



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**

**APLICAÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO EM CARNE DE
CORDEIRO: DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE E DA
INFLUÊNCIA DO GÁS NOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

FERNANDA FIDLER

**Florianópolis
2015**

Fernanda Fidler

**APLICAÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO EM CARNE DE
CORDEIRO: DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE E DA
INFLUÊNCIA DO GÁS NOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fidler, Fernanda

Aplicação do dióxido de carbono em carne de cordeiro:
determinação da solubilidade e da influência do gás nos
parâmetros físico-químicos / Fernanda Fidler ; orientadora,
Alicilene Rodrigues Monteiro Fritz - Florianópolis, SC, 2015.
88 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. 2. Engenharia de Alimentos.
3. Solubilidade dióxido de carbono. 4. Carne de cordeiro.
I. Fritz, Alicilene Rodrigues Monteiro. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Alimentos. III. Título.

Folha das assinaturas

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus por estar me iluminando, protegendo e me dando forças para seguir em frente.

À CAPES, à UFSC e ao programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos, pela oportunidade e concessão de bolsa.

À Dr^a Alcilene Monteiro pela confiança, paciência, incentivo e orientação repassadas durante o período do mestrado.

Ao professor Marco Di Luccio, pelo auxílio junto a ultra centrífuga, e colaboração com o Nitrogênio. Ao professor Carlos do LBI/UFSC, e suas orientadas pelo auxílio e disponibilidade do laboratório.

Ao Professor Weber da Silva Robazza da UDESC/PZO, que foi meu o grande incentivador e motivador na “escolha” do curso de pós graduação.

Aos colegas do grupo de trabalho Leno e Juca, por toda ajuda nos experimentos, motivacional ou esforço físico para colocar o aparato experimental funcionar, ao auxílio na interpretação dos resultados, e por transformarem os momentos de “desespero”, em descontração. A Mari e a Fabiana por todo o auxílio no início da pesquisa.

Aos colegas do PROFI pelos momentos de descontração.

A todos amigos do programa de pós-graduação, da turma 2013.01, Cami Guidani, Felipe, Jade, Santiago, Fabi, Clarissa que dividiram os momentos de chegada em Florianópolis, os churras. A Beta, pela amizade desde a graduação. Em especial o Willzinho, por estar sempre por perto, por dividir das situações mais engraçadas até os momentos mais difíceis.

À minha irmã Franciéli por todo apoio e incentivo.

Aos meus pais por toda assistência, incentivo e carinho prestado

Ao meu namorado, Ezequiel, pelo companheirismo, compreensão, apoio e incentivo nos momentos difíceis e por compartilhar os bons também.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigada!!!

RESUMO

O efeito bacteriostático do CO₂ torna-o como o principal gás usado em embalagens com atmosfera modificada para alimentos que não respiram. O objetivo deste trabalho determinar a solubilidade do CO₂ em carne de cordeiro a diferentes temperaturas e a sua influência nas características físico-químicas do produto. O método manométrico foi empregado para obtenção de dados da concentração do CO₂ em filés de pernil de cordeiro a 2, 6 e 10°C e a pressão de 200 kPa, considerando um sistema ideal de acordo com a Lei de Henry. A influência da concentração de gás nas características físico-químicas foi avaliada através dos parâmetros de *a_w*, cor, pH, textura e perda de massa por cocção. Verificou-se também o efeito do CO₂ na microestrutura da carne através das microscopias eletrônicas de varredura antes e após a aplicação do gás. Para verificar a estabilidade microbiológica da carne após processo foram analisadas contagem para bactérias psicotróficas, ácido láticas, aeróbicas e anaeróbicas. A solubilidade do CO₂ na carne de cordeiro foi maior à temperaturas mais baixas (2 °C) com maior concentração de gás absorvida pela carne, de 3701 ppm. Enquanto que a mais baixa concentração absorvida foi a 10 °C, de 2699 ppm. O pH das amostras de carnes diminuiu após o processo de solubilização, efeito esperado em função da presença do CO₂ no meio, mostrando-se efetivo na inibição do crescimento dos micro-organismos estudados, mantendo a contagem abaixo dos limites estabelecidos pela legislação. Através das análises de imagens foi possível observar formação de fissuras entre o perímio das fibras musculares provavelmente devido à presença do gás absorvido pela carne. Houve diminuição do conteúdo de umidade das amostras em todas as condições estudadas. A perda de massa por cocção, a força máxima de corte e as propriedades mecânicas da carne não apresentaram diferença significativa entre as amostras antes e após o CO₂, nas três temperaturas. A cor apresentou significativa variação entre as diferentes localizações das amostras, superfície exposta ao gás, parte interna e superfície inferior.

Palavras - chave: carne de cordeiro, solubilização, dióxido de carbono

ABSTRACT

The CO₂ is main gas gassed in package of modified atmosphere for non-respiring foods because of bacteriostatic effect of the make the principal. The objective this work was to determinate the solubility of CO₂ in the lamb meat at different temperatures and to evaluate the influence of the gas in the physico-chemical and microbiological characteristics. The manometer method was used to determine the CO₂ concentration data inside the steak lamb at 2, 6 and 10°C and the pressure of 200 kPa, considering as a ideal system and according Henry law. The influence of the concentration of gas on characteristics physic-chemical were evaluated across of *aw*, color, pH, texture and PPC. The effect of CO₂ on microstructure of meat was evaluated by means of scanning electronic microscope before and after the gas injection process. The microbiological analysis was performed for the psychotropic bacteria, lactic acid, aerobic and anaerobic mesophilic. The solubility of CO₂ in the lamb meat was higher at lower temperature (2 °C) with high absorption of gas of 3701 PPM. The other hand, lower solubility values and lower gas absorption (2699 PPM) obtained at higher temperature (10°C). The pH of the samples meat decreased after the solubilization process, as expected because of the presence of CO₂ in the meat, showing their effectivity to inhibit the growing of microorganisms studied, and shows that values found are in accordance with the limits of the international legislation. Image analysis shows presence of fissures in the perimysium of muscle fibers probably due to the presence of gas absorbed by meat. Moisture content decreased for the all samples studied. There was mass loss for the samples cooked, maximum cut force and TPA, showed no significant difference between the sample before and after CO₂ solubilization, at three temperatures. The color, presented significant variation between the different regions of the samples as surface exposed to gas, internal part and bottom surface.

Keywords: lamb meat, solubilization, carbon dioxide.

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Diferentes métodos utilizados para determinação da concentração do CO ₂	31
Tabela 3.1 – Descrição das análises microbiologias realizadas após equilíbrio da amostra em CO ₂	46
Tabela 4.1- Composição centesimal da carne de cordeiro fresca.	47
Tabela 4.2 - Parâmetros físico-químicos da carne de cordeiro fresca ...	48
Tabela 4.3 - Valores de média e desvio padrão obtidos no teste de vedação do sistema durante 24h.	50
Tabela 4.4- Constante de Henry para o CO ₂ em carne de cordeiro em diferentes temperaturas realizadas em triplicata de experimentos.	51
Tabela 4.5 – Principais ácidos graxos da carne ovina e ponto de fusão.	56
Tabela 4.6 – Concentração de CO ₂ absorvida pela carne no equilíbrio.	57
Tabela 4.7 -pH da carne de cordeiro antes e após processo de solubilização do CO ₂	58
Tabela 4.8 – Efeito do CO ₂ na cor da carne de cordeiro	60
Tabela 4.9 – Resultados da PPC, PPE e F _{máx}	62
Tabela 4.10 – Propriedades mecânicas de dureza (D), coesividade (C), elasticidade (E), gomosidade (G) e mastigabilidade (M) da carne de cordeiro após processo de solubilização.	64
Tabela 4.11 – Médias dos parâmetros de umidade e atividade de água (aw) antes e após processo de solubilização.....	65
Tabela 4.12 – Resultados microbiológicos da carne de cordeiro	68

Lista de Figuras

Figura 3.1- Representação do Aparato Experimental.....	36
Figura 3.2- Representação da câmara cilíndrica usada nos ensaios de solubilidade.	39
Figura 4.1 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para carne de cordeiro, com aumento (a) de 50 x e (b) de 200 x antes do processo de solubilização em CO ₂	52
Figura 4.2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para carne de cordeiro após processo de solubilização, com aumento (a) de 500 x, (b) de 100 x, (c) lateral 150 x e (d) 500 x após processo de solubilização em CO ₂	53
Figura 4.3 – Imagens da carne antes e após processo de solubilização.	61
Figura 4.4 -Imagens da carne cozida antes do processo de solubilização com CO ₂ (a) e após o processo de solubilização (b) e (c).	66
Figura 4.5 - Exemplo de curva do DSC	67

Nomenclatura

a_w	Atividade de água
$C_{CO_2}^{t=\infty}$	Concentração de CO ₂ no equilíbrio (ppm)
$C_{CO_2}^i$	Concentração de CO ₂ inicial (ppm)
$\frac{dCO_2}{dt}$	Varição da concentração de CO ₂ com o tempo (ppm h ⁻¹)
g/p	Razão volumétrica gás/produto (m ³ m ⁻³)
H	Constante de Henry (Pa ppm ⁻¹)
$H_{CO_2,a}$	Constante de Henry do CO ₂ no alimento (Pa ppm ⁻¹)
M	Massa molar (g mol ⁻¹)
M_{CO_2}	Massa molar de CO ₂ (g mol ⁻¹)
m_p	Massa do produto (kg)
M_{H_2O}	Massa molar de água (g mol ⁻¹)
P	Pressão (kPa)
$P_{CO_2}^{t=0}$	Pressão parcial de CO ₂ inicial (kPa)
$P_{CO_2}^{t=\infty}$	Pressão parcial de CO ₂ no equilíbrio (kPa)
P_t	Pressão total (kPa)
ppm	Partes por milhão (mg CO ₂ /kg de produto ⁻¹)
R	Constante universal dos gases (J mol ⁻¹ K ⁻¹)
SGS	<i>Soluble Gas Stabilization</i>
T	Temperatura (°C)
t	Tempo (min, h)
UFC	Unidade Formadora de Colônia
V	Volume (m ³)
V_L	Volume livre do aparato (m ³)
V_p	Volume de produto (m ³)
V_g	Volume do gás (m ³)

ρ_p	Massa específica aparente do produto (kg m^{-3})
ρ_{CO_2}	Massa específica do CO_2 (kg m^{-3})
ρ_{H_2O}	Massa específica da água (kg m^{-3})
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	21
2. OBJETIVOS.....	23
2.1. Objetivo Geral.....	23
2.2. Objetivos Específicos.....	23
3. REVISÃO DA LITERATURA	24
3.1. Carne de Cordeiro	24
3.2. Atmosfera Modificada	25
3.2.1. O ₂ , N ₂ e CO ₂	26
3.3. Solubilidade do CO ₂ em Carne de Cordeiro	27
3.4. Determinação da solubilidade de CO ₂ em produtos que não respiram	29
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1. Carne de Cordeiro	35
4.2. Caracterização da amostra.....	35
4.3. Determinação da solubilidade do CO ₂ em carne de Cordeiro	36
4.4. Avaliação Físico-química da amostra	40
4.5. Propriedade Mecânicas da Carne de Cordeiro	43
4.6. Análise Térmica – Calorimetria Diferencial de Varredura - DSC	44
4.7. Caracterização micro estrutural: Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	45
4.8. Análises Microbiológicas.....	45
4.9. Análise Estatística	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

5.1. Caracterização da Matéria-Prima	47
5.2. Determinação da Solubilidade.....	49
5.2.1. Validação do Aparato Experimental.....	49
5.2.2. Solubilidade do CO ₂ na Carne de Cordeiro.....	50
5.2.3. Influência da Temperatura na Solubilidade do CO ₂ na fase aquosa da Carne de Cordeiro	54
5.2.4. Efeito da Absorção do Gás nos Parâmetros Físico-químicos da Carne de Cordeiro	57
5.2.5. Análises Microbiológicas da Carne de Cordeiro	68
6. CONCLUSÕES	70
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	71
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

A comercialização de carnes de cordeiro no Brasil, na sua grande maioria é na forma congelada. Com a atual tendência, de aumento pela procura de produtos aliados a praticidade, cresce a necessidade do mercado começar a oferecer carne ovina, na forma de cortes resfriados (FERNANDES et al., 2012; DE BORTOLI, 2008).

Dados do IBGE, 2013, mostram o crescimento do consumo de carnes em geral no Brasil, uma das causas disso é o aumento do poder aquisitivo da população, o qual incrementa a apreciação por carne ovina. Para suprir a crescente demanda de carne ovina, o mercado brasileiro importa cerca de 50% da carne que consome do Uruguai, comercializada na forma congelada, em decorrência de sua curta vida útil (VILARINHO, 2013; SEBRAE, 2005).

A carne congelada ao ser submetida ao descongelamento perde líquidos e juntamente inúmeros nutrientes, pela formação de cristais de gelo que provocam injúrias na carne, e aumentam a liberação de exsudado (FERNANDES, 2011).

A aplicação da atmosfera modificada tem se mostrado uma tecnologia eficaz para o acondicionamento de alimentos, incluindo as carnes frescas com aumento de sua vida útil (FERNANDES et al., 2014; MANTILLA et al., 2010).

Devido ao efeito bacteriostático do dióxido de carbono (CO_2), é o gás mais utilizado na conservação de alimentos que não respiram, acondicionados sob atmosfera modificada. Certa quantidade de CO_2 deve dissolver-se no produto para inibir o crescimento bacteriano (GILL e PENNEY, 1989). Diversos estudos vêm sendo realizados ao longo dos últimos 10 anos obtendo dados de solubilidade do dióxido de carbono envolvendo ostras, mexilhões, queijo minas frescal, produtos cárneos, peixes, através de um método manométrico para desenvolvimento de embalagens com

atmosfera modificada (FERNANDES et al., 2014; AL-NEHLAWI et al., 2013; SCHIRMER e LANGSRUD, 2010; ROTABAKK et al., 2010; SIVERTSVIK e BIRKELAND, 2006). No entanto, há escassez de dados para matrizes complexas, como é o exemplo da carne ovina, pela sua composição e vulnerabilidade a contaminação.

Desta forma, a obtenção dos dados de solubilidade do CO₂ na carne de cordeiro em um aparato experimental por diferença de pressão veem a facilitar novos projetos de embalagens de atmosfera modificada. Tais dados fazem-se necessário para prever as concentrações de gás nos *headspace* da embalagem e a capacidade dos alimentos em absorver o gás, conseqüentemente, melhor compreensão do período de vida útil do produto.

1.1OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Obter dados de solubilidade do CO₂ na fase líquida da carne de cordeiro à diferentes temperaturas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Validar o aparato experimental adaptado para as determinações dos dados de solubilidade na matéria-prima a ser estudada.

- Determinar a solubilidade do CO₂ em carnes de cordeiro a baixa pressão e temperaturas, através do método manométrico, baseado na lei de Henry.

- Avaliar o efeito de altas concentrações de CO₂ em carne de cordeiro através da determinação dos parâmetros físico-químicos (aw, pH, umidade, cor), análises de textura (F_{máx} e TPA, MEV).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Carne de Cordeiro

Nos últimos 10 anos, o consumo de carne e produtos cárneos vem aumentando no Brasil, como mostram os dados da pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013). Em 2010, o consumo percapta no Brasil foi de 36 kg e em 2013 foi de 42 kg de carne por pessoa. O consumo de carne ovina entre os brasileiros é menor se comparado as outras carnes (bovina, suína e aves), contudo é observado aumento no consumo desta carne, com certa exigência por algumas regiões em relação às características qualitativas da carne ovina, principalmente em relação à sua composição nutricional (PINHEIRO, et al., 2007; MADRUGA, et al., 2006).

Dentre os ovinos, cordeiro são carcaças abatidas até um ano de idade (animais mais jovens), com sabor mais suave que o carneiro (animais mais velhos). E, têm se destacado em relação ao aumento das importações de carne ovina, principalmente nos cortes de pernil, paleta e costela (LAWRIE, 2005; USDA, 2013).

As raças mais difundidas no Brasil são: Suffolk, Hampshire Down, Texel, Ile de France, Dorper e Santa Inês. A Ile de France foi introduzida no sul do Brasil em 1973, considerada de excelente qualidade para produção de carne e lã. Ao mesmo tempo a Texel, possui grande potencial para produção de carne magra (CARDOSO, 2008; PAIM et al., 2011; JUCÁ, 2013).

Em geral, a carne de cordeiro é composta por 75% de umidade, 19% de proteína, entre 2-4% de gordura (teor influenciado por diversos fatores, exemplo, a raça Ile de France o percentual de gordura pode chegar próximo a 8%, enquanto a raça Texel apenas 3,44% e a Suffolk em média

2,06%) e 1,5% de matéria mineral (SANTOS et al., 2009; MAIA et al., 2012; LOPES et al., 2012).

Por definição, carne é o produto resultante de transformações que ocorrem no músculo após a morte do animal. Em situações de abate que cumpre as legislações vigentes, o pH do músculo após a morte do animal diminui de aproximadamente 7 para 5,5, resultando em reações bioquímicas *post-mortem* e a transformação do músculo em carne. As operações de manejo influenciam as condições do animal *ante mortem*, podendo resultar em variações destes valores de pH, e na qualidade da carne (PINHEIRO et al., 2009; FREGONESI, 2013).

A carne de cordeiro pela elevada atividade de água e faixa de pH favorável ao desenvolvimento de micro-organismos torna-se um meio de cultura de alto potencial para o crescimento de micro-organismos (ALCANTARA et al., 2012; FERNANDES et al., 2014).

Atualmente a carne de cordeiro está inserida no bloco de produtos cárneos da legislação brasileira, o que reforça a necessidade de maiores estudos com relação aos padrões de identidade e qualidade. Segundo a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos (ICMSF) o limite para contagem total de micro-organismos em cortes cárneos é de 10^7 UFC g^{-1} de amostra.

2.2. Atmosfera Modificada

Atmosfera modificada é um processo que envolve a remoção do ar da embalagem e sua substituição por um único gás ou uma mistura de gases. A mistura de gases utilizada depende do tipo de produto a ser embalado. Quando uma atmosfera modificada é aplicada numa embalagem, as concentrações de gás inicial mudam durante o armazenamento. A composição da atmosfera é dinâmica e alterações podem ocorrer devido à respiração muscular, metabolismo microbiano, absorção do gás no produto e

permeabilidade do material de embalagem (JAKOBSEN e BERTELSEN, 2002).

Devido aos efeitos que ocorrem entre produtos que respiram e produtos que não respiram serem bem distintos, requerem um maior cuidado na escolha dos gases usados na mistura da atmosfera modificada na embalagem. Na carne o principal fator de degradação é a atividade microbiana, sendo recomendada a utilização de misturas, com cerca de 30-60% de CO₂. Nos vegetais e frutas, que tem respiração pós colheita a concentração de O₂ não deve ser inferior a 5%, por continuarem sua atividade fisiológica, consumindo oxigênio e liberando CO₂ e vapores de água para o interior das embalagens (SIMPSON et al., 2009; DEL-VALLE et al., 2009; MANTILLA et al., 2010).

Nos produtos que não respiram o efeito esperado dos gases no produto, principalmente do dióxido de carbono, pode ser influenciado por alguns fatores: carga bacteriana inicial, temperatura de armazenamento, composição do alimento a ser embalado, pressão parcial do CO₂ na embalagem, permeabilidade da embalagem (SIVERTSVIK e JENSEN, 2005).

2.2.1. O₂, N₂ e CO₂

Cada componente da mistura O₂, N₂ e CO₂ na atmosfera modificada têm uma função sobre o alimento. O O₂ (oxigênio) inibe o crescimento de bactérias anaeróbicas estritas, porém favorece o crescimento das aeróbicas. Para acondicionamento de produtos cárneos é usado para manutenção de cor, e é capaz de aumentar a taxa de oxidação de lipídeos produzindo reações indesejáveis em alguns alimentos. O N₂ (nitrogênio) é um gás inerte, não reage com os pigmentos da carne, não exerce nenhum efeito intrínseco sobre micro-organismos, possui baixa solubilidade em água e gordura, e é utilizado com gás de enchimento para

prevenir o colapso da embalagem (CHURCH, 1994; CHURCH e PARSONS, 1995; MC MILLIN, 2008; ESMER et al., 2011; AL-NEHLAWI et al., 2013).

Já o CO₂ (dióxido de carbono) tem grande importância em sistemas de atmosfera modificada, uma vez que não é tóxico, e é altamente solúvel. O CO₂ é mais solúvel em água que qualquer outro constituinte atmosférico, em relação ao O₂ é cerca de 50 a 60 vezes mais solúvel. E, como principal fator possui efeito bacteriostático, amplamente reconhecido desde a década de 1920, quando usado no transporte da carne de cordeiro da Austrália e Nova Zelândia para Inglaterra (DEVLIEGHERE et al., 1998b; SIMPSON et al., 2009; MANTILLA et al., 2010; THIPPAREDDI et al., 2010; AL-NEHLAWI et al., 2013).

No processamento da carne há dois tipos de micro-organismos incidentes: os micro-organismos deteriorantes e os micro-organismos patogênicos. Além da deterioração os micro-organismos causam uma série de alterações, como: produção de gás, alteração do pigmento, da viscosidade, odor, sabor e aparência (FRANCO e LANDGRAF, 2008).

A utilização de embalagens com alta barreira aos gases torna possível criar um ambiente ao redor da carne que retarda as reações de deterioração. Os micro-organismos comumente associados à carne crua são: a *Salmonella* e *Clostridium perfringens*, além de *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter jejuni* e *Yersinia*. A presença de *Salmonella* e *C. Perfringens* em carnes cruas geralmente é um reflexo de incidência no animal vivo (SCETAR et al., 2010; ICSMF, 1986).

2.3. Solubilidade do CO₂ em Carne de Cordeiro

O CO₂ é altamente solúvel em água e lipídeos. De acordo com Devlieghere et al. (1998b), o efeito bacteriostático do CO₂ é proporcional a concentração de gás

dissolvido no produto (GILL, 1988; ZHAO et al., 1995; JAKOBSEN e BERTELSEN, 2002).

Em tecido muscular com baixo teor de lipídeos, a solubilidade do CO₂ apresenta comportamento similar ao da água, aumento da solubilidade com a diminuição da temperatura. Ao contrário do comportamento em tecidos com alto teor de lipídeos, a solubilidade aumenta com o aumento da temperatura. Na carne, uma variação de temperatura de 3 a 13 °C, pode aumentar a solubilidade 0,01 L kg⁻¹, em temperaturas mais baixas (GILL, 1988; ZHAO et al., 1995).

O dióxido de carbono quando reage com a molécula de água, apresenta um comportamento único, se comparado com outras moléculas. Maior solubilidade que não pode ser explicada por sua estrutura, pois possui um momento dipolar nulo, mostrando afinidade por substâncias não polares, ao contrário de substâncias polares, como a água. A reação é lenta, podendo levar minutos ou horas até chegar ao equilíbrio. Em alguns casos, a presença da enzima, anidrase carbônica é capaz de acelerar a reação (CARTER e PARSONS, 1972; MITZ, 1979).

No tecido adiposo, o dióxido de carbono pode se ligar de duas formas distintas: uma parte absorvida pela região superficial do produto, por absorção ou impregnação, sendo facilmente liberada. Outra parte pode ligar-se no interior da matriz de triglicerídeos tão bem que sua taxa de desorção é inibida, podendo resultar em uma redução do ponto de solidificação da gordura (MITZ, 1979; DEVLIGHERE et al., 1998b; GILL, 1988).

Neste contexto, ainda há escassez de dados da influência da gordura na solubilidade de um produto, com alto teor de gordura, como a carne, fator frequentemente esquecido.

Outros fatores intrínsecos do produto, que podem afetar a solubilidade do CO₂, além da quantidade de água e o teor de lipídeos. O pH pode provocar um aumento na

solubilidade de $0,360 \text{ L kg}^{-1}$ de carne para cada elevação de unidade do pH, segundo Jakobsen e Bertelsen (2001).

Dentre os efeitos da absorção do gás sobre a atividade antimicrobiana, os mecanismos mais aceitos são a facilidade com que o CO_2 permeia as membranas celulares, forma ácido carbônico (H_2CO_3) no interior da célula, diminuindo o pH intracelular e retardando as atividades enzimáticas. A dissolução do CO_2 na membrana celular altera suas propriedades e funções. Outro efeito sugerido é a inibição de enzimas ou das taxas de reações enzimáticas (MITZ 1979; RANSON et al., 1960; SEARS e EISENBERG, 1961; DIXON e KELL, 1988; DEVLIGHERE et al., 1998b). A combinação desses efeitos pode representar o efeito bacteriostático do CO_2 .

Concentrações iguais ou acima de 10% de CO_2 possuem efeitos sobre micro-organismos, aumentando com a elevação da concentração. Embalagens com 20% de CO_2 são capazes de controlar o crescimento de aeróbicos, incluindo *Pseudomonas* (HAN, 2005).

Contudo, através de estudos do mecanismo de absorção do CO_2 no alimento, é possível desenvolver processos com o objetivo de minimizar o colapso nas embalagens, como por exemplo, o método desenvolvido por Sivertsvik et al. (2004a), conhecido como *Soluble Gas Stabilization* (SGS) em que uma quantidade suficiente de CO_2 pode ser dissolvida em um curto período antes do envase (SIVERTSVIK et al., 2004a; SIVERTSVIK e BIRKELAND, 2006; ROTABAKK et al., 2006) em atmosfera modificada, favorecendo o aumento vida útil de um produto.

2.4. Determinação da solubilidade de CO_2 em produtos que não respiram

Em embalagens rígidas usadas para acondicionar produtos cárneos, o gás será absorvido pelo músculo e pelos tecidos de gordura até que o equilíbrio seja atingido (GILL,

1988). A relação de equilíbrio entre o dióxido de carbono e o alimento (CO_2 em diluição infinita), pode ser descrita através de uma isoterma linear, como a Lei de Henry. Se obedecidas condições de baixas e moderadas pressões e baixa temperatura (DIXON e KELL, 1988). A lei de Henry foi inicialmente usada para descrever a relação de equilíbrio de uma solução diluída, podendo ser aplicada para qualquer produto, em condição de equilíbrio, considerando que a concentração do gás dissolvido no solvente é proporcional a pressão parcial do solvente:

$$P^\infty = H \times C^\infty \quad (2.1)$$

Onde, P^∞ é pressão parcial do soluto no equilíbrio, H é a constante de Henry e C^∞ é a concentração do soluto na fase líquida do alimento.

Existem várias abordagens para determinação da concentração de gás em alimentos, usando métodos diretos e indiretos, conforme apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Diferentes métodos utilizados para determinação da concentração do CO₂.

Método		Alimento	
Método Direto	Espectrometria Infravermelha	Vieiras Frescas	SIMPSON et al., 2007
		Água, queijo, Soro de leite, Manteiga	PAUCHARD et al., 1980
	Gravimétrico	Azeite de Oliva	YOKOZEKI e SHIFLETT, 2011
Método Indireto	Manométrico (Método de referência: AACC 22 14.01)	Produtos cárneos cozidos	SIVERTSVIK e JESEN, 2005
	Volumétrico (Método de referência: AACC 22 11.01)	Bacalhau	ROTABAKK et al., 2007
	Titulação Química	Carne	GILL, 1988

Um método simples foi aplicado em 2004 por Sivertski et al para determinar a solubilidade e concentração de CO₂ em alimentos por diferença de pressão. O método indireto manométrico é baseado em um recipiente fechado, com temperatura e volumes constantes, onde o volume de CO₂ no *headspace* do aparato muda com o tempo, relacionado diretamente à variação de pressão (SIVERTSKI et al., 2004a; SIVERTSKI et al., 2004b; SIVERTSVIK e JESEN, 2005). Variação de pressão que é relacionada a quantidade de gás absorvida pelo alimento, como descrito pela Equação 2.2:

$$\frac{dn_{\text{CO}_2}}{dt} = \frac{V_g}{RT} \frac{dP_{\text{CO}_2}}{dt} = \frac{V_g}{RT} \frac{dP}{dt} \quad (2.2)$$

Em que $\frac{dn_{\text{CO}_2}}{dt}$ é a variação do número de mols do CO_2 com o tempo, V_g é o volume do gás (m^3), R é constante universal dos gases ($8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$), T é temperatura do gás (K), P_{CO_2} é a pressão parcial do CO_2 (kPa) e P é a pressão absoluta do sistema (kPa).

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, haverá fluxo de matéria de uma região de maior concentração para outra de menor concentração de uma determinada espécie química, até que o equilíbrio seja atingido (CREMASCO, 2002).

A fim de simplificar o sistema, consideram-se algumas hipóteses (Sivertski et al., 2004a; Lima et al., 2014):

- o sistema segue a lei dos gases ideais, baixas temperaturas e baixas pressões, $Z=1$;
- a dissolução do CO_2 é a reação dominante (desprezando assim a dissolução de N_2 e O_2 , bem como o consumo e produção de gases de reações bioquímicas e microbiológicas);
- realizando os ensaios a baixas temperaturas, pode-se desprezar a pressão de vapor da água, a qual é suficientemente baixa nesta condição.

Sivertsvik et al. (2004a) consideraram que a variação de pressão é devido à solubilização do CO_2 , a quantidade de gás absorvida pelo produto em ppm ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$) que pôde ser expressa como:

$$C_{\text{CO}_2}^{t=\infty} = \frac{1000(n_{\text{CO}_2}^{t=0} - n_{\text{CO}_2}^{t=\infty})M_{\text{CO}_2}}{m_p} \quad (2.3)$$

Em que: $C_{\text{CO}_2}^{t=\infty}$ é a concentração de CO_2 (ppm) no produto, M_{CO_2} é o massa molecular de CO_2 ($44,01 \text{ g mol}^{-1}$) e

m_p é a massa do produto (kg), $n_{CO_2}^{t=0}$ é o número de moles de CO_2 inicial e $n_{CO_2}^{t=\infty}$ número de mole de CO_2 no equilíbrio, se considerada a seguinte relação gás produto:

$$g/p = \frac{V_g}{V_p} = \frac{1000 V_g \rho_p}{m_p} \quad (2.4)$$

Em que: V_g e V_p representam o volume do gás e o volume de produto, respectivamente, no sistema (m^3), ρ_p é a massa específica aparente do produto ($kg\ cm^{-3}$) e g/p é a relação entre o volume de gás e o volume de produto. Se substituir as equações (2.3) e (2.4), na equação (2.2), temos:

$$C_{CO_2}^{t=\infty} = \frac{g/p (P_{CO_2}^{t=0} - P_{CO_2}^{t=\infty}) M_{CO_2}}{RT\rho_p} \quad (2.5)$$

A partir da equação (2.5), identifica-se que a concentração de CO_2 dissolvida no produto depende da relação g/p , da massa específica aparente do produto (ρ_p) e da diferença de pressão durante o processo ($P_{CO_2}^{t=0} - P_{CO_2}^{t=\infty}$). Estes parâmetros devem ser levados em consideração para desenvolver sistemas que utilizem atmosfera modificada (CABRAL, 2011; SOARES, 2013).

O método manométrico é aprovado pela AACC – *methods of analysis international* (22-14.01). E possui boas estimativas da quantidade de CO_2 dissolvido em água, peixe cru, produtos de carne cozidos, pasta de tomate, queijos, ostras e mexilhões (SILVERTSVIK et al., 2004a, SILVERTSVIK et al., 2004b, SILVERTSVIK e JENSEN, 2005; LIPLAP et al., 2014; LIMA et al., 2014; SOARES et al., 2015). Não existem relatos na literatura a respeito da solubilidade do CO_2 em carne de cordeiro obtidos através de um método manométrico para estudos de atmosfera modificada.

A obtenção de dados de solubilidade servirá para contribuir na garantia da aparência atraente em embalagens

com dióxido de carbono. Pois se aplicada uma baixa pressão parcial de dióxido de carbono no volume superior de embalagens e ocorrer absorção de dióxido de carbono pelo produto, resultará em colapso da embalagem.

Os dados obtidos servirão como ferramenta para desenvolvimento de embalagens com atmosfera modificada para acondicionamento de carne ovina. A partir do conhecimento da quantidade de gás que será absorvido pelo produto, a quantidade necessária para a inibição de microorganismos, poderá ser desenvolvidos sistemas de embalagens adequados para garantir a vida útil do produto, com boa aparência, e comercialização refrigerada prolongada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Carne de cordeiro

Amostras frescas do pernil de cordeiro da raça mista Ile France e Texel, usadas no presente estudo foram adquiridas de um abatedouro situado na cidade de Braço do Norte – SC. Os animais foram abatidos com idade em torno de 4 meses, com peso entre 35-40 kg. Para realização dos experimentos, 6 pernis de cordeiro foram fatiados com 6 cm de espessura. Em seguida, foram removidas a capa de gordura e o osso central do pernil.

Cerca de 0,300 kg de carne oriunda dos pernis foram acondicionadas em embalagens flexíveis e submetidos a congelamento rápido em ultra congelador, a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h e transferidos para congelador convencional, $-18 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o descongelamento para realização dos ensaios em câmara BOD à $3 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, por um período de 24 horas.

3.2. Caracterização da amostra

- ✓ Determinação da massa específica aparente (ρ)

A massa específica foi determinada por meio da relação entre a massa da amostra e volume de fluido deslocado em uma proveta graduada.

- ✓ Análise de Proteínas e Lipídeos

Para análise de proteína utilizou-se o método AOAC 928.08 (2000). Para os lipídeos totais de acordo com a metodologia de Folch et al. (1957) e extração com Extrator tipo Soxlet (AOAC, 2000). As análises de proteínas e lipídeos foram realizadas pelo Laboratório de Ciência dos Alimentos - LAB-CAL /CCA-UFSC.

- ✓ Perfil de ácidos graxos

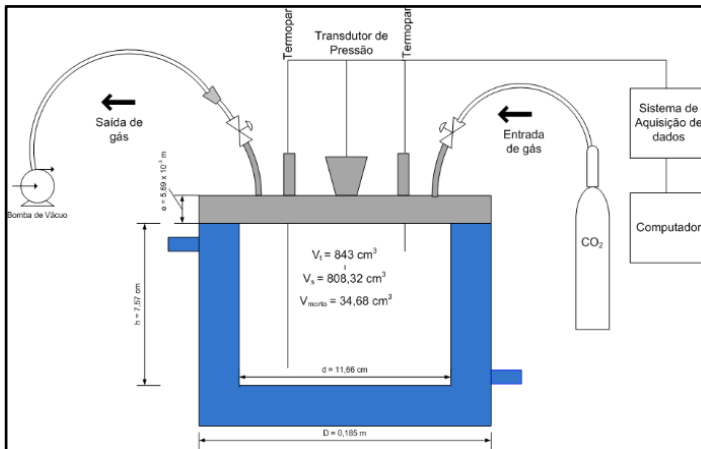
A fração gordurosa foi obtida pelo método de extração à frio, de acordo com Folch et al (1957) e o perfil da composição de ácidos graxos quantificado por cromatografia gasosa segundo metodologia descrita por Hartman e Lago (1973). O perfil de ácidos graxos foi determinado no Laboratório de Química de Alimentos da UFPB.

3.3. Determinação da solubilidade do CO₂ em carne de cordeiro

✓ *Aparato Experimental*

Para determinar a solubilidade do CO₂ na carne de cordeiro, um aparato experimental foi montado com base no modelo desenvolvido por Sivertsvik et al. (2004a), de acordo com a Figura (4.1).

Figura 3.1- Representação do Aparato Experimental.



A unidade experimental foi construída em formato cilíndrico de aço inoxidável com um volume total de 843 cm³. A fim de controlar a temperatura durante todo o ensaio, o

aparato foi imerso em banho termostatzado (Te- 184, Tecnal, Brasil). O sistema é composto por transdutor de pressão (Warne WTP-4010, Brasil), duas válvulas tipo agulha (Swagelok) e dois termopares do tipo J (Salvi Casagrande – Brasil) calibrados. A válvula de entrada está conectada a um cilindro de CO₂ (Linde, 99,9% de pureza, Brasil) e a de saída a uma bomba de vácuo (Te – 084, Tecnal, Brasil), usada no início da operação do sistema para retirada do ar atmosférico ou para despressurizar o sistema. Os termopares e o transdutor de pressão foram conectados a um sistema de aquisição de dados (Agilent, Data Acquisition 34970A, EUA), acoplado em um computador que armazena os dados através do software Benchlink Data Logger 3.0 (Agilent, 2009). Os dados experimentais de pressão e temperatura foram coletados a cada 59 segundos durante todo o período de experimento, até que o equilíbrio fosse atingido para determinação da solubilidade.

✓ *Teste de Vedação*

Antes dos ensaios de validação do aparato experimental e determinação da solubilidade, testes de vedação foram realizados.

Com o recipiente vazio, foi injetado o gás CO₂ (cerca de 200 kPa) no interior do recipiente vazio, e controlada a temperatura. Após 24 horas foi verificado se haviam vazamentos através da manutenção da pressão inicial e final. Procedimento repetido ocasionalmente, durante os ensaios de determinação da solubilidade, para certificar-se que a variação de pressão que ocorria era referente à absorção do gás pela amostra.

✓ *Determinação do Volume do Aparato Experimental*

Foi determinado pelo volume total de água que pode ser injetado no equipamento, incluindo os volumes livres de válvulas e conexões.

✓ *Validação do Aparato Experimental*

Os ensaios de validação do aparato experimental foram realizados usando água destilada imersa por 20 minutos em banho de ultrassom (MaxiClean 1400A, Unique, Brasil), para a eliminação de gases dissolvidos.

A constante de Henry na água foi determinada pelo modelo de Carroll et al. (1991) conforme a Equação 3.1 e de acordo com Lima et al. (2014) e Soares et al. (2015) que usaram a mesma metodologia para validar um sistema semelhante.

$$\ln H = \sum_{i=0}^n A_i (1000/T)^i \quad (3.1)$$

Em que: H é a constante de Henry (Pa ppm⁻¹) e T é a temperatura (K).

Os coeficientes para o cálculo da constante de Henry do CO₂ em água são: A₀ = -7,72781, A₁ = 12,817, A₂ = -3,7668 e A₃ = 0,2997 e só podem ser utilizados para pressões abaixo de 1000 kPa e temperaturas até 80 °C (Sivertsvik et al., 2004a).

A quantidade de CO₂ dissolvido no equilíbrio pode ser expressa pela lei de Henry (SCHUMPE et al., 1982; SIVERTSVIK et al., 2004a):

$$P_{CO_2}^{t=\infty} = H_{CO_2,a} \cdot C_{CO_2}^{t=\infty} \quad (3.2)$$

Em que: $P_{CO_2}^{t=\infty}$ é a pressão parcial de CO₂ no volume livre do aparato, e H_{CO_2} é a constante de Henry do CO₂ no alimento e $C_{CO_2}^{t=\infty}$ é a quantidade de CO₂ dissolvido no alimento no equilíbrio.

A validação do aparato experimental foi possível confirmar pelo comportamento do CO₂ em água, através da constante de Henry, o erro percentual foi estimado a partir dos dados calculados pela equação 3.2, e os valores preditos através da equação 3.1, expressa pela equação 3.3:

$$\text{Erro}(\%) = \left(\frac{\text{He}-\text{H}}{\text{He}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Onde He é a constante de Henry calculada e H é a constante de Henry predita pela literatura.

✓ *Determinação da Solubilidade*

A solubilidade do CO₂ nas amostras de carne foi determinada pela equação 3.2, a partir dos dados experimentais da concentração de CO₂ na fase líquida da amostra no equilíbrio a 2 °C, 6 °C e 10 °C e pressão de 200 kPa, considerando um sistema ideal.

As amostras de carne (após descongelamento) foram cortadas na forma cilíndrica e adaptadas dentro da câmara cilíndrica que compõe o aparato experimental de forma que permitisse que o fluxo do gás fosse unidirecional.

Figura 3.2- Representação da câmara cilíndrica usada nos ensaios de solubilidade.



A solubilidade da amostra pôde ser obtida pelo inverso da constante de Henry, que representa a quantidade máxima que o gás pode se dissolver no alimento, para uma dada pressão parcial (ROTABAKK et al., 2006), no trabalho foi tratada a solubilidade em relação aos valores de constante de Henry obtidos.

A quantidade de CO₂ dissolvido no produto foi obtida pela equação (2.5). Para realização dos cálculos foi

desenvolvida uma rotina computacional para o *software* Matlab (R2011b, Math Works Inc, MA, USA) de acordo com Soares et al. (2015).

3.4. Avaliação físico-química da amostra

As avaliações físico-químicas foram realizadas na carne fresca, antes e após os ensaios de solubilidade no laboratório de propriedades físicas de alimentos PROFI/UFSC, as análises foram realizadas na sua maioria em quintuplicata para obter o menor desvio, sendo a carne uma matéria heterogênea.

✓ *Perda de Massa por Congelamento (PPRef)*

Depois da etapa de descongelamento, as amostras foram pesadas e retiradas da embalagem. As amostras e as embalagens foram secas com papel absorvente e pesadas novamente. Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem, dado pela equação 3.4:

$$\%PPRef = 100 - \left[\frac{AS}{(AE-EM)} * 100 \right] \quad (3.4)$$

Sendo, %PPRef é a perda de massa durante o congelamento, AS é a massa da amostra seca, AE é a massa da amostra embalada e EM a massa da embalagem.

✓ *Atividade de água (aw)*

A atividade de água foi determinada pelo método direto 978.18, descrito pela AOAC (2000), utilizando higrômetro (Aqualab, da Decagon Devices, USA). As amostras foram analisadas antes e depois de submetidas aos ensaios de determinação de solubilidade. A análise foi realizada em quintuplicata.

✓ *Umidade*

A determinação do teor de umidade para a carne foi realizada conforme o método 925.09 da AOAC (2000) para as amostras submetidas a 105 °C.

Amostras de $10 \pm 0,5$ gramas de carne foram pesadas em cápsulas de porcelana taradas, previamente aquecidas em estufa a 105 °C por 1 hora, resfriadas em dessecador até temperatura ambiente e pesadas em balança analítica (Shimadzu, AY220, Filipinas). Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufa (Marca Tecnal, TE - 394/2, Brasi) a 105 °C por 8 horas, resfriadas em dessecador até temperatura ambiente, e novamente pesada até peso constante. Para o cálculo do teor de umidade, foi utilizada a Equação 3.5:

$$x_{bu} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (3.5)$$

Onde, m_i é a massa inicial da amostra, m_f é a massa final da amostra e x_{bu} (g de água/g de sólido úmido) é a umidade em base úmida. A determinação de umidade foi realizada em quintuplicata.

✓ *Cinzas*

Determinou-se o teor do resíduo mineral fixo pela eliminação da matéria orgânica e inorgânica volátil à temperatura de 550 °C, em forno mufla, conforme a metodologia proposta pela Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2000). As amostras utilizadas foram as mesmas da determinação do teor de umidade. As amostras já secas foram colocadas em mufla a 550 °C, por cerca de 12 horas, após a mufla ter atingido a temperatura determinada. O teor de resíduo mineral foi realizado em quintuplicata e obtido pela equação 3.6:

$$\frac{100 * N}{P} = \text{cinzas (\%)} \quad (3.6)$$

Sendo N, gramas de cinzas final, e P a quantidade de gramas da amostra.

✓ *pH*

O pH das amostras foi determinado diretamente na amostra de carne com um potenciômetro digital de penetração (Testo AG, 205, Alemanha) composto por uma sonda para medição de pH e temperatura. As leituras foram realizadas em quintuplicata.

✓ *Cor*

Para a medida de cor das amostras, utilizou-se um colorímetro (Miniscan EZ, Hunterlab, USA) operando no sistema Hunter (L^* , a^* , b^* , C^* , h), utilizando sistema de iluminação D65. De acordo com a escala, L^* (luminosidade, 0 a 100 – preto ao branco), as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* que indicam ($-a$ = verde e $+a$ = vermelho; $-b$ = azul e $+b$ = amarelo). O “ C^* ” representa o chroma, que fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor e o “ h ” é o ângulo de matiz e corresponde à tonalidade.

O fator ΔE foi calculado pela Equação 3.7, valor numérico que expressa a diferença entre os parâmetros L^* , a^* e b^* da amostra padrão no espaço. Esse fator indica o tamanho da diferença de cor global no produto, mas não indica a direção em que as cores são diferentes:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.7)$$

As leituras foram realizadas na parte superior da carne que ficou em contato com o gás e na parte inferior, todas as leituras realizadas em quintuplicata.

✓ *Avaliação dos exsudados das amostras oriundas dos ensaios de solubilidade (PPE)*

Os exsudados individuais foram quantificados gravimetricamente. Para tal, cada ensaio a massa da amostra e do exsudado determinadas, e expressos em percentagem (%), conforme sugerido por (SIVERTSVIK e BIRKELAND, 2006):

$$\frac{w_a - w_e}{w_a} = \text{PPE (\%)} \quad (3.8)$$

Onde PPE é a percentagem de exsudado da amostra, w_a é a massa da amostra e w_e é a massa do exsudado.

✓ *Perda de massa por cocção (PPC)*

Após as demais avaliações físico-químicas, o restante das amostras com cerca de 60 gramas, foram envoltas em papel alumínio e assadas em estufa pré-aquecida a 150 °C. As amostras foram mantidas até a temperatura interna atingir 72 °C, monitoradas por um termômetro digital (Testo 106-T1, Suécia). Posteriormente, as amostras foram resfriadas e medidas. A perda de massa por cocção foi calculada pela diferença de massa das amostras e expressa em gramas.

3.5. Propriedades mecânicas da carne de cordeiro

✓ *Determinação da Força Máxima de Corte (cisalhamento) das Carnes de Cordeiro*

A força máxima ($F_{\text{máx}}$) de corte foi realizada em um texturômetro (Stable Micro System, TA.XT2i, UK), equipado com lâmina *Warner Bratzler*. Para as análises, foram utilizadas amostras de dimensões 10 mm x 10 mm x 20 mm, cortadas após cozimento, e resfriadas por 24 horas envoltas em filme plástico. A força de cisalhamento foi medida perpendicularmente à orientação das fibras. Velocidade de corte: 5 mms^{-1} e a distância: 35 mm.

✓ *Propriedades Mecânicas da Carne: Análise de perfil de Textura – TPA*

Amostras com dimensões de 10 mm x 10 mm x 10 mm foram utilizadas, o ensaio foi realizado com uma *probe* plana e circular de 50 mm de diâmetro acoplada ao texturômetro (Stable Micro System, TA.XT2i, Inglaterra). Durante o ensaio, as amostras foram comprimidas por duas vezes consecutivas até atingir 50% da sua altura a uma velocidade de 1 mm s⁻¹, simulando assim o movimento da mandíbula durante a mastigação (BOURNE, 1982). A partir da análise das curvas de força *versus* tempo fornecido pelo equipamento foi possível determinar os parâmetros dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade (BOURNE, 2002). A média dos valores de repetições para cada processo foi considerada para a análise estatística.

3.6. Análise térmica – calorimetria diferencial de varredura - DSC

✓ *Picos de desnaturação Proteica*

Para avaliar possível desnaturação da carne foi realizada análise térmica das amostras de carne. Para isso 35 mg de carne foram usadas, em recipientes de alumínio, fechados hermeticamente, pesadas em balança analítica (Shimadzu, AY220, Filipinas) e analisadas em DSC Perkin-Elmer, Jade (Massachusetts, USA), previamente calibrado com índio (T= 156,6 °C e H= 28,71 Jg⁻¹), utilizando-se gás de arraste N₂ com vazão de 45 mL min⁻¹. Os termogramas das amostras foram obtidos em um faixa de temperatura de 0 a 100 °C, com uma velocidade de aquecimento de 10 °C min⁻¹. Os resultados foram analisados pelo software Pyris DSC, onde aconteceram às variações de temperaturas foram calculados os picos de temperatura.

3.7. Caracterização micro estrutural: microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As microscopias foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia – LCME, da Universidade Federal de Santa Catarina, através do microscópio eletrônico de varredura (JEOL JSM-6390LV, USA). As amostras foram liofilizadas (Liobras, Liotop L101, Brasil) por 48 horas para retirada da umidade residual. Após foram realizados pequenos cortes com bisturi, e coladas nos *stubs* de metal, para serem recobertas com ouro e visualização das microscopias.

3.8. Análises microbiológicas

As avaliações microbiológicas foram realizadas pelo Laboratório Biológico - análise química e microbiológica Ltda, que atende a NBR ISO/IEC 17025, localizado no bairro Santa Mônica, Florianópolis, SC.

Para carne fresca foram realizadas apenas as análises sugeridas pela Regulação Brasileira, RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001. Contagem de coliformes termotolerantes, pelo método: AFNOR no 3M - 01/02 - 09/89 C e a Detecção de *Salmonella* spp pelo método: AOAC-RI n° 050701.

As demais avaliações microbiológicas foram realizadas após o ensaio triplicata da determinação da solubilidade para as temperaturas de 2 °C e 6°C. Para a temperatura de 10 °C não foi realizada avaliação microbiológica, visto que era visível a deterioração da amostra ao final do ensaio de solubilidade quando o equilíbrio era atingido.

As amostras foram embaladas após atingirem o equilíbrio e encaminhadas até o laboratório responsável pelas análises microbiológicas em caixas térmicas assépticas e com gelo, para manter as baixas temperaturas.

Tabela 3.1 – Descrição das análises microbiológicas realizadas após equilíbrio da amostra em CO₂.

Bactéria	Método Analítico
Bactérias anaeróbias - Determinação quantitativa pela técnica de contagem em profundidade	APHA, 2001
Bactérias mesófilas aeróbias - Determinação quantitativa pela técnica de contagem em profundidade	ISO 4833: 2003
Bactérias psicrófilas a 7°C ± 1°C - Determinação quantitativa pela técnica de contagem em superfície	APHA, 2001
Bactérias mesófilas ácido lácticas a 30°C ± 1°C – Determinação quantitativa pela técnica de contagem em profundidade	ISO 15214: 2003

3.9. Análise Estatística

O tratamento estatístico dos dados obtidos foi realizado com auxílio do *software* STATISTICA, versão 6.0, através da análise de ANOVA, a fim de verificar a existência de diferenças significativas entre as avaliações físico-químicas. Na comparação de médias, foi usado o teste de Tukey, como nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da matéria-prima

A massa específica aparente da carne de pernil de cordeiro encontrada foi $1.129,5 \text{ kgm}^{-3}$. Informação importante para estabelecer a relação g/p nos cálculos de solubilidade do CO_2 em produtos que não respiram (SIVERTSVIK et al., 2004a).

Na carne um dos componentes principais é a água, cerca de 75%, conforme Tabela 4.1, este valor pode oscilar devido o teor de gordura do animal, idade, raça, manejo, resultando em variações nos teores de proteína e água (ZEOLA et al., 2004; SANTOS, 2007). Os valores encontrados para carne de cordeiro fresca estudada no presente trabalho são apresentados na Tabela 4.1:

Tabela 4.1- Composição centesimal da carne de cordeiro fresca.

Proteínas (g 100g⁻¹)	Lipídeos (g 100g⁻¹)	Umidade (g 100g⁻¹)	Cinzas (g 100g⁻¹)
19,01± 0,31	8,43± 0,15	75,42 ± 0,40	1,65± 0,25

Os valores de composição foram similares aos encontrados por Camargo (2013), 72,95, 19,30, 3,40, e 1,68 para umidade, proteína, lipídeos e cinzas, respectivamente, para carne de cordeiro, da raça Texel e abatidos com 32 kg. ZEOLA et al., (2011) em estudo com animais da raça Ile de France, encontraram valores de 77,41, 18,93, 10,9 e 1,77 para umidade, proteína, gordura e cinzas, respectivamente. A variação da composição pode ser justificada pela diferença de idade e o peso do animal no abate, em que o crescimento do tecido ósseo e muscular ocorre com maior intensidade no início da vida do animal, ao contrário do tecido gordo, que é maior no final da vida do animal. A raça Ile de France é caracterizada como precoce, os animais atingem a maturidade

mais cedo e, conseqüentemente, apresentam maior taxa de deposição de gordura (SILVA SOBRINHO et al., 2005; ZEOLA et al., 2011; JUCÁ, 2013).

As proporções dos ácidos graxos encontrados nas amostras de carne de cordeiro da raça mista Ile de France e Texel são 50,26% para ácidos graxos saturados, 42,09% para monoinsaturados e 7,64% de poli-insaturados, valores próximos aos obtidos por Camargo (2013) para animais raça Texel, 50,15%, 42,24% e 9,34%, para saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, respectivamente. Para a raça Ile de France as proporções relatadas por Zeola et al. (2011) foram 54,29% para ácidos graxos saturados, 39,85% monoinsaturados e 5,87% para poli-insaturados. Segundo os autores, o sistema de produção pode influenciar os teores do ácido graxo poli-insaturado. De acordo com Wood et al. (1999), no rúmen do animal ocorre a hidrogenação de uma grande quantidade de ácidos graxos insaturados da dieta, como é o caso da carne ovina, tendo como consequência maior quantidade de ácidos graxos saturados, e baixo teor de ácidos graxos poli-insaturados.

Os parâmetros físico-químicos para a carne fresca são apresentados na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 - Parâmetros físico-químicos da carne de cordeiro fresca

	pH	Aw	PPC (%)	PPResf (%)
Amostra	5,61 ± 0,11	0,992 ± 0,001	35,85 ± 4,26	4,91 ± 1,87
Camargo (2013)	5,57	-	28,65	9,41

Valores médios para pH de carne ovina encontrados na literatura foram de 5,5 e 5,8 (WOMMER, 2013). Diferença que pode ser explicada devido à massa dos animais, segundo Wommer (2013), animais com maior massa podem apresentar

maior teor de glicogênio muscular e assim acentuar a queda do pH.

Em relação à perda de massa por cocção, o valor obtido no presente estudo foi 35,85%, similar aos obtidos por Bonagurio (2001), 36,68% para animais de menor massa, e 38,63% para os de maior massa. A perda de massa por cozimento (PPC) foi maior em animais com menor quantidade de gordura. Relação também observada na perda de massa por congelamento (PPResf), encontrada neste trabalho 4,91%, enquanto Lima (2012) obteve 3,94% para a perda de massa por congelamento de carne carpina. Segundo Bonagurio (2001) a gordura protege a carcaça dos efeitos das baixas temperaturas, responsáveis pela formação de cristais de gelo dentro das células, causadores de lesões celulares que aumentam a perda de água.

Silva Sobrinho et al. (2005) pactuam da lógica sustentada por Camargo (2013), que a porcentagem de líquido exsudado tende a diminuir, na mesma proporção do aumento dos níveis de gordura de carne ovina.

4.2. Determinação da solubilidade

4.2.1. Validação do aparato experimental

A Tabela 4.3 mostra os ensaios que verificou a hermeticidade do sistema com CO₂ em pressões próximas a 200 kPa e temperatura de 2°C. O resultado deste ensaio indica que a diferença de pressão que ocorre no sistema é devido à dissolução do CO₂ na matriz, neste caso a carne de cordeiro. Os resultados da Tabela 4.3 corroboram com os dados obtidos em trabalhos anteriores (CABRAL, 2011; LIMA et al., 2014; SOARES et al., 2015).

A validação do aparato experimental com água se obteve pelos cálculos da constante de Henry, teórica e experimental. As constante de Henry para água experimental à 4 °C foi 35,10 Pa ppm⁻¹, e o valor teórico obtido pela

equação 4.1 foi $33,94 \text{ Pa ppm}^{-1}$, apresentando um erro relativo de 3,41%. Para $10 \text{ }^\circ\text{C}$ o valor experimental obtido foi $42,76 \text{ Pa ppm}^{-1}$ e pelo modelo teórico $42,93 \text{ Pa ppm}^{-1}$, que representaram um erro relativo de 0,39%. Os valores obtidos para a temperatura de $4 \text{ }^\circ\text{C}$ e 200 kPa estão de acordo com os resultados relatados por Sivertsvik et al. (2004a) que obtiveram valores de $35,06$ e $36,01 \text{ Pa ppm}^{-1}$, na pressão de 200 kPa e temperatura de $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabela 4.3 - Valores de média e desvio padrão obtidos no teste de vedação do sistema durante 24h.

	Pressão (kPa)	Pressão V*
Teste 01	$170,56 \pm 0,21$	4,26
Teste 02	$207,22 \pm 0,27$	5,88
Teste 03**	$235,23 \pm 0,21$	5,18
Teste 04**	$194,39 \pm 0,20$	4,85

* A medida em V (volts) é a diferença de potencial dada pelo transdutor de pressão conectado ao sistema de aquisição de dados.

**Testes realizados entre os ensaios.

Através desses resultados o aparato experimental mostrou-se apto à realização dos ensaios de solubilidade do CO_2 em carne de cordeiro.

4.2.2. Solubilidade do CO_2 na carne de cordeiro

A Tabela 4.4 apresenta os valores da constante de Henry do CO_2 em carne de pernil de cordeiro (solubilidade H^{-1}), determinadas pelas pressões parciais do CO_2 no equilíbrio e calculadas pela equação (3.2).

Tabela 4.4- Constante de Henry para o CO₂ em carne de cordeiro em diferentes temperaturas realizadas em triplicata de experimentos.

T (°C)	P_{inicial} (kPa)	g/p **	\bar{H} (Pppm ⁻¹)	t* (h)
	205,87	3		305
2,00 ± 0,17	212,19	3	43,11 ± 1,88	336
	213,43	3		376
	218,88	3		358
5,93 ± 0,19	239,60	3	52,45 ± 2,52	458
	221,81	3		336
	223,46	3		264
10,01 ± 0,61	219,16	3	65,24 ± 1,74	288
	227,39	3		288

*Tempo médio para atingir o equilíbrio

**g/p relação gás/produto, conforme Equação 3.4

Em relação à solubilidade (inverso da constante de Henry) da carne de cordeiro, observa-se maior solubilidade do CO₂ nas amostras a 2 °C, média de 43,12 Pa ppm⁻¹, valor coerente ao encontrado por Gill (1988) usando método titulométrico para carne ovina 44,5 Pa ppm⁻¹.

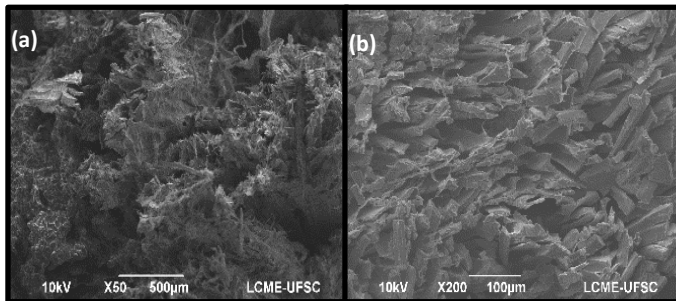
Para outros tipos de carnes, Rotabakk et al. (2010) reportam a constante de Henry para filés de frango com 78% de umidade, a 2 °C, igual a 42,8 Pa ppm⁻¹. A concentração de CO₂ a ser solubilizado em um alimento depende do teor de água e gordura do produto, e da pressão parcial do CO₂ na atmosfera. Sivertsvik et al. (2005) encontraram valores para presunto e salsicha de 64,9 e 87,5 Pa ppm⁻¹, respectivamente. Lima et al. (2014) em experimentos com mexilhão à temperatura de 3 °C e pressão de 400 kPa, encontraram valores 36,43 Pappm⁻¹.

A diferença nos valores pode ser justificada pela composição dos alimentos estudados, principalmente as

diferenças entre o teor de água e a composição lipídica, além das variações experimentais (GILL, 1988; DEVLIEGHIERE et al., 1998a; JAKOBSEN e BERTELSEN, 2004; SIVERTSVIK et al., 2004b).

A carne é composta aproximadamente por 75% de água, valor que pode ser maior ou menor dependendo do produto cárneo. Lima et al. (2014) mostraram que a microestrutura do manto de mexilhões é uma matriz altamente porosa, que forma uma espécie de rede capilar permitindo a retenção de água na estrutura. O músculo ovino possui estrutura menos porosa que a do mexilhão, mas ainda é possível visualizar redes capilares formadas através do tecido conjuntivo que envolve as fibras, como observado na Figura 4.1. Gill e Penny (1990); Bruce et al. (1996) e Sorheim et al. (2004) relatam a presença de fissuras em bifes de carnes armazenadas em atmosfera de 100% de CO₂ após cocção, porém não há relatos sobre a observação da microestrutura.

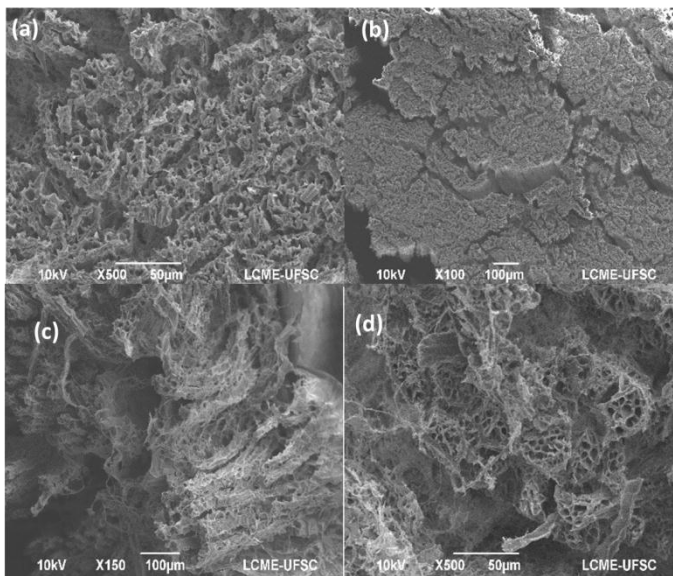
Figura 4.1 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para carne de cordeiro, com aumento (a) de 50 x e (b) de 200 x antes do processo de solubilização em CO₂.



De acordo Lima et al. (2014), se estes poros estiverem preenchidos com água, haverá influência na solubilidade do CO₂ no produto. Na Figura 4.2 é possível visualizar a

estrutura de poros da amostra de carne após ensaios de determinação da solubilidade do CO_2 . A estrutura apresenta redes capilares mais definidas, sendo possível visualizar mais os poros entre as fibras, possivelmente onde ocorreu a absorção do gás pela amostra, fase aquosa.

Figura 4.2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para carne de cordeiro após processo de solubilização, com aumento (a) de 500 x, (b) de 100 x, (c) lateral 150 x e (d) 500 x após processo de solubilização em CO_2 .



Outros fatores, como a pressão parcial do CO_2 , relação g/p e temperatura, podem influenciar nos valores de solubilidade relatados. Lima et al. (2014) e Soares et al. (2015) avaliaram a influência destes três parâmetros na solubilidade do CO_2 em mexilhões e ostras, respectivamente, obtendo maiores valores de solubilidade para a condição de maior pressão. A relação de aumento da solubilidade pelo aumento da pressão parcial do CO_2 dá-se

pelo aumento no número de colisões na superfície, e conseqüentemente, aumentará a quantidade de gás dissolvido (ZHAO et al., 1995; LIPLAP et al., 2014).

Alguns estudos mostram relação de aumento da solubilidade do CO₂ em alimentos com a diminuição da temperatura. Gill (1988) apresenta um estudo que ocorre a diminuição de 0,85 Pa ppm⁻¹ para cada elevação de grau Celsius. Outros autores, Simpson et al., (2001); Jakobsen e Risbo, (2009), relatam o mesmo comportamento para peixes e queijos, respectivamente.

4.2.3. Influência da temperatura na solubilidade do CO₂ na fase aquosa da carne de cordeiro

Os dados obtidos no trabalho tiveram uma relação direta com a temperatura. Os valores de Henry para a carne de cordeiro a 3 °C, foram de 43,12 Pa ppm⁻¹, e na temperatura de 10 °C foi 65,77 Pa ppm⁻¹, os valores obtidos diminuiram com o aumento da temperatura, cerca de 22,54 Pa ppm⁻¹. O mesmo comportamento foi relatado por diversos estudos, a partir da constante de Henry em alimentos que não respiram encontrados na literatura (SIVERTSVIK et al., 2004b, 2005; ROTABAKK et al., 2010; CABRAL, 2011; LIMA et al., 2014; SOARES et al., 2015). Sivertsvik et al.(2004b), encontraram uma variação de 17 Pa ppm⁻¹ entre as temperaturas -2 a 4 °C, para bacalhau, sendo 37,3 e 54,3 ± 1,4 Pa ppm⁻¹, respectivamente.

Cabral (2011) reporta os valores da constante de Henry para o queijo minas frescal à temperatura de 7 e 10 °C, 48,7 Pa ppm⁻¹, e 58,6 Pa ppm⁻¹, respectivamente. Soares et al. (2015) em estudo com ostras encontraram valores de Henry sendo 30,34 Pa ppm⁻¹, a 0 °C, maior ao obtido na temperatura de 6 °C, 41,43 Pa ppm⁻¹, nas mesmas condições experimentais. O aumento da temperatura reflete num aumento da agitação das moléculas, tendo como consequência

menor dissolução do CO₂ na fase aquosa do alimento, o contrário ocorre quando as mesmas estão mais “estáveis”.

Apesar da contradição dos estudos publicados, alguns autores tentam explicar a influência da gordura na solubilidade do CO₂ em alimentos. Devlieghere e Debevere (2000) e Devlieghere et al. (1998) avaliaram a influência da gordura na solubilidade da carne de porco, ressaltando que a composição lipídica é um fator importante no estudo da solubilidade. Os autores relatam que a solubilidade é maior em gorduras insaturadas devido seu ponto de fusão.

Gill (1988) em estudo com tecido adiposo suíno, bovino e ovino obteve valores de solubilidade maior para carne ovina e mais rápida absorção, com o aumento da temperatura, comportamento contrário dos obtidos na fase aquosa. Jakobsen e Bertelsen (2006) mostram que as mudanças de fases dos ácidos graxos dos produtos cárneos estudados apresentam relações complexas e inconsistentes quando submetidas à temperatura de -1 a 30 °C, influenciado pela composição da fase lipídica. Jakobsen e Bertelsen (2006) concluíram que ocorre aumento da solubilidade em níveis mais elevados para as gorduras monoinsaturadas com o aumento da temperatura para tecido de gordura suína.

A menor solubilidade sugerida para ácidos graxos saturados pode estar relacionada ao seu ponto de fusão mais alto devido ao tamanho da cadeia (MARTINS et al., 2013). A maior solubilidade em ácidos graxos de cadeia curta (insaturados) mostra que os mesmos podem estar na fase líquida a temperatura ambiente, sendo mais fácil a solubilização do gás. Os principais ácidos graxos da carne de cordeiro são apresentados na Tabela 4.5:

Tabela 4.5 – Principais ácidos graxos da carne ovina e ponto de fusão.

Ácido graxo	Médias	PF (°C)*
Saturados	50,26 ± 0,23	
C 10:0 (cáprico)	0,16 ± 0,05	31,2
C 12:0 (láurico)	0,26 ± 0,04	44
C 14:0 (mirístico)	3,30 ± 0,35	54,4
C 15:0 (pentadecanóico)	0,65 ± 0,05	
C 16:0 (palmítico)	22,58 ± 0,69	63,1
C 17:0 (margárico)	1,25 ± 0,05	
C 18:0 (esteárico)	18,30 ± 1,01	69,6
C 20:0 (araquídico)	0,12 ± 0,01	75,5
Monoinsaturados	42,09 ± 0,32	
C 14:1 (miristoléico)	-	
C16:1(palmitoléico)	1,66 ± 0,23	0,5
C 17:1(heptadecanóico)	0,59 ± 0,06	
C18:1(oléico)	34,24 ± 1,95	13,4
C20:1 n9 (gadoléico)	0,03 ± 0,03	
Poli-insaturado	7,64 ± 0,31	
C 18:2 (linoléico)	5,13 ± 1,88	-5,5
C 18:3 (linolênico)	1,26 ± 0,16	-10,5
C20:3 (eicosatrienóico)	0,07 ± 0,04	

*Fonte: Araújo, 2011 e Otterer, 2006

Embora neste estudo, a solubilidade do CO₂ na gordura da carne não tenha sido estudada observa-se que o alto teor de ácidos graxos de cadeia saturada e elevado ponto de fusão, o que favoreceu a solubilidade na água. Entretanto, isto é apenas uma suposição, necessitando de estudos posteriores para melhor entendimento, como o estudo da solubilidade de ácidos graxos saturados e insaturados. Na Tabela 4.6 são apresentadas as quantidade de CO₂ absorvida pela carne no equilíbrio.

Tabela 4.6 – Concentração de CO₂ absorvida pela carne no equilíbrio.

Temperatura (K)	P_{inicial} (kPa)	g/p	[CO₂] (ppm)
2,00 ± 0,17	205,87	3	3510
	212,19	3	3690
	213,43	3	3633
5,93 ± 0,19	218,88	3	3222
	239,60	3	3287
	221,81	3	3298
10,01 ± 0,61	223,46	3	2699
	219,16	3	2556
	227,39	3	2834

Ao atingir o equilíbrio, o comportamento das concentrações de CO₂ absorvidas pela carne, foram diretamente relacionadas a solubilidade. Soares et al. (2015) relatam a importância de observar um conjunto de fatores ao escolher as condições mais apropriadas para um processo industrial. É interessante que uma quantidade maior de gás possa ser solubilizada em um período mais curto, sem necessariamente alcançar o equilíbrio, mas suficiente para inibir o crescimento microbiano e satisfazer as necessidades de comercialização.

4.2.4. Efeito da absorção do gás nos parâmetros físico-químicos da carne de cordeiro

✓ *pH*

A Tabela 4.7 mostra o valores de pH das amostras em diferentes temperaturas experimentais, antes e após a aplicação do CO₂.

Tabela 4.7 -pH da carne de cordeiro antes e após processo de solubilização do CO₂.

	pH antes processo	pH após processo	Variação de pH****	Face Superior*
Carne Fresca	5,61 ± 0,11			
2°C	5,46 ± 0,06	5,31 ± 0,03	0,15	5,31 ± 0,05
6°C	5,63 ± 0,03	5,32 ± 0,03	0,31	5,26 ± 0,05
10°C	5,38 ± 0,08	5,14 ± 0,08	0,24	5,19 ± 0,05
2°C**	5,38 ± 0,08	5,14 ± 0,08	0,24	5,19 ± 0,05
6°C**	5,50 ± 0,08	5,32 ± 0,04	0,18	5,26 ± 0,01
10°C* *	5,66 ± 0,07	5,32 ± 0,01	0,34	5,24 ± 0,09

*Face da amostra exposta ao fluxo do gás

**duplicata do experimento

***Variação do pH antes e depois do processo de solubilização

Entre as amostras frescas e congeladas não houve diferença significativa para o pH ($p \geq 0,05$). Entretanto para as amostras antes da aplicação do gás e após processo de solubilização, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para todas as amostras. Estudos encontrados na literatura mostram decréscimo de até 0,35 unidades de pH para amostras expostas a atmosferas de 100% CO₂ armazenadas a baixas temperaturas (ROUSSET e RENERRE, 1991). Al-Nehlawi et al. (2013) observaram reduções de pH para coxas de frango

com maior quantidade de CO₂ dissolvido, de 6,50 para 6,10. A variação média do pH antes e pós solubilização nos experimentos do estudo se mantiveram em 0,24, conforme Tabela 4.7.

Em geral este efeito é causado pela quantidade de CO₂ que se dissolve no alimento. De acordo com Mitz (1979) uma parte fica em forma de gás e apenas 1% do gás reage com água e forma ácido carbônico, aumentando consequentemente a quantidade de prótons (H⁺) (DIXON e KELL, 1988).

O pH da amostra a 6 °C, do ensaio de repetição, após processo de solubilização apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre o pH da superfície superior da amostra (5,26) e do restante da amostra (5,32), as demais amostras não apresentaram diferenças significativas.

✓ *Cor*

A Tabela 4.8 apresenta a cor das carnes antes e após processo de solubilização. A medida de cor da carne é diretamente relacionada à quantidade de mioglobina no músculo, que pode sofrer influência de diversos fatores idade, raça, peso do animal, pH (SANUDO et al., 2007; CALLEJAS-CÁRDENAS et al., 2014; FRANCISCO et al., 2015). Dentre os fatores citados, a presença de gordura intramuscular, é um dos principais geradores de desvio nas leituras, pode ser observada pelo parâmetro de mudança global de cor (ΔE) e o ângulo *hue* (tonalidade) e seus respectivos desvios.

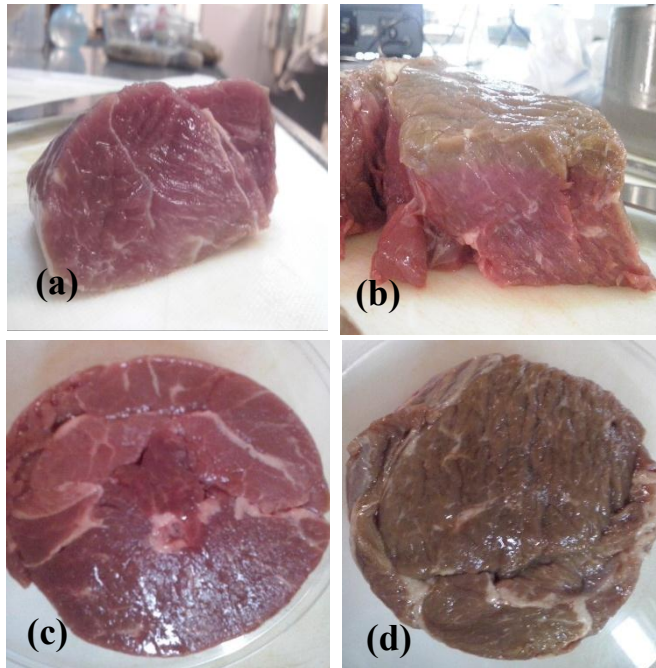
Tabela 4.8 – Efeito do CO₂ na cor da carne de cordeiro

		ΔE	H*	C*
2°C	Antes do CO ₂	2,56 ± 0,88 ^a	46,37 ± 3,11 ^a	16,50 ± 1,07 ^b
	Pós CO ₂ - inferior	3,56 ± 1,31 ^a	40,26 ± 3,26 ^b	18,60 ± 1,00 ^a
	Superior c/ CO ₂	7,53 ± 4,46 ^a	61,23 ± 2,51 ^c	14,70 ± 1,02 ^a
	Antes do CO ₂	7,74 ± 3,70 ^a	42,74 ± 1,84 ^b	19,74 ± 0,70 ^b
6°C	Pós CO ₂ - inferior	4,79 ± 3,27 ^a	42,12 ± 2,72 ^a	18,44 ± 2,65 ^a
	Superior c/ CO ₂	6,19 ± 0,72 ^a	59,94 ± 0,73 ^a	13,07 ± 1,41 ^a
	Antes do CO ₂	5,64 ± 0,37 ^a	44,83 ± 3,37 ^a	18,19 ± 0,94 ^b
	Pós CO ₂ - inferior	6,47 ± 0,69 ^a	55,71 ± 4,47 ^b	15,22 ± 2,78 ^a
10°C	Superior c/ CO ₂	7,79 ± 2,17 ^b	61,79 ± 1,03 ^c	12,45 ± 0,66 ^a

Os valores que apresentam a mesma letra para uma dada temperatura não diferem significância ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Ao avaliar o parâmetro mudança global de cor (ΔE), a amostra diferiu significativamente apenas à temperatura de 10 °C, para os ensaios antes e depois da solubilização. Nas demais temperaturas não houve variação significativa em relação ao processo de solubilização. Quanto à coloração das superfícies em contato direto com o CO₂ e da face inferior, a Figuras 4.3, mostra que há uma diferença de coloração as superfícies das amostras.

Figura 4.3 – Imagens da carne antes e após processo de solubilização



(a) corte lateral antes processo de solubilização, (b) corte lateral da amostra após processo de solubilização, (c) face inferior da amostra após processo de solubilização e (d) face superior da amostra após processo de solubilização.

O ângulo *hue* (H^*) ou de tonalidade, apresentou diferença em todas as temperaturas e entre as superfícies da amostra (superior – inferior) e processo (antes – pós CO_2) $p < 0,005$, coerente com o aspecto visual mostrado pela Figura 5.4. O fator Chroma (C^*), apresentou diferença nas comparações entre a face superior e inferior da amostra.

Partida (2012) encontrou valores de $C^* = 15,03$ e $H^* = 29,0$, para cordeiros mexicanos da raça Texel. Fernandes Júnior (2013) apresenta os valores de $C^* = 17,35$ e H^* de 36,09. Jucá (2013) apresenta os valores de 17,86 para C^* , ambos os trabalhos realizados com cordeiros da raça Santa

Inês. A variação dos valores justificados pela não homogeneidade das amostras, e por alguns fatores que influenciam o nível de mioglobina da carne, idade, sexo, raça, peso de abate, músculo analisado (LAWRIE, 1995).

A variação de tonalidade, a descoloração observada na face superior da amostra, foi causada provavelmente pela oxigenação da molécula de ferro.

✓ *Avaliações da perda de massa por exsudação, perda de massa por cocção, força máxima de corte, propriedades mecânicas, umidade e atividade de água*

A Tabela 4.9 apresenta os valores de perda de massa por cocção (%PPC), perda de massa por exsudação (%PPE) e a força máxima de corte ($F_{m\acute{a}x}$) das amostras após processo de solubilização, avaliando a influência do processo.

Tabela 4.9 – Resultados da PPC, PPE e $F_{m\acute{a}x}$

	PPE (%)	PPC* (%)	$F_{m\acute{a}x}$(N)
Carne Fresca		35,28 ^a	31,32 ± 6,62 ^a
2°C	2,24 ± 1,69	42,05 ^a	23,20 ± 4,84 ^a
6°C	3,50 ± 1,35	44,61 ^a	34,24 ± 7,73 ^a
10°C	6,77 ± 2,74	36,85 ^a	23,20 ± 4,84 ^a

*para ppc não foi calculado a média da duplicata, pois a massa da amostra variou entre um experimento e outro. Apresentado apenas os valores da primeira rodada de testes. Os valores que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente a um nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey, para amostra fresca em relação após solubilização

A proporção do exsudado (% PPE) obtidos neste trabalho apresenta divergência com os apresentados na literatura, quando comparado com outros produtos cárneos. Rotabakk (2006) e Al-Nehlawi et al. (2013) não encontram valores significativos de exsudados para amostras de peitos de frango armazenadas em atmosferas com alto teor de CO₂. Mc Mullen e Stiles (1993) sugerem que a maior perda de água

pelo músculo ocorre quando o CO₂ dissolve-se no produto, diminuindo o pH da carne, e aproximando as proteínas de seu ponto isoelétrico. Quando atingido, a água retida no interior do músculo é liberada como exsudado.

A perda de massa por cocção (%PPC) não apresentou diferença significativa antes e após processo de solubilização. Os valores encontrados por Francisco (2015) para a carne fresca de cordeiro foi de 35,2%. De acordo com Vergara e Gallego (2001), altas concentrações de CO₂ contribuirão para menor PPC em amostras de carne de cordeiro embaladas com alto teor de CO₂. Fernandes (2011) obteve valores de 17,47% para a PPE de carne ovina embalada em 100% de CO₂. Alterações microbiológicas podem contribuir para o aumento da perda de água, pela diminuição da estabilidade das proteínas (DOHERTY et al., 1996).

A força máxima de corte das amostras, medida instrumentalmente, não apresentou diferença significativa entre as amostras antes e após o CO₂, nas três temperaturas estudadas. Os valores para carne fresca foram coerentes (31,32 N) aos valores encontrados por Francisco et al. (2015) e Pinheiro e Souza (2011), 35 N e 31,5 N, respectivamente. Bickerstaffe et al. (2001) apresentam uma classificação para as carnes, de acordo com a força de cisalhamento, valores entre 20 e 49 N é denominada como muito macia. BELL et al. (1996) obtiveram valores de 39,5 N para amostras de carne bovina armazenada por 94 dias, a temperatura de -1°C, em 100% de CO₂. Segundo Jucá (2013) a resistência de ruptura das miofibrilas é influenciada por diferentes fatores como raça, sexo, idade, dieta do animal. Enquanto, Costa et al. (2011) encontraram valores de 14,5 N para animais da raça Santa Inês. Vieira et al. (2011) encontram valores variando de 46 a 53 N para animais da mesma raça, porém com idades diferentes.

Como complementação aos dados de força máxima de corte, a Tabela 4,10 apresenta valores das propriedades mecânicas - TPA.

Tabela 4.10 – Propriedades mecânicas de dureza (D), coesividade (C), elasticidade (E), gomosidade (G) e mastigabilidade (M) da carne de cordeiro após processo de solubilização.

	D (N)	C	E	G (N)	M (N)
Carne Fresca	24,25 ^b	1,67 ^a	0,57 ^a	41,32 ^b	22,12 ^b
2°C	53,54 ^a	1,87 ^a	0,48 ^a	100,33 ^a	48,82 ^a
6°C	53,61 ^a	1,93 ^a	0,46 ^a	103,99 ^a	47,83 ^a
10°C	50,44 ^a	1,96 ^a	0,44 ^a	98,68 ^a	44,18 ^a

^{a-b} Valores na mesma coluna com letras diferentes indicam uma diferença significativa $p < 0,05$.

Comparando resultados das amostras antes e após o processo de solubilização do CO₂, para os parâmetros de TPA, verifica-se que apenas a coesividade e elasticidade não apresentaram diferença, os demais parâmetros apresentaram diferenças significativas $p < 0,05$. De acordo com Roça (2000), a textura é um parâmetro sensorial que possui como atributos primários: maciez, coesividade, viscosidade e elasticidade, e secundários: gomosidade, mastigabilidade, suculência, fraturabilidade e adesividade.

Os valores de dureza para as amostras após processo de solubilização foram maiores que os valores observados na amostra fresca. Uma tendência similar foi observada para os parâmetros de gomosidade e mastigabilidade. Os atributos mais importantes para a textura da carne são maciez ou dureza e mastigabilidade.

Tabela 4.11 – Médias dos parâmetros de umidade e atividade de água (aw) antes e após processo de solubilização

	aw antes CO ₂	aw pós CO ₂	Umidade antes CO ₂	Umidade pós CO ₂
Carne Fresca	0,992 ± 0,01 ^a		75,40 ± 0,40 ^a	
2°C	0,993 ± 0,001 ^a	0,990 ± 0,01 ^b	74,30 ± 0,97 ^a	72,68 ± 1,03 ^b
6°C	0,992 ± 0,001 ^a	0,990 ± 0,002 ^b	73,46 ± 2,11 ^a	73,41 ± 1,05 ^b
10°C	0,992 ± 0,001 ^a	0,992 ± 0,001 ^a	74,44 ± 0,77 ^a	72,45 ± 2,66 ^b

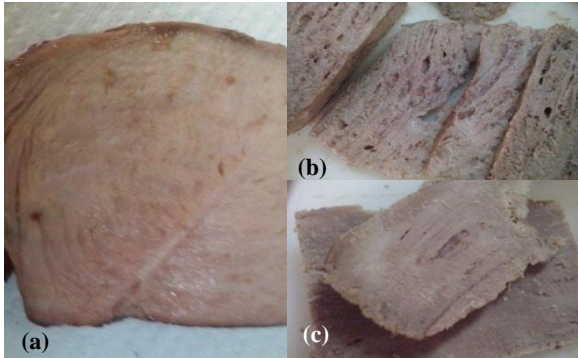
Os valores que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente a um nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey.

Aw das amostras acondicionadas a 2 e 6 °C antes e após o processo de solubilização apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Resultado também obtido para a umidade das amostras. A variação observada nas propriedades mecânicas pode estar relacionadas diretamente pela diminuição dos teores de umidade das amostras decorrente da exsudação durante o processo de solubilização e perda de massa por cocção.

✓ *Avaliação física das amostras solubilizadas com CO₂ após cocção*

A Figura 4.4 mostra as imagens das carne de cordeiro antes e após processo de solubilização com CO₂, e após o processo de cocção das amostras. Observa-se a presença de poros, provavelmente oriundos da presença do CO₂ solubilizado na forma de gás. Durante o manuseio da amostra era perceptíveis ao tato (avaliação subjetiva) bolhas de CO₂ formadas no interior da amostra e estas quando pressionadas explodiam.

Figura 4.4 -Imagens da carne cozida antes do processo de solubilização com CO₂ (a) e após o processo de solubilização (b) e (c).

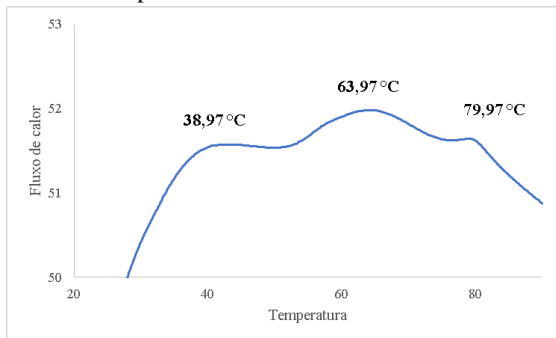


A partir da Figura 4.4 foi possível visualizar que a formação dos poros após cocção ocorria na junção das fibras musculares. Gill e Penney (1990), Bruce et al. (1996), Sorheim et al. (2004) relatam ter observado fissuras em amostras de carne cozidas previamente armazenadas com CO₂. Bruce et al. (1996) avaliam que a formação destes poros entre as junções das fibras se deu durante o cozimento pela movimentação do CO₂ próximo ao perimísio (tecido conjuntivo que faz a junção das fibras musculares) por ser a parte mais fraca da estrutura. Entretanto Gill e Penney (1990) sugeriram que o aspecto poroso formado em carnes adicionadas em CO₂ até o equilíbrio é devido a uma solubilização iônica do CO₂ pelas proteínas do músculo. Tomaszewska-Gras e Konieczny (2012), relatam que o aumento da força iônica e mudanças no pH pode alterar o estado natural de proteínas e sua estabilidade térmica.

Para melhor entendimento do processo de desnaturação proteica, análises térmicas por calorimetria diferencial de varredura foram realizadas na amostra fresca e após processo de solubilização, afim de verificar se haveria alterações dos picos de desnaturação das proteínas, através da

solubilização do CO₂. As faixas de desnaturação das proteínas são de (54-58 °C) para a miosina, para as sarcoplasmáticas e colágeno (60-69 °C) e da actina (71 -83°C). Foi observada variação abaixo de 39 °C, apenas no primeiro pico (faixa de desnaturação da miosina) para as carnes submetidas ao processo de solubilização a 2 °C, Figura 4.5. Para as demais condições experimentais estudadas, as faixas de desnaturação não apresentaram variações. Entretanto, provavelmente o abaixamento do primeiro pico das amostras acondicionadas a 2 °C, não seja influência pela presença do CO₂, já que a amostra de carne fresca também apresentou pico para desnaturação de miosina, abaixo da faixa esperada (38,04 °C).

Figura 4.5 Exemplo de curva do DSC



Esta variação pode ter ocorrido muito provavelmente pela característica da amostra analisada, visto que a quantidade usada para a análise é mínima, e a carne é uma matriz heterogênea. A presença de traços de gordura na alíquota analisada pode ter surgido efeito negativo na representação do pico da miosina. Esta suposição acima está de acordo com Bruce et al. (1996) que sugere que o CO₂ não afetava a estabilidade térmica das proteínas.

4.2.5. Análises Microbiológicas da Carne de Cordeiro

A avaliação microbiológica da carne de cordeiro fresca apresentou ausência de *Salmonella ssp* em 25g, e detecção de coliformes tolerantes $<1 \times 10^1$ UFCg⁻¹. Atendendo aos padrões microbiológicos para carne fresca refrigerada, da Legislação Brasileira.

Tabela 4.12 – Resultados microbiológicos da carne de cordeiro

	Carne Fresca	Legislação Brasileira
Salmonella ssp	ausência	ausência
Coliformes tolerantes	$<1 \times 10^1$	10^4 UFC g ⁻¹
Após solubilização		
	2°C	6 °C
Bactérias anaeróbias	$3,9 \times 10^6$	$4,2 \times 10^7$
Bactérias mesófilas aeróbias	$2,7 \times 10^5$	$8,8 \times 10^7$
Psicrófilas	$8,2 \times 10^6$	$7,3 \times 10^7$
Mesófilas ácido lácticas	$5,0 \times 10^6$	$3,9 \times 10^7$

Apesar de a amostra ter apresentado altos valores nas contagens microbiológicas, ainda encontra-se dentro do padrão estabelecido pela Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos (ICMSF) que determina o limite para corte cárneos de 10^7 UFC g⁻¹ para contagem total de microrganismos.

Fernandes et al., (2014) avaliaram amostras de lombo de cordeiro embaladas em diferentes condições de atmosfera modificada (vácuo, 100% CO₂ e 75% O₂ + 25% CO₂), e as amostras armazenadas contendo 100% CO₂ tiveram uma

maior estabilidade e uma melhor vida de prateleira durante 28 dias, a 1 °C. A alta contagem é decorrente do longo tempo necessário para se obter o equilíbrio. Entretanto, em 60 horas de processo de solubilização foi possível atingir cerca de 70% do total de CO₂ absorvido ao final do processo de solubilização, relação importante para o uso de atmosfera modificada. No presente trabalho não se tinha como objetivo verificar a estabilidade microbiológica, salientando que as análises microbiológicas realizadas após o processo de solubilização não foram as mesma realizadas na carne fresca, não podendo confirmar a alta contagem ao final do processo, somente pelo período de experimento.

5. CONCLUSÕES

A solubilidade do CO₂ e a concentração de gás dissolvido em carnes de cordeiro podem ser determinadas através de um método simples, e eficaz baseado na Lei de Henry. Os dados de solubilidade do CO₂ para a carne de cordeiro foram coerentes aos encontrados na literatura por um método diferente.

As temperaturas estudadas influenciaram tanto na solubilidade quanto na concentração de CO₂ dissolvido na carne.

Os parâmetros físico-químicos avaliados da carne após processo de solubilização, perceptíveis ao consumidor não apresentam variações significativas quando comparados a carne fresca. Entretanto, a cor das amostras apresentou variação significativa para as medidas realizadas na superfície em contato direto com o CO₂. Entretanto, somente através de análise sensorial de aceitação poderá se avaliar a resposta do consumidor, assim como os parâmetros de textura. Houve formação de poros na carne cozida entre as fibras das amostras como consequência provável do processo de solubilização. Os dados obtidos de solubilidade são úteis para a indústria, servindo como parâmetro favorável ao desenvolvimento de embalagens com atmosfera modificada para alimentos refrigerados, e novos processos de conservação de produtos cárneos refrigerados, devido a menor contagem microbiana num período mais longo.

O presente estudo contribuiu para a compreensão da absorção do CO₂ em alimentos, bem como serviu para despertar o interesse para novos estudos de forma a avaliar a posterior o efeito da composição lipídica no parâmetro de solubilidade.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliação da vida de prateleira associada ao processo de solubilização num menor tempo;

Avaliar o processo de dessorção do gás após o processo de solubilização e acondicionamento em embalagens de alta barreira;

Determinar o coeficiente de difusão do CO₂ em carnes de cordeiro;

Estudar a absorção do CO₂ em tecidos de gordura, avaliar a relação entre a solubilidade e a composição dos ácidos graxos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, M.; CAMPO, M. M.; ONENÇ, A.; SANUDO, C.; ALBERTI, P.; NEGUERUELA, A. I. Beef Colour Evolution as a Function of Ultimate pH. **Meat Science**, v.58 (1), p.69-78, 2001.

ALCANTARA, M. D.; MORAIS, I. C. L. D.; MATOS, C. D.; SOUZA, O. Da. C. C. De. Principais microrganismos envolvidos na deterioração das características sensoriais de derivados cárneos. **Revista brasileira de higiene e sanidade animal**, v.6 (1),p. 1-20, 2012.

AL-NEHLAWI, A.; SALDOB, J.; VEGAA, L.F.; GURIA, S. Effect of high carbon dioxide atmosphere packaging and soluble gas stabilization pre-treatment on the shelf-life and quality of chicken drumsticks. **Meat Science**. v.94. p. 1–8, 2013.

AOAC – Association of Official Analytical Chemists.
Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Edition, Revision, Gaithersburg, 2000.

ARAÚJO, J.M.A **Química de alimentos-teoria e prática**, 5ª ed. viçosa: UFV, p.601, Viçosa-MG, 2011

BEARE-ROGERS, J.; DIEFFENBACHER, A.; HOLM, J. V. Lexicon of lipid nutrition. **IUPAC Technical Report**, v.73 (4), p. 685-744, 2001.

BICKERSTAFFE, R.; BEKHIT, A. E. D.; ROBERTSON, L. J.; ROBERTS, N.; GEESINK, G. H. Impact of introducing specifications on the tenderness of retail meat. **Meat Science**, v.59 (3), p.303-315, 2001.

BONAGURIO, S. **Qualidade da carne de cordeiros Santa Inês puros e mestiços com texel abatidos com diferentes pesos**. 150 p. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2001

BONAGURIO, S.; PÉREZ, J. R. O.; FURUSHO-GARCIA, I. F.; SANTOS, C. L. D.; LIMA, A. L. Composição centesimal da carne de cordeiros Santa Inês puros e de seus mestiços com Texel abatidos com diferentes pesos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33 (6), 2004.

BOUNER, M. C. Chapter 3 – Physics and Texture. **Food Texture and Viscosity**, Concept and Measurement. Food Science and Technology, 2th ed. p.59-106, 2002.

BOURNE, M. C. Chapter 3 – Physics and Texture. **Food Texture and Viscosity**, 2^a ed. P. 59-106, 1982.

BRASIL. Resolução RDC, nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Publicada no **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 de janeiro de 2001. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2015.

BRUCE, H. L.; WOLFE, F. H.; JONES, S. D. M.; PRICE, M. A. Porosity in cooked beef from controlled atmosphere packaging is caused by rapid CO₂ gas evolution. **Food Research International**, v.29 (2), p.189-193, 1996.

CABRAL, G. J. **Determinação Experimental da Solubilidade e do Coeficiente de Difusão Efetivo do CO₂ em Queijo Tipo Minas Frescal e Simulação de Embalagem sob Atmosfera Modificada**. 2011. 90p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2011.

CALLEJAS-CÁRDENAS, A. R.; CARO, I.; BLANCO, C.; VILLALOBOS-DELGADO, L. H.; PRIETO, N.; BODAS, R.; GIRÁLEZ, F. J.; MATEO, J. Effect of vacuum ageing on quality changes of lambs teaks from early fattening lambs during aerobic display. **Meat Science**, v.98 (4), p.646-651, 2014.

CAMARGO, E. V. D. **Qualidade da carne e desempenho de cordeiros suplementados com óleos essenciais**. 81 p. 2013. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013

CARDOSO, M. T. M. **Desempenho e Características de Carcaças de Ovinos da Raça Santa Inês e seus Cruzamentos em Sistema Intensivo de Produção**. 2008, 127p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2008.

CARROLL, J.; SLUPSKY, J.; MATHER, A. The solubility of carbon dioxide in water at low pressure. **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, v. 20(6), p. 1201-1209, 1991.

CARTER, M. J.; PARSONS, D. S. The isoenzymes of carbonic anhydrase: kinetic properties with particular reference to the functions in the intestinal tract. **The Journal of Physiology**, v.220 (2), p. 465-478, 1972.

CHURCH, N. Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. **Trends in Food Science & Technology**, p. 345-352, 1994.

CHURCH, N.; PARSONS, A. L. Modified atmosphere packaging technology: a review. **Journal of The Science of Food and Agriculture**, 67, 143-152, 1995.

CONTE JUNIOR, C. A. **Influência do Dióxido de Carbono na Validade Comercial da carne de rã, linguça frescal de frango e carne bovina moída resfriadas e embaladas em atmosfera modificada**. 2011 136p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Federal Fluminense. Niterói – RJ, 2011.

COSTA, R. G.; SANTOS, N. M. Dos; SOUSA, W. H. De; QUEIROGA, R. De. C. R. Do. E.; AZEVEDO, P. S. De; CARTAXO, F. Q. Qualidade física e sensorial da carne de cordeiros de três genótipos alimentados com rações formuladas com duas relações volumoso: concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40 (8), p.1781-1787, 2011.

CREMASCO, M. A. **Fundamentos de Transferência de Massa**. 2a Ed, Editora: UniCamp, Campinas, 741 p., 2002.

DE BORTOLI, E. D. **O mercado de carne ovina no Rio Grande do Sul sob a ótica de diversos agentes**. 140 p. 2008. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008

DEL-VALLE, V.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; CATALÁ, R.; GAVARA, R. Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for minimally processed mandarin segments. **Journal of food engineering**, v.91 (3), p. 474-481, 2009.

DEVLIEGHIERE, F.; DEBEVERE, J. Influence of dissolved carbon dioxide on the growth of spoilage bacteria. **LWT – Food Science and Technology**, v.33 (8), p.531-537, 2000.

DEVLIEGHERE, F.; DEBEVERE, J.; IMPE, J. V. Concentration of carbon dioxide in the water-phase as a parameter to model the effect of a modified atmosphere on microorganisms. **International Journal of Food Microbiology**, v.43 (1-2), p.105-113, 1998b.

DEVLIEGHERE, F.; DEBEVERE, J.; IMPE, J. V. Effect of dissolved carbon dioxide and temperature on the growth of *Lactobacillus sake* in modified atmospheres. **International Journal of Food Microbiology**, v.41 (3), p. 231-238, 1998a.

DIXON, N. M.; KELL, D. B. The inhibition by CO₂ of the growth and metabolism of microorganisms. **Journal of Applied Microbiology**, v.67 (2), p. 109-136, 1988.

DOHERTY, A. M.; SHERIDAN, J. J.; ALLEN, P.; MCDOWELL, D. A.; BLAIR, I. S. Physical characteristics of lamb primals packaged under vacuum or modified atmospheres. **Meat Science**, v.42 (3), p.315-324, 1996.

ESMER, O. K.; IRKIN, R.; DEGIRMENCIOGLU, N.; DEGIRMENCIOGLU, A. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat. **Meat Science**, v.88 (2), p. 221-226, 2011.

FAO 2010. **The state of world fisheries and aquaculture 2010**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

FERNANDES, J. Características de carcaça e qualidade da carne de cordeiros Santa Inês alimentados com torta de girassol em substituição ao farelo de algodão. **Ciências Agrárias**, v.34, n.6Supl2. 2013.

FERNANDES, R. D. P. P. **Estabilidade de Carne de Cordeiro em Diferentes Condições de Armazenamento.** 2011 172p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo. Pirassununga – SP, 2011.

FERNANDES, R. D. P. P.; FREIRE, M. T. D. A.; PAULA, E. S. M. D.; KANASHIRO, A. L. S.; CATUNDA, F. A. P.; ROSA, A. F.; BALIEIRO, J. C. D. C.; TRINDADE, M. A. Stability of Lamb loin store dunder refrigeration and packed in different modified atmosphere packaging systems. **Meat Science**, v.96 (1), p. 554-561, 2014.

FERNANDES, R. De P. P.; FREIRE, M. T. De; GUERRA, C. C.; CARRER, C. Da C.; BALIEIRO, J. C. De A.; TRINDADE, M. A. Estabilidade físico-química, microbiológica e sensorial de carne ovina embalada a vácuo estocada sob refrigeração. **Ciência Rural**, v.42 (4), p. 724-729, 2012.

FOLCH, J.; LESS, M.; STANLEY, S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal Biological Chemistry**, v.226 (1), p.497-509, 1957.

FRANCISCO, A.; DENTINHO, M. T.; ALVES, S. P.; PORTUGAL, P. V.; FERNANDES, F.; SENGO, S.; JERÓNIMO, E.; OLIVEIRA, M. A.; COSTA, P.; SEQUEIRA, A.; BESSA, R. J. B.; SANTOS-SILVA, J. Growth performance, carcass and meat quality of lambs supplemented with increasing levels of a tanniferous bush (*Cistusladanifer* L.) and vegetable oils. **Meat Science**, v.100, p.275-282, 2015.

FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M.; **Microbiologia de Alimentos**, São Paulo: Editora Atheneu, 2008. 182 p.

FREGONESI, R. P. **Radiação Gama Aplicada Para Estender a Vida Útil da Carne de Cordeiro Embalada a Vácuo e Armazenada sob Refrigeração.** 2013. 86p. Dissertação de Dissertação de Mestrado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo. Pirassununga – SP. 2013.

GILL, C. O. The solubility of carbon dioxide in meat. **Meat Science**, 22, 65–71, 1988.

GILL, C. O.; PENNEY, N. **The effect of storing raw meat under carbon dioxide on the visible texture of cooked muscle tissue.** NIWA, Taihoro Nukurangi, p.232-240, 1990.

GILL, C. O.; PENNEY, N. The effect of the initial gas volume to meat weight ratio on the storage life of chilled beef packaged under carbon dioxide. **Meat science**, v.22 (1), p. 53-63, 1988.

HAN, J. H. Innovations in food packaging. **Food Science and Technology**, 2005.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acids methyl esters. **Laboratory Practice**, London, v.22, p.475-476, 1973.

IBGE. Indicadores IBGE. **Estatística da Produção Pecuária.** 2013.

ICMSF – INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Microorganisms in foods. Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications**, 2 Ed., Blackwell Scientific Publications, Toronto: University of Toronto Press. 1986.

JAKOBSEN, M.; BERTELSEN, G. Predicting the amount of carbon dioxide absorbed in meat. **Meat Science**. V. 68, p. 603-610. 2004.

JAKOBSEN, M.; BERTELSEN, G. Solubility of Carbon Dioxide in Fat and Muscle Tissue. **Journal of Muscle Foods**. V. 17, p. 9-19. 2006.

JAKOBSEN, M.; BERTELSEN, G. The Use of CO₂ in Packaging of Fresh Red Meats and its Effect on Chemical, Quality Changes in The Meat: A Review. **Journal of Muscle Foods**. V. 13, p. 143-168. 2002.

JAKOBSEN, M.; RISBO, J. Carbon dioxide equilibrium between product and gas phase of modified atmosphere packaging systems: Exemplified by semihard cheese. **Journal of Food Engineering**. v. 92, p 285-290, 2009.

JAKOBSEN, M; BERTELSEN, G. The Use Of CO₂ In Packaging Of Fresh Red Meats And Its Effect On Chemical Quality Changes In The Meat: A Review. **Journal of Muscle Foods**, v.13 (2), 2001.

JUCÁ, A. D. F. **Características de Desenvolvimento, Morfologia, Carcaça e Carne em Ovinos**.2013, 82p. Tese Doutorado em Ciência Animal nos Trópicos. Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Federal da Bahia. Salvador Bahia. 2013.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6th ed. São Paulo: Artmed, 2005.

LEDWARD, D. A. Metmyoglobin Formation in Beef Stored in Carbon Dioxide Enriched and Oxygen Depleted Atmospheres. **Journal of food science**, v.35 (1), p. 33-37, 1970.

LIMA, M. C. O. **Análise de Carne Caprina Armazenada sob Congelamento**. 2012, p.66. Dissertação do Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga – BA, 2012.

LIMA, M. D.; SOARES, L. S.; TOSATI, J. V.; LERIN, L. A.; OLIVEIRA, J. V.D.; MONTEIRO, A. R. Application of CO₂ in Perna perna Mussel: Evaluation of Absorption Mechanism During Soluble Gas Stabilization (SGS) Process. **Food Engineering Reviews**, 2014.

LIPLAP, P.; VIGNEAULT, C.; BOUTIN, J.; RENNIE, T. J.; RAGHAVAN, G. S. V. Measurement of CO₂ solubility in tomato slurry using manometric method. **Agriculture and Agri-Food Canada**, v.30 (1), p. 59-67, 2014.

LOPES, José E. L.; SALES, R. De O.; AZEVEDO, A. R. D.; OLIVEIRA, A. L.T. De. Composição centesimal, perfil de ácidos graxos e colesterol da carne de cordeiros submetidos aos sistemas de produção com dieta experimental e convencional. **Revista brasileira de higiene e sanidade animal**, v.6 (2), p. 31-50, 2012.

MADRUGA, M. S.; ARAÚJO, W. O. D.; SOUSA, W. H. D.; CÉZAR, M. F.; GALVÃO, M. D. S.; CUNHA, M. D. G. G. Efeito do genótipo e do sexo sobre a composição química e o perfil de ácidos graxos da carne de cordeiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35 (4), p. 1838-1844, 2006.

MAIA, M. D. O.; COSTA, F. D. S.; SUSIN, I.; RODRIGUES, G. H.; FERREIRA, E. M.; PIRES, A. V.; GENTIL, R. S.; MENDES, C. Q. Efeito do genótipo sobre a composição química e o perfil de ácidos graxos da carne de borregas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41 (4), 2012.

MANTILLA, S. P. S.; MANO, S. B., VITAL, H. D. C.; FRANCO, R. M. Atmosfera Modificada na Conservação de Alimentos. **Revista Acadêmica Ciência Animal**. v. 8, p 437-448, 2010.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; DE ANDRADE, J. B. Solubilidade das substancias orgânicas. **Química Nova**, v.36 (8), São Paulo, 2013.

MCMILLIN, K. W. Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. **Meat Science**, v.80 (1), p. 43-65, 2008.

MCMULLEN, L. M.; STILES, M. E. Microbial ecology of fresh pork stored under modified atmosphere at -1,4.4 and 10°C. **International Journal of Food Microbiology**, v.18, p.1-14, 1993.

MITZ, M. A. CO₂biodynamics: A new concept of cellular control. **Journal of Theoretical Biology**, v.80 (4), p. 537-551, 1979.

MONTEIRO FILHO, A. F.; BRAGA, M. E. D.; MATA, M. E. R. M. C. Congelamento de carne suína a temperaturas criogênicas: alterações de algumas características físico-químicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4(1), p. 51-62, 2002.

OETTERE, M.; D'ARCE, M., A., B., R.; SPOTO, M. **Fundamentos da Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 1^a ed. Barueri: Manole, 2006.

PAIM, T. Do P.; CARDOSO, M. T. M.; BORGES, B. O.; GOMES, E. F.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. Estudo econômico da produção de cordeiros cruzados confinados abatidos em diferentes pesos. **Ciência Animal Brasileira**, 2011.

PARTIDA, J. A.; VÁZQUEZ, E.; RUBIO, M. S.; MÉNDEZ, D. Effect of breed of sire on carcass traits and meat quality of katahdin lambs. **Journal of Food Research**, v.1 (4), 2012.

PAUCHARD, J. P.; FLUCKIGER, E.; BOSSET, J. O.; BLANC, B. CO₂ -Löslichkeit, -Konzentration bei Entstehung der Löcher und -Verteilung im Emmentalerkäse. **Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung**, v. 9 (4), p.69-73, 1980.

PEREIRA, T. E. D. J.; STROHER, G. R.; TURBIANI, F. R. B. Propriedades termo físicas da carne branca de frango: efeito da temperatura e do conteúdo de umidade. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.16(4), p.278-284, 2013.

PINHEIRO, R. S. B.; SOUZA, H. B. A. De. Methods of discard ewes carcass suspension and the quality of meat. **Food Science and Technology**, v.31 (1), Campinas, 2011.

PINHEIRO, R. S. B.; SOBRINHO, A. G. Da S.; SOUZA, H. B. A. D.; YAMAMOTO, S. M. Qualidade de carnes proveniente de cortes da carcaça de cordeiros e de ovinos adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38 (9), 2009.

RANSON, S. L.; WALKER, D. A.; CLARKE, I. D. Effects of carbon dioxide on mitochondrial enzymes from Ricinus. **US National Library of Medicine National Institutes of Health**, v.76 (2), p. 216-221, 1960.

ROÇA, R.O. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2000. 202p

ROTABAKK, B. T.; BIRKELAND, S.; JEKSRUD, W.; SIVERTSVIK, M. Effect of modified atmosphere packaging and soluble gas stabilization on the shelf life of skinless chicken breast fillets. **Journal of Food Science**, v. 71(2), p. 124-131, 2006.

ROTABAKK, B. T.; LEKANG, O. I.; SIVERTSVIK, M. Volumetric method to determine carbon dioxide solubility and absorption rate in foods packaged in flexible or semi rigid package. **Journal of Food Engineering**, v.82 (1), p. 43-50, 2007.

ROTABAKK, B.T.; LEKANG, O. I.; SIVERTSVIK, M. Solubility, absorption and desorption of carbon dioxide in chicken breast fillets. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 442-446, 2010.

ROUSSET, S.; RENERRE, M. Effect of CO₂ or vacuum packaging on normal and high pH meat shelf life. **International Journal of Food Science and Technology**, v.26 (6), p.641-652, 1991.

SANTOS, J. R. S. Dos; PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. De A.; CEZAR, M. F.; BORBUREMA, J. B.; SILVA, J. O. R. Composição tecidual e química dos cortes comerciais da carcaça de cordeiros Santa Inês terminados em pastagem nativa com suplementação. **Revista brasileira de zootecnia**, v.38 (12), 2009.

SANTOS, José Rômulo Soares dos. **Chemical composition of meat from wholesale cuts of carcass of Santa Inês lambs in buffel enriched pasture, under different levels of feeding supplementation**. Patos, UFCG. 2007. 96p. Dissertation – Magister Science in Husbandry Science – Agrosilvi pastoral Systems in Semi-árido.

SANUDO, C.; ENSER, M. E.; CAMPO, M. M.; NUTE, G. R.; MARÍA, G.; SIERRA, I.; WOOD, J. D. Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. **Meat Science**, v.54 (4), p. 339-346, 2000.

SCETAR, M; KUREK, M.; GALIC, K. Trends in meat and meat products packaging – a review. **Croatian Journal of Food Science and Technology**. v.2 (1), p. 32-48. 2010.
SCHIRMER B. C.; LANGSRUD S. A dissolving CO₂ headspace combined with organic acids prolongs the shelf life of fresh pork. **Meat Science**, p.280–284, 2010.

SCHUMPE, A. QUICKER, G. DECKWER, W.-D. Gas solubilities in microbial culture media. **Advances in Biochemical Engineering**, 24, 1–38, 1982.

SEARS, D. F.; EISENBERG, R. M. A Model Representing a Physiological Role of CO₂ at the Cell Membrane. **The Journal of Cell Biology**, v.44 (5), p. 869-887, 1961.

SEBRAE; EMBRAPA. Mercado e comercialização. **Sistema de Criação de Ovinos nos Ambientes Ecológicos do Sul do Rio Grande Do Sul**. 2005.

SILVA SOBRINHO, A. G. D.; PURCHAS, R. W.; KADIM, I. T.; YAMAMOTO, S. M. Características de Qualidade da carne de ovinos de diferentes genótipos e idades ao abate. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34 (3), p. 1070-1078, 2005.

SIMPSON, R.; ACEVEDO, C.; ALMONACID, S. Mass transfer of CO₂ in MAP systems: Advances for non-respiring foods. **Journal of Food Engineering**, v.92 (2), p. 233-239, 2009

SIMPSON, R.; ALMONACID, S.; ACEVEDO, C.
Development of a Mathematical Model for MAP Systems
Applied to Nonrespiring Foods. **Journal of Food Science**, v.
66, n.4, 2001.

SIMPSON, R.; CAREVIC, E.; ROJAS, S. Modelling a
modified atmosphere packaging system for fresh scallops
(Argopectenpurpuratus). **Packaging Technology and
Science**, v.20 (2), p.87-97, 2006.

SIMPSON, R.; CAREVIC, E.; ROJAS, S. Modelling a
modified atmosphere packaging system for fresh scallops
(Argopectenpurpuratus). **Packaging Technology and
Science, an International Journal**, v.20 (2), p.87-97, 2007.

SIVERTSVIK, M. The optimized modified atmosphere for
packaging of pre-rigor filleted farmed cod (*Gadusmorhua*) is
63 ml/100 ml oxygen and 37ml/100ml carbon dioxide,
LWT-Food Science and Technology, 40, 430-438, 2007.

SIVERTSVIK, M.; BIRKELAND, S. Effects of Soluble Gas
Stabilization, Modified Atmosphere, Gas to Product Volume
Ratio and Storage on the Microbiological and Sensory
Characteristics of Ready-to-Eat Shrimp (*Pandalus borealis*).
Food Science and Technology International, v.12 (5), p.
445-454, 2006.

SIVERTSVIK, M.; JEKSRUD, W. K.; ROSNES, J. T. A
review of modified atmosphere packaging of fish and fishery
products – significance of microbial growth, activities and
safety. **International journal of food science**, 2002

SIVERTSVIK, M.; JEKSRUD, W. K.; VAGANE, A.;
ROSNES, J. T. Solubility and absorption rate of carbon
dioxide into non-respiring foods. Part 1: Development and
validation of experimental apparatus using a manometric

method. **Journal of Food Engineering**, v. 61(3), p. 449-458, 2004a.

SIVERTSVIK, M.; JENSEN, J. S. Solubility and absorption rate of carbon dioxide into non-respiring foods. Part 3: Cooked meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 70, p. 499-505, 2005.

SIVERTSVIK, M.; ROSNES, J. T.; JEKSRUD, W. K. Solubility and absorption rate of carbon dioxide into non-respiring foods. Part 2: Raw fish fillets. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 451-458, 2004b.

SOARES, L.; TOSATI, J. V.; LIMA, M. De.; LERIN, L. A.; MONTEIRO, A. R. Evaluation of CO₂ absorption and desorption rate in oysters (*Cassostrea gigas*) using the soluble gas stabilization method. **International Journal of Food Science and Technology**, 2015.

SOARES, L.S. **Estudo da absorção e dessorção de CO₂ em ostras (*Crassostrea gigas*) durante a pré-solubilização**. 79 p. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SORHEIM, O.; OFSTAD, R.; LEA, P. Effects of carbon dioxide on yield. Texture and microstructure of cooked ground beef. **Meat Science**, v.67 (2), p.231-236, 2004.

THIPPAREDDI, H.; NEBRASKA, UNIVERSITY OF; PHEBUS, R. K.; UNIVERSITY, KANSAS STATE. Modified Atmosphere Packaging (MAP): Microbial Control and Quality. **America's Research-based Learning Network**, 2010.

TOMASZEWSKA-GRAS, J.; KONIECZNY, P. Effect of marination on the thermodynamic properties of chicken muscle proteins studied by DSC. **Czech Journal Food Science**, v.30 (4), p.302-308, 2012.

USDA, United States Department of Agriculture, Cordeiro da Fazenda a mesa. Disponível em: http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/97af8c77-5e6f-4032-984b-316c20559a45/Lamb_from_Farm_to_Table.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 10 set. 2014.

VERGARA, H.; GALLEGO, L. Effects of gas composition in modified atmosphere packaging on the meat quality of Spanish Manchega lamb. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.81 (14), p.1353-1357, 2001.

VIEIRA, T. R. De. L.; CUNHA, M. Das. G. G.; GARRUTTI, D Dos. S.; DUARTE, T. F.; FÉLEX, S. S. Dos. S.; PEREIRA FILHO, J. M.; MADRUGA, M. S. Propriedades físicas e sensoriais da carne de cordeiros Santa Inês terminados em dietas com diferentes níveis de caroço de algodão integral (*Gossypiumhirsutum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30 (2), p.372-377, Campinas, 2010.

VILARINHO, R. C. **Características da Carne de Cordeiros Criados em Campo Natural do Bioma Pampa**. 2013. 72p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. Faculdade de Veterinária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 2013.

WOMMER, T. P. **Características da carcaça e da carne e perfil de ácidos graxos de cordeiros de duas raças submetidas a níveis de inclusão de casca de grão de soja na dieta**. 2013, 88p. Tese Pós-Graduação em Zootecnia.

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2013.

WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A. V.; NUTE, G. R.; RICHARDSON, R. I.; SHEARD, P. R. Animal Nutrition and Metabolism Group Symposium on 'Improving meat production for future needs'. Manipulating meat quality and composition. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.58, p. 363-370, 1999.

YOKOZEKI, A.; SHIFLETT, M. B. The solubility of CO₂ and N₂O in olive oil. **Fluid Phase Equilibria**, v.305 (2), p.127-131, 2011.

ZEOLA, N. M. B. L.; SOBRINHO, A. G. D. S.; MANZI, G. M. Composição regional e centesimal da carcaça de cordeiros criados nos sistemas de produção orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40 (12), p. 2963-2970, 2011.

ZEOLA, N. M. B. L.; SOBRINHO, A. G. D. S.; NETO, S. G.; MARQUES, C. A. T. Composição centesimal da carne de cordeiros submetidos a dietas com diferentes teores de concentrado. **Ciência Rural**, v.34 (1), 2004.

ZHAO, Y. Y.; WELLS, J. H.; MCMILLIN, K. W. (1995). Dynamic changes of headspace gases in CO₂ and N₂ packaged fresh beef. **Journal of Food Science**, 60, 571–575, 591, 1995.

ZHAO, Y.; WELLS, Y. Method for measuring CO₂ absorption in CO₂ and N₂ packaged fresh meat. **Journal of Food Process**, 18, 383–395, 1995.