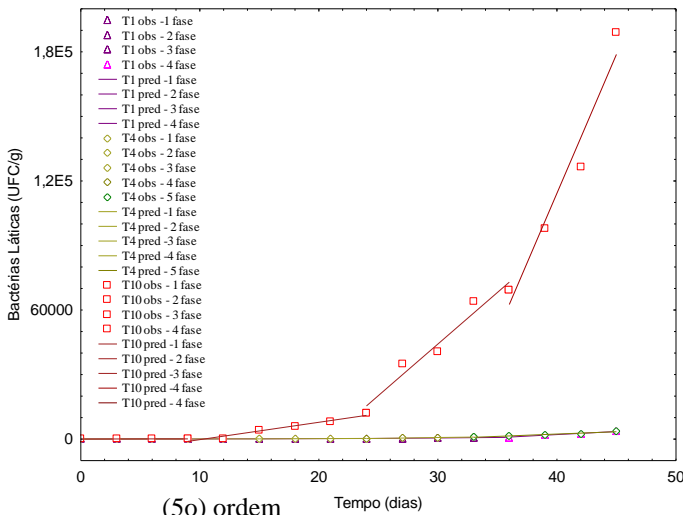
(5l) primeira ordem



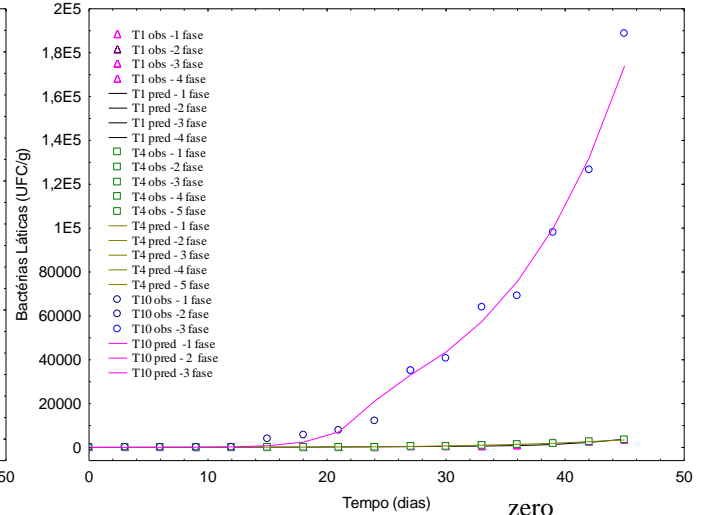
(5m) ordem zero



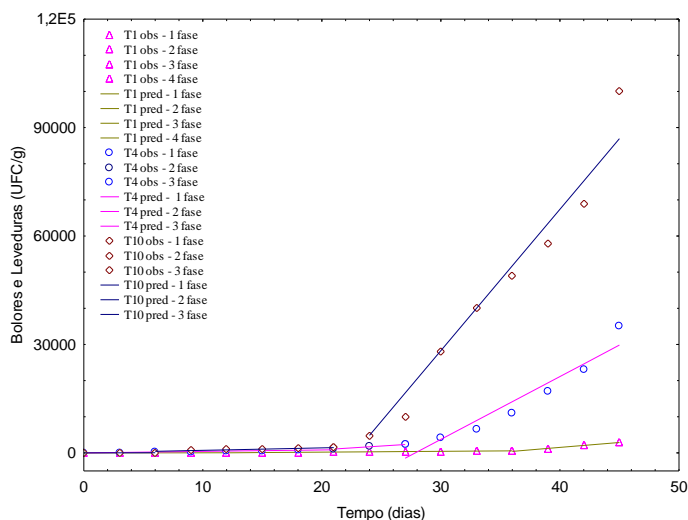
(5n) primeira ordem



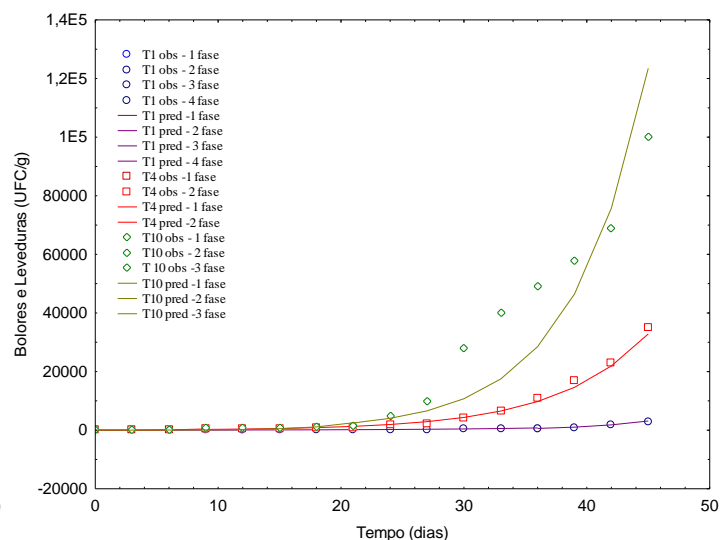
(5o) ordem zero



(5p) primeira ordem



(5q) ordem zero



(5r) primeira ordem

*Fig. 5a e 5b – Gráfico Textura; Fig. 5c e 5d – Gráfico BVT; Fig. 5e e 5f – Gráfico TBA; Fig. 5g e 5h – Gráfico Cromo; Fig. 5i e 5j – Gráfico Diferença de Cor; Fig. 5k e 5l – Gráfico Bactérias Mesófilas; Fig. 5m e 5n – Gráfico Psicrotróficas; Fig. 5o e 5p – Gráfico Bactérias Láticas; Fig. 5q e 5r – Gráfico Bolores e Leveduras.

Verificam-se nas Tabelas 12 e 13 os valores da energia de ativação obtidos pela equação de Arrhenius para as análises físicas e físico-químicas analisadas, sabe-se a equação de Arrhenius indica se há uma dependência da constante de velocidade (k) com a temperatura. Para verificar se a constante de velocidade é influenciada pela temperatura foram obtidos os coeficientes de correlação (R^2) e o erro médio relativo (P). Com relação as constantes de velocidades encontradas no modelo de ordem zero, observa-se que a equação de Arrhenius se ajustou aos dados de BVT e TBA (1ª fase), C^* (2ª fase), ΔE (2ª fase/3ª fase) obtendo maiores valores de R^2 e o P (%). Para os valores de k do Cromo (1ª fase), ΔE (1ª fase) e TBA (2ª fase/3ª fase) o modelo de Arrhenius não se ajustou aos dados encontrados com valores de R^2 abaixo de 0,80 e P maior que 10%. Para o modelo de primeira ordem este se ajustou aos dados de BVT e TBA (1ª fase) e ΔE (2ª fase/3ª fase). Observa-se que os dois modelos não se ajustaram nas primeiras fases dos atributos analisados, que foram os tempos iniciais de armazenamento podendo então não interferir na mudança dos parâmetros inicialmente.

Tabela 12. Parâmetros cinéticos da equação de Arhenius ajustados ao modelo de zero ordem para as mudanças físico e físico-químicos nos seus vide de tabaqui.

Análises	1ª fase				2ª fase				3ª fase			
	K0	Ea(Kj/mol K)	R ²	*P	K0	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	K0	Ea(Kj/molK)	R ²	P*
BVT	3,92	7,5.10 ³	0,933	2,89								
TBA	0,002	0	0,999	0,00	35,68	49,53	0,7612	6,19	-20,96	3,7.10 ⁴	0,629	5,49
C*	-5,01	6,9.10 ³	0,623	2,37	-34,24	7,7.10 ⁴	0,810	2,37				
ΔE	12,56	3,2.10 ⁴	0,766	2,42	-157,95	3,6.10 ⁵	0,999	0,005	20,96	5,0.10 ⁴	0,999	0,003

*erro médio relativo

Tabela 13. Parâmetros cinéticos da equação de Arhenius ajustados ao modelo de primeira ordem para as mudanças físico e físico-químicos nos seus vide de tabaqui.

Análises	1ª fase				2ª fase				3ª fase			
	K0	Ea(Kj/mol K)	R ²	P*	K0	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	K0	Ea(Kj/molK)	R ²	P*
BVT	0,214	8.4.10 ³	0,980	0,26								
TBA	-9,67	1,3.10 ⁴	0,999	0,00	51,00	1,3.10 ⁵	0,797	9,78	-19,16	3,6.10 ⁴	0,690	6,95
C*	-7,49	6,5.10 ³	0,761	0,63	-33,49	6,8.10 ⁴	0,543	14,58				
ΔE	-41,94	9,2.10 ⁴	0,765	23,74	56,54	1,9.10 ⁵	0,999	0,00	56,54	1,4.10 ⁵	0,999	0,00

*erro médio relativo

Nas Tabelas 14 e 15 encontram-se os valores da energia de ativação obtidos pela equação de Arrhenius para as análises microbiológicas. Com relação as constantes de velocidades encontradas no modelo de ordem zero, observa-se que a equação de Arrhenius se ajustou aos dados de mesófilos, psicotróficos, bactérias lácticas e bolores e leveduras (3ª fase) obtendo maiores valores de R^2 e o P (%), exceto nas amostras de mesófilos (1ª fase) com o P maior que 10%, mas próximo do limite estabelecido (tabela 15). Os valores de k para as contagens de bolores e leveduras nas primeiras fases (1ª e 2ª fase), não se ajustaram ao modelo de Arrhenius onde foram encontrados valores de R^2 abaixo de 0,80 e P maior que 10%.

Para as constantes de velocidade do modelo de primeira ordem verificou-se que o modelo de Arrhenius se ajustou aos dados de mesófilos (1ª fase), para os psicotróficos, bactérias lácticas e bolores e leveduras somente se ajustaram na 2ª e 3ª fase. Verifica-se também que nos parâmetros que o modelo de Arrhenius se ajustou aos dados foram obtidos altos valores de E_a indicando que a constante de velocidade (k) é mais sensível ao aumento de temperatura. Observa-se também que a diferença nos valores das energias de ativação para os *sous vide* de tambaqui nas contagens de micro-organismos (bactérias mesófilas, bactérias psicotróficas, bactérias lácticas e bolores e leveduras) foi em decorrência dos diferentes grupos de micro-organismos analisados e das diferentes temperaturas utilizadas o que diferiu a velocidade de crescimento desses micro-organismos.

Ao comparar os valores da energia de ativação dos parâmetros físico-químicos e dos microbiológicos observa-se que apresentou E_a mais elevada para as contagens de micro-organismos, indicando maior dependência destes com a E_a sendo, portanto os micro-organismos mais sensíveis a variação da temperatura que os parâmetros físico-químicos. No geral, as constantes de velocidade do modelo de zero ordem foram as que mais se ajustaram a equação de Arrhenius para os resultados das análises microbiológicas e físico-químicas.

Zhang et al (2011) estudando a qualidade de modelos para prever filés de carpa (*Ctenopharyngodon idellus*) armazenados a diferentes temperaturas (-3, 0, 3, 9 e 15°C) verificaram altos valores de R^2 (>0,90) e baixos de P (%) usando a equação de Arrhenius para os valores de BVT, TBA e contagem de bactérias mesófilas.

Tsironi et al (2011) utilizando modelos preditivos para monitorar a vida de prateleira de filés de dourada (*Sparus aurata*) armazenados a 0, 2,5, 5, 10 e 15 °C verificaram que os resultados se ajustaram a equação de Arrhenius ($R^2 > 0,99$), com isso

os autores comprovaram a relação entre a dependência de temperatura e o crescimento de bactérias lácticas encontrando E_a de 100,2 kJ/mol.

Tsironi e Taoukis (2010) ao avaliar a deterioração e qualidade de filés de dourada (*Sparus aurata*) armazenados a 0, 5, 10 e 15°C também verificaram que os resultados das contagens de bactérias lácticas e bolores leveduras se ajustaram pela equação de Arrhenius e pelo modelo de 1ª ordem ($R^2 > 0,93$) na faixa de temperatura estudada, os valores de E_a encontrados pelos autores variaram de 52 a 63 KJ/mol e não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$).

Tabela 14. Parâmetros cinéticos de zero para as mudanças microbiológicas nos sous vide de tambaqui em diferentes temperaturas de armazenamento.

Análises	1ª fase				2ª fase				3ª fase				4ª fase			
	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*
Bactérias Mesófilas	29,20	7,0.10 ⁴	0,899	14,68	89,43	7,6.10 ²	0,997	8,07								
Bactérias Psicrotróficas	3,62	5,9.10 ³	0,997	2,38	-58,55	1,3.10 ⁵	0,999	0,02	47,95	1,1.10 ⁵	0,999	10,64	-44,74	9,7.10 ⁴	0,999	0,001
Bactérias Lácticas	18,45	4,9.10 ⁴	0,998	0,59	35,37	8,6.10 ⁴	0,991	3,11	-17,89	3,6.10 ⁴	0,999	0,00				
Bolores e Leveduras	23,49	5,6.10 ⁴	0,647	27,38	-78,18	1,7.10 ⁵	0,944	10,36	17,85	4,5.10 ⁴	0,817	10,30				

*erro médio relativo

Tabela 15. Parâmetros cinéticos de primeira ordem para as mudanças microbiológicas nos sous vide de tambaqui em diferentes temperaturas de armazenamento

Análises	1ª fase				2ª fase				3ª fase				4ª fase			
	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*	Ko	Ea(Kj/molK)	R ²	P*
Bactérias Mesófilas	22,29	5,9.10 ⁴	0,855	5,93	91,86	7,6.10 ²	0,746	21,26								
Bactérias Psicrotróficas	2,87	1,3.10 ³	0,761	0,25	-12,23	1,7.10 ⁴	0,999	0,01	42,58	1,1.10 ⁴	0,912	6,67	-52,71	1,1.10 ⁵	0,999	5,47
Bactérias Lácticas	2,24	1,3.10 ⁴	0,780	6,67	12,64	3,8.10 ⁴	0,999	0,01	-34,21	6,9.10 ⁴	0,999	0,001				
Bolores e Leveduras	21,96	5,6*10 ⁴	0,722	13,79	-4,71	0	0,999	0,00	9,48	3,0.10 ⁴	0,621	5,47				

*erro médio relativo

Os modelos de predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui estão dispostos abaixo:

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado no BVT:

BVT - Ordem zero: $C=C_0-(3,92t.\exp(-7,5.10^3/RT))$

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado no TBA:

TBA (1ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(0,0002t.\exp(0/RT))$

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado no Cromo (C*):

C*(2ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(-34,24t.\exp(-7,7.10^4/RT))$

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado no ΔE:

ΔE(2ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(-157,95t.\exp(-3,65.10^5/RT))$

ΔE(3ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(20,6t.\exp(-5,0.10^4/RT))$

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado nas Bactérias Mesófilas:

Bactérias Mesófilas (1ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(29,20t.\exp(-7,0.10^4/RT))$

Bactérias Mesófilas (2ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(89,43t.\exp(-7,6.10^2/RT))$

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado nas Bactérias Psicotróficas:

Bactérias Psicotróficas (1ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(3,62t.\exp(-5,9.10^3/RT))$

Bactérias Psicotróficas (2ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(58,55t.\exp(-1,3.10^5/RT))$

Bactérias Psicotróficas (3ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(47,95t.\exp(-1,1.10^5/RT))$

Bactérias Psicotróficas (4ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(-44,74t.\exp(-9,7.10^4/RT))$

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado nas Bactérias Láticas:

Bactérias Láticas (1ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(18,45t.\exp(-4,9.10^4/RT))$

Bactérias Láticas (2ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(35,37t.\exp(-8,6.10^4/RT))$

Bactérias Láticas (3ª fase) - Ordem zero: $C=C_0-(-17,89t.\exp(-3,6.10^4/RT))$

- Modelo de Predição da qualidade do *sous vide* de tabaqui baseado nos Bolores e Leveduras:

Bolores e Leveduras (2ª fase) - Ordem zero: $C=C_0(-78,18t.exp(-1,7.10^5/RT))$

Bolores e Leveduras (3ª fase) - Ordem zero: $C=C_0(-17,85t.exp(-4,5.10^4/RT))$

4 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que as mudanças nas contagens de micro-organismos e nos valores de a_w , pH, BVT, TBA, textura e nos parâmetros de cor do *sous vide* de tambaqui dependem das condições de estocagem. Verificou-se que altas temperaturas tem influência negativa na qualidade dos atributos analisados, ao contrário observou-se que a temperatura de 1°C conseguiu preservar a qualidade do *sous vide* armazenado durante quarenta e cinco dias retardando a deterioração e proporcionando melhor qualidade ao produto.

Os resultados obtidos pelas contagens dos micro-organismos obtiveram os melhores ajustes para o modelo de ordem zero.

Os resultados obtidos pelos parâmetros físicos e físico-químicos obtiveram os melhores ajustes para o modelo de ordem zero.

Quanto a Equação de Arrhenius, esta se ajustou melhor as constantes de velocidade do modelo de ordem zero tanto para os resultados microbiológicos quanto para os físicos e físico-químicos.

Maiores valores de energia de ativação (E_a) foram encontrados para a contagem de micro-organismos que para parâmetros físico-químicos, isso comprova maior dependência deste parâmetro a variações de temperatura.

Conclui-se que cálculos rápidos para avaliação das mudanças das qualidades baseados na temperatura de armazenamento permite a otimização das condições de armazenamento, redução de custos e prevenção de perdas.

5 REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. HORWITZ, W, 17ª ed. Arlington: AOAC Inc., v.1 e v.2., 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Laboratório Nacional de Referência Animal. **Métodos Analíticos Oficiais para Controle de Produtos de Origem Animal e seus Ingredientes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, v. 2, cap. 11. Pescado Fresco. 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria Nº 185, de 13 de maio de 1997. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (Inteiro e eviscerado)**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1997.

CAN, O.P. Evaluation of the Microbiological, Chemical and Sensory Quality of Carp Processed by the Sous Vide Method. **Engineering and Technology**, v. 80, p. 1225 - 1230, 2011.

DIAZ, P.; NIETO, G.; GARRIDO, M.D.; BANON, S. Microbial, physical–chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method. **Meat Science**, v. 80, p. 287–292, 2008.

DÍAZ, P.; GARRIDO, M.D.; BAÑÓN, S. Spoilage of Sous Vide Cooked Salmon (*Salmo salar*) Stored under Refrigeration. **Food Science and Technology International**, v.17, p. 31 - 37, 2011.

DOWNES, F.P; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological**. Examinations of Foods. 4th. ed. Washington (DC): APHA, 2001.

GALIMPIN-JOHAN, S.M.C.; RAHMAN, R.A.; JAMILAH, B.; MAN, Y.B.C.; RUSUL, G. Pasteurization, development and storage of *sous vide rending* (spicy beef stew). **Journal of Foodservice**, v. 18, p. 251–263. 2007.

GARCIA-LINARES, M.C.; GONZALEZ-FANDOS, E.; GARCIA-ARIAS, M.T.; GARCIA-FERNANDEZ, M.C. Microbiological and nutritional quality of sous vide or traditionally processed fish: Influence of fat content. **Journal Food Quality**, v. 27, p. 371–387. 2004.

GONZALEZ-FANDOS, E.; GARCIA-LINARES, M.C.; VILLANIRO-RODRIGUEZ, A.; GARCIA-ARIAS, M.T.; GARCIA-FERNANDEZ, M.C. Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by the *sous vide* method. **Food Microbiology**, v. 21, p. 193–201. 2004.

GONZALEZ-FANDOS, E.; VILLARINO-RODRIGUEZ, A. ; GARCIA-LINARES, M.C; GARCIA-ARIAS, M.T.; GARCIA-FERNANDEZ, M.C. Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the *sous vide* method. **Food Control**, v. 16, p. 77-85.2005.

JANG, J.D.; SEO, G.H.; LYU, E.S.; YAM, K.J.; LEE, D.S. Hurdle effect of vinegar and sake on Korean seasoned beef preserved by *sous vide* packaging. **Food Control**, v. 17, p.171 - 175. 2006.

KONG, F.A.; TANG, J.A.; RASCO, B.B.; CRAPO, C. Kinetics of salmon quality changes during thermal processing. **Journal of Food Engineering**, v. 83, p. 510 – 520. 2007.

LABUZA, T. P.; SHAPERO, M. Prediction of nutrient losses. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2, p. 91 – 99, 1978.

LIMBO, S.; TORRI, L.; SINELLI, N.; FRANZETTI, L.; CASIRAGHI, E. Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. **Meat Science**, v. 84, p. 129 – 136, 2010.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equation. Part I: fruit, vegetables and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 18, p. 111-117, 1985.

MOL, S., ERKAN, N., ÜÇÖK, D. and TOSUN, S., Y. Effect of psychrophilic bacteria to estimate fish quality. **Journal Muscle Foods**, v.18, p.120–128. 2007.

MOL, S.; OZTURAN, S.; COSANSU, S. Determination of the quality and shelf life of sous vide packaged bonito (*Sarda sarda*, bloch, 1793) stored at 4 and 12°C. **Journal of Food Quality**, p. 1-7, 2012.

NIAMNUY, C.; DEVAHASTIN, S.; SOPONRONNARIT, S.; RAGHAVAN, G.S. Kinetics of astaxanthin degradation and color changes of dried shrimp during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 591–600. 2008.

OLIVERA, D.F.; SALVADORI, V.O. Kinetic modeling of quality changes of chilled ready to serve lasagna. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 487–492, 2012.

PAIK, H.D.; KIM, H.J.; NAMB, K.F.; KIM, A.J; LEE, S.E.; LEE. D.S. Effect of nisin on the storage of sous vide processed Korean seasoned beef. **Food Control**, v. 17, p. 994 – 1000, 2006.

PICOUET, P.A.; COFAN-CARBO, S.; VILASECA, H.; BALLBÈ, L.C.; CASTELLS, P. Stability of sous-vide cooked salmon loins processed by high pressure. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, p. 26–31, 2011.

PULGAR, J.S. ; GÁZQUEZ, A.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time. **Meat Science**, v. 90, p. 828–835. 2012.

RAAB, V.; BRUCKNER, S.; BEIERLE, E.; KAMPMANN, Y.; PETERSEN, B.; KREYENSCHMIDT, J. Generic model for the prediction of remaining shelf life in support of cold chain management in pork and poultry supply chains. **Journal on Chain and Network Science**, v. 8, p. 59-73, 2008.

RATKOWSKY, D. A.; OLLEY, J.; MCMEEKIN, T. A. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. **Journal of Bacteriology**, v. 149, p. 1-5, 1982.

RODGERS S. Novel approaches in controlling safety of cook-chill meals. **Trends Food Science Technology**, v. 15, p. 366–72. 2004.

SALLAM, K.I. Chemical, sensory and shelf life evaluation of sliced salmon treated with salts of organic acids. **Food Chemistry**, v. 101, p. 592–600. 2007.

SCHELLEKENS, M. New research issues in *sous-vide* cooking. **Trends in Food Science and Technology**, v.7, p. 256–262. 1996.

SCHORMULLER, J. **Handbuch der Lebensmittel Chemie**, Band III/2 Teil. Tierische Lebensmittel Eier, Fleisch, Buttermilch, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg-Berlin, Germany; New York, NY. 1968.

SHAKILA, R.J.; JEYASEKARAN, G.; VIJAYAKUMAR, A.; SUKUMAR, D. Microbiological quality of sous-vide cook chill fish cakes during chilled storage. **International Journal Food Science Technology**, v. 44, p. 2120–2126, 2009.

TOMAC, A.; MASCHERONI, R.H.; YEANNES, M.I. Modelling the effect of gamma irradiation on the inactivation and growth kinetics of psychrotrophic bacteria in squid rings during refrigerated storage. **Journal of Food Engineering**, v.117, pg 211-216. 2013.

TSIRONI, T.N.; TAOUKIS, P.S.. Modeling microbial spoilage and quality of gilthead seabream fillets: combined effect of osmotic pretreatment, modified atmosphere packaging, and nisin on shelf life. **Journal Food Science**, v. 75, p. 243-251, 2010.

TSIRONI, T.; STAMATIOU, A.; GIANNOGLOU, M.; VELLIU, E.; TAOUKIS, P.S. Predictive modelling and selection of Time Temperature Integrators for monitoring the shelf life of modified atmosphere packed gilthead seabream fillets. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 1156-1163. 2011.

VYNCKE, B.W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette Seifen Anstrichm**, v.72, n.12, p.1084-1087, 1970.

ZHANG, L.; LI, X.; LU, W.; SHEN, H.; LUO, Y. Quality predictive models of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) at different temperatures during storage. **Food Control**, v. 22, p. 1197-1202, 2011.