

MARCUS ANDRADE WANDERLEY JUNIOR

**EFEITO DA EMBALAGEM, DO MÚSCULO E DO TEMPO DE
ESTOCAGEM SOBRE A ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA
CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

MARCUS ANDRADE WANDERLEY JUNIOR

**EFEITO DA EMBALAGEM, DO MÚSCULO E DO TEMPO DE
ESTOCAGEM SOBRE A ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA
CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*

APROVADA: 26 de novembro de 2008.

Prof.^a. Nilda de Fátima Ferreira Soares
(Co-Orientadora)

Prof. José Benício Paes Chaves
(Co-Orientador)

Dr. Paulo Rogério Fontes

Prof. Marco Túlio Coelho Silva

Prof. Lúcio Alberto de Miranda Gomide
(Orientador)

Dedico esta dissertação a Deus, por todas as bênçãos em minha vida, e a minha família e minha noiva, pelo amor, apoio, confiança, dedicação e exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela presença constante em toda minha vida, por iluminar os meus caminhos e pela força que me foi dada para a conclusão desta tarefa.

Às minhas amadas, avó Anésia e tia mãe Eunice, que não se encontram mais entre nós, mas que tenho certeza, estarão sempre ao meu lado como anjos da guarda, pelo amor incondicional e pelos ensinamentos de vida.

Às minhas mães, Heleni e Rita e aos meus irmãos, Marianne e Márcio, meus exemplos de vida, pelo amor incondicional, e por sempre acreditarem em mim mesmo quando motivos não lhes faltaram para descrença, meus eternos agradecimentos. Obrigado por existirem!

À minha amada noiva, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis, me dando apoio, carinho e amor. Obrigado por fazer parte de minha vida!

À família de minha noiva, à qual tenho muito carinho, respeito e admiração. Obrigado pela torcida!

Ao Professor Lúcio Alberto de Miranda Gomide, que tive a oportunidade de conhecer, pela orientação, pelo aprendizado, pela forma fraterna com que me recebeu e por sua disponibilidade irrestrita.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade e pelo grandioso aprendizado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo suporte financeiro.

Aos Professores José Benício Paes Chaves e Nilda de Fátima Ferreira Soares, pelos valiosos aconselhamentos e pela disponibilidade e cordialidade com que sempre me atenderam.

Ao professor Sukarno do Departamento de Física, pela valiosa ajuda, disponibilidade e atenção dispensadas.

Ao Professor Efraim do Departamento de Química, pela montagem do eletrodo para determinação do potencial de óxi-redução, disponibilidade e pelas sugestões.

Ao Professor Marco Túlio pela ajuda na interpretação dos dados.

Aos meus amigos colegas de laboratório, Juliana, Everton, Fabiano e Weskley, pelo apoio, amizade e ensinamentos. Muito obrigado!

À Wandick, Zé Geraldo, José Silvério e José Tomaz (“perereca”), pela ajuda nos momentos de dificuldade e por me tratarem sempre com muito carinho.

Aos meus amigos Léo, Rogério e Vítor, por terem me acolhido e me tratado com muito carinho.

Aos meus estagiários Daniela, Luiz e Marian, pela valiosa ajuda durante a realização desse trabalho.

À Diego e Mirian, pela ajuda fundamental no desenvolvimento das embalagens.

À Ciba Specialty Chemicals, pelo fornecimento do filtro UV (Shelfplus UV 1400).

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARCUS ANDRADE WANDERLEY JÚNIOR, filho de Marcus Andrade Wanderley e Heleni Teixeira Silveira, nasceu em Jequié - BA, em 25 de junho de 1980.

Em setembro de 2005, graduou-se em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB, Itapetinga-BA.

Em maio de 2006 ingressou no Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa/UFV, Viçosa-MG, submetendo-se à defesa de tese em novembro de 2008.

ÍNDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LISTA DE FIGURAS | VII |
| LISTA DE TABELAS | IX |
| RESUMO | X |
| ABSTRACT | XII |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. COR EM CARNES | 4 |
| 2.2. EFEITO DA LUZ SOBRE A ESTABILIDADE DA COR EM CARNES | 6 |
| 2.3. DIFERENÇAS ENTRE MÚSCULOS QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE ESTABILIDADE DE COR DE CARNES FRESCAS | 8 |
| 2.4. RELAÇÃO ENTRE OXIDAÇÃO LIPÍDICA E DESCOLORAÇÃO DA CARNE | 12 |
| 2.5. ABSORVEDORES DE LUZ ULTRAVIOLETA (UV) | 13 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| 3.1. OBTENÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA | 15 |
| 3.2. ELABORAÇÃO DO FILME INCORPORADO COM ABSORVEDOR DE LUZ UV | 16 |
| 3.3. DETERMINAÇÃO DO ESPECTRO DE EMISSÃO DA LÂMPADA FLUORESCENTE | 17 |
| 3.4. ANÁLISES FÍSICAS E BIOQUÍMICAS NA CARNE | 17 |
| 3.4.1. <i>Determinação do pH</i> | 17 |
| 3.4.2. <i>Análises de Cor</i> | 17 |
| 3.4.2.1. <i>Análise objetiva das coordenadas de cor</i> | 17 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.2.2. Determinação dos limites padrões dos pigmentos heme..... | 18 |
| 3.4.3. Atividade de Metamioglobina Redutase (MRA)..... | 20 |
| 3.4.4. Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)..... | 20 |
| 3.4.5. Substâncias reativas ao ácido 2- tiobarbitúrico (TBARs)..... | 21 |
| 3.4.6. Determinação do Potencial de óxido-redução (Eh) | 22 |
| 3.5. ANÁLISES FÍSICAS DA EMBALAGEM..... | 22 |
| 3.5.1. Determinação da transmissão de luz..... | 22 |
| 3.5.2. Propriedades mecânicas dos filmes..... | 23 |
| 3.5.3. Taxa de transmissão de oxigênio | 23 |
| 3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL..... | 23 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 25 |
| 4.1. CARACTERÍSTICA DA LUZ INCIDENTE SOBRE A CARNE | 25 |
| 4.2. ESPECTRO DE TRANSMISSÃO DE LUZ DA EMBALAGEM..... | 26 |
| 4.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS E TAXA DE PERMEABILIDADE AO OXIGÊNIO DAS EMBALAGENS. | 27 |
| 4.4. FORMAS QUÍMICAS DO PIGMENTO DE MIOGLOBINA E ESTABILIDADE DE COR..... | 28 |
| 4.5. COORDENADAS DE COR | 31 |
| 4.6. VALOR DE PH..... | 38 |
| 4.7. SUBSTÂNCIAS REATIVAS AO ÁCIDO 2-TIOBARBITÚRICO (TBARs) | 40 |
| 4.8. TAXA DE CONSUMO DE OXIGÊNIO (TCO)..... | 42 |
| 4.9. ATIVIDADE DE METAMIOGLOBINA REDUTASE (MRA)..... | 45 |
| 4.10. POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUÇÃO (EH) | 49 |
| 4.11. EFEITO DA MRA E TCO SOBRE A ESTABILIDADE DA COR EM CARNES..... | 51 |
| 5. CONCLUSÕES | 54 |
| 6. RECOMENDAÇÕES FUTURAS..... | 56 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 57 |
| APÊNDICES..... | 64 |
| APÊNDICE A (RESUMO DAS ANÁLISES DE REGRESSÃO)..... | 65 |
| APÊNDICE B (RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA)..... | 731 |
| APÊNDICE C (TABELAS DE CORRELAÇÃO) | 73 |
| APÊNDICE D (MÉDIA DOS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E BIOQUÍMICAS)..... | 77 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1 - | Mecanismos de redução da metamioglobina pela NADH-citocromo b ₅ redutas..... | 9 |
| Figura 2 - | Regiões superficial (OST) e interior (IST) do <i>Semitendinosus</i> após corte transversal e exposição ao ar por 24 hs à 4 °C. | 16 |
| Figura 3 - | Espectro de emissão de luz da lâmpada fluorescente Sylvânia F32/T8 | 25 |
| Figura 4 - | Características de transmissão de luz de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) contendo diferentes concentrações de absorvedor de radiação UV..... | 26 |
| Figura 5 - | Variação no teor de Metamioglobina (MMb) do músculos <i>Psoas major</i> (PM) e das regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno, durante 8 dias de estocagem à 4 °C. | 29 |
| Figura 6 - | Variação no teor de Oximioglobina (MbO ₂) do músculo <i>Psoas major</i> (PM) e das regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C. | 31 |
| Figura 7 - | Variação na luminosidade (L*) do músculo <i>Psoas major</i> (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno, durante 8 dias de estocagem à 4 °C..... | 32 |
| Figura 8 - | Variação do pH no músculo <i>Psoas major</i> (PM) e nas regiões interior (IST) e superficial do músculo <i>Semitendinosus</i> (OST) embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C. | 34 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 9 - Variação no índice de vermelho (a*) do músculo <i>Psoas major</i> (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C..... | 35 |
| Figura 10 - Variação no índice de amarelo (b*) do músculo <i>Psoas major</i> (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem a 4 °C..... | 37 |
| Figura 11 - Variação de TBARs (mg malonaldeído/kg) dos músculos <i>Psoas major</i> (PM), interior <i>Semitendinosus</i> (IST) e superficial <i>Semitendinosus</i> (OST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C..... | 41 |
| Figura 12 - Variação na Taxa de Consumo de Oxigênio do músculo <i>Psoas major</i> (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C..... | 44 |
| Figura 13 - Variação na Atividade de Metamioglobina Redutase do músculo <i>Psoas major</i> (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C..... | 46 |
| Figura 14 - Variação no Potencial de óxido-redução do músculo <i>Psoas major</i> (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do <i>Semitendinosus</i> (ST) embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C..... | 50 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Propriedades mecânicas dos filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) incorporados, ou não (controle), com 0,9% de absorvedor de radiação ultravioleta (UV). **27**
- Tabela 2** - Taxa de transmissão de oxigênio em filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) controle e incorporados com absorvedor de radiação ultravioleta (UV). **27**
- Tabela 3** - Tempo estimado para que, nos músculos bovinos embalados em filmes de polietileno e mantidos sob refrigeração (4 °C), 20 ou 40% dos pigmentos de cor estejam sob a forma de MMb. **30**
- Tabela 4** - Correlação de Pearson entre propriedades físicas e bioquímicas dos dados agrupados dos músculos Semitendinosus (OST e IST) e Psoas major. **36**
- Tabela 5** - Coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades bioquímicas de MRA e TCO com o percentual de MMb nos músculos Semitendinosus (OST e IST) e Psoas major. **53**

RESUMO

WANDERLEY JUNIOR, Marcus Andrade, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2008. **Efeito da embalagem, do músculo e do tempo de estocagem sobre a estabilidade físico-química da carne bovina.** Orientador: Lúcio Alberto de Miranda Gomide. Co-orientadores: José Benício Paes Chaves e Nilda de Fátima Ferreira Soares.

Estudou-se a efetividade de filmes plásticos incorporados com absorvedor de luz ultravioleta (UV) sobre a estabilidade da cor e indicadores físico-químicos desta estabilidade, nos cortes de músculos bovinos *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do *Semitendinosus* (ST). Também foi avaliada a contribuição dos indicadores físico-químicos sobre a estabilidade da cor. Filmes plásticos, controle e com absorvedor UV adicionado, foram desenvolvidos e analisados quanto às suas propriedades mecânicas assim como de permeabilidade ao oxigênio e transmissão de luz. A incorporação do absorvedor UV à resina de polietileno reduziu a transmissão de luz UV do filme plástico de 61% para 12%, e não afetou ($P > 0,05$) a sua permeabilidade ao oxigênio e propriedades mecânicas. A incorporação de absorvedor UV ao filme de polietileno não produziu alterações ($P > 0,05$) nas propriedades indicativas de estabilidade de cor analisadas nos diversos cortes musculares. Durante o período de estocagem, foi observado, para todos os cortes de músculos, aumento nos percentuais de metamioglobina (MMb), taxa de oxidação lipídica (TBARs) e pH. Foi também observada uma redução nos índices de vermelho (a^*), percentuais de MbO₂, índice de amarelo (b^*), taxa de consumo de oxigênio (TCO) e na atividade de metamioglobina redutase (MRA). À exceção do OST, que se tornou levemente mais claro ($P < 0,05$), a luminosidade (L^*) dos músculos IST e PM não variou ($P > 0,05$) com o tempo. O potencial de óxido-

redução (Eh) apresentou variação ($P < 0,05$) durante a estocagem, com aumento de seus valores até o quarto dia, seguido por uma redução com o decorrer do tempo. Baseado no acúmulo de MMb, o PM foi caracterizado como o corte muscular de menor estabilidade de cor ($P < 0,05$) e os cortes dos músculos IST e o OST não diferiram ($P > 0,05$). O PM apresentou ($P < 0,05$) os maiores valores de pH, TCO e TBARs e MRA intermediária. O IST, apresentou ($P < 0,05$) valores de pH, TCO e TBARs intermediários e a maior MRA. O OST apresentou os menores valores de pH, TCO, TBARs e MRA. Não foi observada ($P > 0,05$) diferença no Eh entre os músculos. Os resultados sugerem que o filme UV desenvolvido, apesar de promover bom bloqueio de luz UV, não foi efetivo para prolongar a vida de prateleira da carne, por, provavelmente, não eliminar, por completo, a transmissão de luz UV emitida pela lâmpada fluorescente. Por sua vez, parece razoável concluir que cortes de músculos em que os processos que induzem à oxidação dos pigmentos da carne, como elevadas TCO e taxa de oxidação lipídica são muito superiores à capacidade redutora (MRA), como no PM, o acúmulo de metamioglobina é muito rápido, tendo o músculo uma baixa estabilidade de cor. Por outro lado, cortes musculares, tais como o IST, em que a ação redutora (alta MRA) parece ser suficiente para compensar o estresse oxidativo imposto pela TCO e TBARs, ou, cortes musculares, como o OST, em que os processos oxidativos não são pronunciados, o acúmulo de metamioglobina é retardado, tendo a carne maior estabilidade de cor.

ABSTRACT

WANDERLEY JUNIOR, Marcus Andrade, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, november of 2008. **Effect of packaging, muscle and storage on beef physicochemical stability.** Advisor: Lúcio Alberto de Miranda Gomide. Co-Advisors: José Benício Paes Chaves and Nilda de Fátima Ferreira Soares.

Effectiveness of plastic films incorporated with UV light absorber on color stability, and its physical-chemical indicators, of beef *Psoas major* (PM), *Semitendinosus* inner region (IST) and *Semitendinosus* outer region (OST) were evaluated. The contribution of the physical-chemical indicators to beef color stability was also evaluated. Plastic films, control and with added UV absorber, were developed and analyzed for their mechanical properties as well as oxygen and light transmission permeability. Incorporation of UV absorber to the polyethylene resin reduced plastic film UV light transmission from 61% to 12% and did not ($P > 0.05$) affect its oxygen permeability and mechanical properties. Film incorporation with UV absorber did not affect ($P > 0.05$) any of the analyzed properties indicative of color stability. For all muscles it was observed, during the storage period, an increase in metmyoglobin (MMb) level, lipid oxidation rate (TBARs) and pH. It was also observed a reduction of redness (a^*), oxymyoglobin (MbO_2) levels, yellowness (b^*), oxygen consumption rate (OCR) and metmyoglobin reductase activity (MRA). Except for the OST muscle, which became lighter ($P < 0.05$), lightness (L^*) of the PM and IST muscles did not vary ($P > 0.05$) during storage. Oxidation reduction potential (ORP) varied ($P < 0.05$) during storage, increasing its values up to the fourth day followed by reduction thereafter. Based on MMb development, PM muscle was characterized as the least color stable ($P < 0.05$) and IST and OST muscles did not differ ($P > 0.05$). PM muscle presented ($P < 0.05$) higher pH, OCR

and TBARs and intermediate MRA. IST muscle presented ($P < 0.05$) intermediate pH, OCR and TBARs and higher MRA. OST muscle presented ($P < 0.05$) lower pH, OCR, TBARs and MRA. Muscles ORP did differ ($P > 0.05$). Results suggests that despite the relative light blocking action of the UV absorber, its incorporation into the plastic film was not effective in extending beef shelf life probably by not completely eliminating absorption of the UV light generated by the fluorescent lamp. In addition, it seems reasonable to conclude that muscles in which the processes inducing meat pigment oxidation such as high OCR and lipid oxidation rate are superior to their reducing capacity (MRA), such as the PM muscle, accumulation of MMb is very fast making it of low color stability. On the other hand muscles, such as the IST, having sufficient reducing action (high MRA) to compensate the oxidative stress imposed by OCR and lipid oxidation, or muscles, such as the OST, where oxidative processes are not pronounced, MMb accumulation is retarded leading to a greater color stability.

1. INTRODUÇÃO

A demanda dos consumidores por alimentos que apresentam melhor manutenção de indicadores de qualidade como a cor, textura, sabor e qualidade nutricional, tem provocado o desenvolvimento de novas tecnologias e aperfeiçoamento das tecnologias tradicionais. Assim, tecnologias capazes de manter a qualidade do alimento com mínima alteração de suas propriedades intrínsecas têm sido buscadas, como uso de sistemas de embalagens capazes de bloquear comprimentos de ondas na região do ultravioleta (UV), faixa do espectro com maior contribuição na indução de reações oxidativas em alimentos.

Para carnes frescas ("in natura") a cor é um dos principais atributos de qualidade, influenciando nas decisões de aquisição e servindo como um indicador, nem sempre correto, do seu frescor e estado de conservação. Neste sentido, carnes que apresentam coloração vermelho claro brilhante, ou vermelho cereja (Oximio globina - MbO₂), são tidas como frescas e provenientes de animais mais jovens, enquanto carnes que apresentam coloração vermelho púrpura (Deoximio globina - Mb⁺) ou amarronzada (Metamio globina - MMb) são reconhecidas como carnes provenientes de animais velhos e/ou que se encontram em processo de deterioração.

O pigmento de metamio globina (MMb) é utilizado como um indicador de aceitabilidade da carne, sendo que a carne é rejeitada pelos consumidores quando a MMb compreende 20 ou 40 % do total de pigmentos na carne (HOOD e RIORDAN, 1973; GREENE et al., 1971). O acúmulo de metamio globina na carne é afetado por fatores extrínsecos como luz, temperatura, pressão parcial de oxigênio, assim como, fatores inerentes ao próprio músculo, como pH, oxidação lipídica, sistemas redutores

de Metamioglobina e a Taxa de Consumo de Oxigênio no músculo *post-mortem* (RENERRE, 1990).

Dentre os fatores extrínsecos, a luz apresenta um importante papel na iniciação de reações oxidativas em carnes. O efeito deletério da luz sobre a carne se deve, basicamente, ao fato de as fontes de luz utilizadas nos balcões expositores de alimentos emitirem comprimentos de onda na região do ultravioleta (luz UV), potentes catalisadores de processos oxidativos, tendo em vista a maior energia emitida nessa faixa do espectro do que aquela emitida na região visível do espectro (COLTRO e BURATIN, 2004; DJENANE et al., 2001).

Dos fatores intrínsecos, as características bioquímicas de Atividade de Metamioglobina Redutase (MRA, do inglês Metmyoglobin Reducing Activity) e Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) no músculo *post-mortem* são tidas como as maiores responsáveis pela estabilidade da cor da carne fresca (RENERRE e LABAS, 1987), tendo em vista que a maioria dos outros fatores intrínsecos, como o pH, afeta a estabilidade da cor por modificar as funções da TCO e MRA (ZHU e BREWER, 1998; MADHAVI e CARPENTER, 1993).

Neste sentido, o desenvolvimento de embalagens capazes de bloquear a luz UV, assim como o conhecimento dos fatores bioquímicos que envolvem a descoloração da carne, pode contribuir para uma manutenção mais prolongada de uma coloração mais agradável.

1.1. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal verificar a estabilidade físico-química de diferentes cortes de carnes, envoltos em filmes plásticos incorporados com absorvedor de luz ultravioleta, durante estocagem sob refrigeração. Como objetivos específicos, podem-se citar:

- ✓ Elaborar filmes plásticos incorporados com absorvedor de luz ultravioleta;
- ✓ Verificar a taxa de transmissão de luz ultravioleta e possíveis alterações mecânicas provocadas pela incorporação do absorvedor de luz UV nos filmes;

- ✓ Avaliar, ao longo do tempo, o efeito do uso de absorvedores de luz UV nos indicadores bioquímicos intrínsecos relacionados à estabilidade da cor de carnes;
- ✓ Avaliar e comparar a estabilidade de cor objetiva entre os diferentes cortes embalados em filmes comuns e em filmes incorporados com absorvedor de luz UV;
- ✓ Estudar a influência de propriedades físicas e bioquímicas relacionadas à estabilidade da cor dos diferentes músculos de bovinos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cor em Carnes

A principal proteína responsável pela cor em carnes é a mioglobina, visto que outras proteínas pigmentadas, tais como a hemoglobina e os citocromos, estão presentes em quantidades relativamente pequenas, pelo que exercem menores efeitos na cor (GILL e HOLEY, 2005; MANCINI e HUNT, 2005).

O pigmento de mioglobina possui um grupo prostético (heme) e uma porção protéica, a globina. O grupo prostético heme é formado por um anel de porfirina, que possui um átomo de ferro na posição central. Este átomo apresenta seis ligações coordenadas, capazes de aceitar seis pares de elétrons, dos quais quatro vêm de átomos de nitrogênio do anel porfirínico. O quinto par de elétrons provém do nitrogênio de um resíduo de histidina (HIS proximal) da globina. A sexta ligação coordenada do ferro está disponível para complexar com um ligante e/ou receber um par de elétrons (BEKHIT e FAUSTMAN, 2005; MANCINI e HUNT, 2005).

A cor final da carne depende da quantidade de mioglobina presente, do estado de oxidação do ferro, do ligante associado à sexta posição do átomo de ferro, do estado da proteína globina e da integridade do anel de porfirina (RAMOS e GOMIDE, 2007; BEKHIT e FAUSTMAN, 2005).

Em carnes não processadas, são três as formas químicas da mioglobina: a mioglobina reduzida, ou deoximioglobina (Mb^+), de coloração vermelho púrpura; a mioglobina oxigenada, ou oximioglobina (MbO_2), que apresenta cor vermelho brilhante; e a mioglobina oxidada, ou metamioglobina (MMb), de cor marrom (RAMOS E GOMIDE, 2007; MANCINI e HUNT, 2005). Estes três pigmentos

coexistem durante a comercialização de carnes, e a cor final da carne dependerá da proporção relativa de cada um deles, o que, por sua vez, depende das condições de óxido-redução do meio (GILL e HOLEY, 2005; MANCINI e HUNT, 2005; LAWRIE, 1998; VARNAM e SUTHERLAND, 1995; FOX, 1994).

Em baixas tensões de oxigênio ($PPO_2 < 0,1$ mmHg), quando os sistemas redutores ainda estão ativos, forma-se o pigmento de cor púrpura de deoximioglobina, não apreciado pelos consumidores. Este pigmento está na forma reduzida (+2) e nenhum ligante está presente em sua 6ª posição. A exposição da carne em ambientes que apresentam alta pressão parcial de oxigênio ($PPO_2 > 40$ mmHg), quando os sistemas redutores ainda estão presentes, gera o pigmento vermelho cereja de oximioglobina, preferido pelos consumidores. Este pigmento apresenta oxigênio ligado ao átomo de ferro heme, o qual, por sua vez, está na forma reduzida (+2).

A conversão da deoximioglobina a oximioglobina é causada pela oxigenação, que é, simplesmente, a ligação covalente do oxigênio (O_2) atmosférico no sítio livre (sexta posição) do ferro da mioglobina. Essa reação ocorre rapidamente, devido à alta afinidade da mioglobina pelo O_2 (RAMOS e GOMIDE, 2007).

Porém, quando a carne é exposta a pressões parciais intermediárias de oxigênio (PPO_2 entre 1 e 20 mmHg), ocorre, ao invés da oxigenação, uma oxidação do pigmento, formando o pigmento marrom de metamioglobina. Neste caso, o ferro está oxidado (+3) e possui como sexto ligante a água.

A descoloração ou escurecimento da carne é resultado da oxidação da deoximioglobina, ou da oximioglobina, à metamioglobina. Embora a descoloração esteja frequentemente relacionada à quantidade da área superficial coberta pela metamioglobina, a forma química da mioglobina no interior do músculo também afeta a coloração da carne (SWATLAND, 2004), já que a luz é refletida não somente da camada externa, mas também de dentro do tecido muscular.

Segundo GILL e HOLEY (2005), a conversão da mioglobina em metamioglobina envolve a transferência de um elétron do ferro heme para um agente oxidante. Na oximioglobina os elétrons da órbita externa do ferro heme estão envolvidos nas ligações coordenadas e, assim, estão indisponíveis para participar das reações de transferência de elétrons sendo, portanto, mais resistente à oxidação. Assim, a Mb^+ por ser mais instável é mais susceptível a se oxidar a MMb (MANCINI e HUNT, 2005).

Tendo em vista a relação direta entre acúmulo de metamioglobina e rejeição da carne pelos consumidores, as reações de maior importância na química de cor dos derivados de mioglobina são a oxidação da forma ferrosa nativa à forma férrica e sua redução novamente à forma ferrosa (RAMOS e GOMIDE, 2007).

A interconversão entre as formas químicas do pigmento de cor da carne pode ser afetada por vários fatores que atuam na cadeia de produção e comercialização, incluindo a raça, dieta e idade do animal, manejo pré-abate, variações no resfriamento das carcaças, tempo e temperatura de estocagem, tipo de filme e ambiente de embalagem, luz e apresentação dos cortes (Sausti et al., 1999 e Kropf, 1993, citados por BARACAT, 2006).

2.2. Efeito da luz sobre a estabilidade da cor em carnes

A energia luminosa de fontes naturais ou artificiais, seja ultravioleta ou visível, afeta de modo significativo a estabilidade de alimentos fotossensíveis, pois tem efeito deteriorativo, uma vez que inicia e acelera reações de degradação através da ação fotoquímica (COLTRO e BURATIN, 2004).

A foto-oxidação em alimentos pode ocorrer se fotosensibilizadores estiverem presentes. Esses compostos, como as hemeoproteínas presentes na carne, absorvem luz visível ou radiação ultravioleta tornando-se eletronicamente excitados, induzindo reações de oxidação, através de um mecanismo direto de formação do radical livre, ou pela formação do oxigênio singlete, o qual é altamente reativo (WOLD, 2006).

De acordo com BREWER e WU (1993), a luz, isoladamente, não resulta em mudanças na cor de carne bovina moída, mas, em combinação, com o oxigênio promove a oxidação dos pigmentos cárneos em 24 h de exposição à 4 °C. Tais resultados sugerem que a ação da luz sobre as reações oxidativas depende da formação do oxigênio singlete, que reage com os lipídeos de ácidos graxos insaturados, presentes na carne, levando à formação de espécies radicais que atuam na oxidação dos pigmentos cárneos (LIU et al., 1995; FAUSTMAN et al., 1989).

BALA e NAUMANN (1977) sugeriram um outro caminho pelo qual a luz pode levar à oxidação dos pigmentos da carne. Segundo esses autores, os resíduos de histidina da molécula de mioglobina são susceptíveis à foto-oxidação e, quando oxidados, não podem mais aceitar elétrons do átomo de ferro. Assim, o Fe^{2+} transfere

seus elétrons para o oxigênio, que é mais eletronegativo que o nitrogênio, quando este se encontra ligado à sua sexta posição. Dessa forma, o Fe^{2+} é oxidado a Fe^{3+} e o oxigênio se desprende da molécula de mioglobina sob a forma do radical superóxido (O_2^-).

O efeito deletério da luz sobre os pigmentos da carne é fortemente dependente da distribuição dos comprimentos de onda emitidos pelo iluminante ao qual a carne é exposta (ANDERSEN et al., 1989; BERTELSEN e SKIBESTED, 1987; ZACHARIAH e SATTERLEE, 1973). Nesse sentido, quanto menor o comprimento de onda emitido pelo iluminante, maior será seu efeito degradativo, uma vez que há uma relação inversamente proporcional entre comprimento de onda e energia emitida (COLTRO e BURATIN, 2004).

SOLBERG e FRANKE (1971) propuseram que a luz visível, apesar de levar a uma pequena, mas significativa, elevação na oxidação dos pigmentos da carne, não é suficientemente capaz de provocar a rejeição comercial do produto. Entretanto, uma descoloração mais acentuada é verificada em carnes frescas submetidas à radiação ultravioleta (DJENANE et al., 2001; BERTELSEN e SKIBSTED, 1987).

ANDERSEN et al. (1989) reportaram que a radiação ultravioleta acelera a oxidação da mioglobina, com conseqüente degradação da cor da carne. Os mesmos resultados foram confirmados por HOOD (1980), que verificou que a exposição de músculos à radiação ultravioleta produziu séria descoloração em poucas horas, mesmo quando estocados a 0 °C.

As principais fontes de luz utilizadas durante a estocagem de alimentos são a incandescente, a de vapor metálico e a fluorescente, sendo esta última a mais comumente empregada devido à menor geração de calor quando comparada às demais (BARBUT, 2003).

As radiações ultravioletas, freqüentemente associadas à indução de processos oxidativos, fazem parte, mesmo que em pequenas proporções, do espectro de emissão das lâmpadas fluorescentes, habitualmente utilizadas nos balcões expositores de alimentos, que emitem pequenos picos na região de 350 a 400 nm. Associado a este fator, os plásticos comumente empregados na embalagem de alimentos e, em particular de carnes, permitem a passagem desses comprimentos de onda, o que favorece a oxidação e a rápida perda da cor, sabor e odor da carne fresca (RABINAL, 2003; DJENANE et al., 2001).

DJENANE et al. (2001), trabalhando com amostras de carne bovina em atmosfera modificada e sob diferentes condições de iluminação, verificaram que as amostras expostas a uma lâmpada fluorescente convencional, obtiveram um acúmulo de 70 % de MMb em 17 dias de exposição, enquanto que, as amostras sob iluminação livre de radiação ultravioleta apresentaram apenas cerca de 40 % de MMb, mesmo após 28 dias de estocagem.

MARTINEZ et al. (2007), trabalhando em condições similares às aquelas empregadas por DJENANE et al. (2001), porém, com lingüiça suína fresca, observaram um forte efeito deletério da radiação ultravioleta emitida pelas lâmpadas fluorescentes convencionais sobre os pigmentos cárneos. Nesse mesmo estudo, verificou-se que amostras sob iluminação livre de radiação ultravioleta não apresentaram diferença significativa daquelas estocadas no escuro nos primeiros 8 dias de exposição, o que demonstra um pequeno, ou nenhum, efeito da luz visível sobre a descoloração da carne.

Diante do fato de que, em relação ao total das diversas formas químicas de pigmentos, 20 ou 40 % de MMb é tido como suficiente para provocar a rejeição comercial da carne fresca (HOOD e RIORDAN, 1973; GREENE et al., 1971), o bloqueio de comprimentos de onda na região do ultravioleta, pode contribuir para o aumento na vida de prateleira da carne, por retardar a oxidação dos pigmentos.

2.3. Diferenças entre músculos quanto às características bioquímicas de estabilidade de cor de carnes frescas

As propriedades intrínsecas dos músculos exercem um grande efeito na estabilidade da coloração da carne, uma vez que podem retardar ou reduzir o acúmulo de metamioglobina (MMb), principal pigmento responsável pela descoloração e conseqüente redução da vida-útil da carne fresca.

Um dos fatores intimamente associado à estabilidade da cor em carnes é o residual de sistemas enzimáticos redutores presentes no músculo *post-mortem*, coletivamente referidos como Atividade de Metamioglobina Redutase (MRA) (GILL e HOLEY, 2005). Esses sistemas enzimáticos atuam na redução do pigmento oxidado de MMb de volta à sua forma reduzida (Mb⁺) (MADHAVI e CARPENTER,

1993), contribuindo, dessa forma, para uma maior manutenção da cor desejável em carnes.

A NADH-citocromo b_5 redutase é a principal enzima envolvida no processo de redução do pigmento de MMb nos tecidos, o que é essencial para o metabolismo oxidativo de produção de energia, já que a MMb não tem capacidade de se ligar ao oxigênio; neste caso, a redução da MMb a Mb^+ é importante para que os tecidos sejam capazes de estocar oxigênio para ser utilizado na cadeia de transporte de elétrons. Este sistema enzimático é encontrado em uma variedade de tecidos, inclusive o sanguíneo. A NADH-citocromo b_5 redutase atua em dois sistemas citocromo (citocromo b_5 , localizado no retículo sarcoplasmático, e citocromo b localizado na parte externa da mitocôndria - OM citocromo b) e pode reduzir tanto a MMb como a MHb. Embora a sua afinidade seja maior para as moléculas de citocromo b_5 , as evidências sugerem que a NADH-citocromo b_5 redutase reduz MMb através do OM citocromo b devido ao fato de a tensão de oxigênio ser menor próximo à mitocôndria (condição que favorece a oxidação da Mb) e porque a mitocôndria é uma fonte de energia prontamente utilizada para a redução da mioglobina no músculo. A função desta enzima, que apresenta pH ótimo de 6,5, é transferir dois elétrons do NADH para duas moléculas de citocromo b_5 (citocromo b encontrado nas frações microsomais do retículo sarcoplasmático) e/ou OM citocromo b (citocromo presente na membrana externa da mitocôndria). Por sua vez, o citocromo b_5 reduzido transfere os elétrons para uma variedade de aceptores, incluindo a MMb, reduzindo-os (Figura 1). Dessa forma, o processo enzimático de redução de MMb à Mb^+ envolve a enzima (NADH-citocromo b_5 redutase), os intermediários (citocromo b_5 e/ou OM citocromo b) e o co-fator NADH (BEKHIT e FAUSTMAN, 2005; ARIHARA et al., 1996).

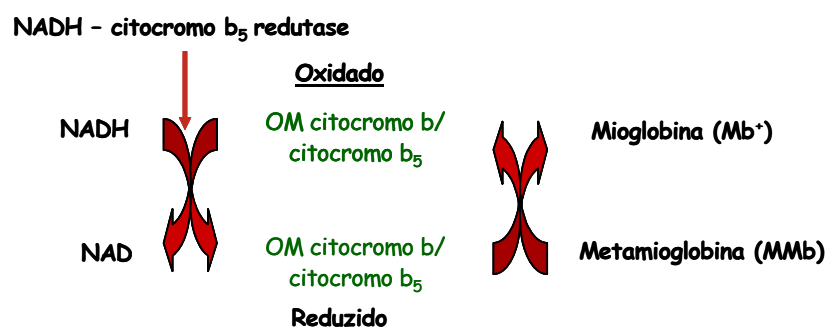


Figura 1 – Mecanismos de redução da metamioglobina pela NADH-citocromo b_5 redutase.

Fonte: ARIHARA et al. (1995).

A enzima NADH-citocromo b_5 redutase é essencialmente específica para o NADH (BEKHIT e FAUSTMAN, 2005). Assim, a inevitável redução deste co-fator (NADH) no músculo *post-mortem* é o principal limitante na redução da metamioglobina (MANCINE e HUNT, 2005).

SAMMEL et al. (2002) propuseram que o metabolismo aeróbico (ciclo do ácido cítrico) é a principal via metabólica para obtenção de NADH no músculo *post-mortem*. Segundo esses autores, o NADH gerado pelo ciclo do ácido cítrico poderia ser usado na fosforilação oxidativa ou na redução da MMb.

Entretanto, ARIHARA et al. (1996) verificaram que a atividade redutora da metamioglobina não foi afetada pela inibição da via oxidativa (aeróbica), enquanto que o bloqueio da via glicolítica reduziu a ação dos sistemas enzimáticos redutores.

De acordo com CAMPBELL (2003), o NADH gerado durante o metabolismo oxidativo reage preferencialmente com o oxigênio, porém, o NADH produzido na fase da glicólise está mais facilmente disponível para atuar em outras reações nas quais um agente redutor é necessário.

A maior disponibilidade do NADH citosólico para ação da enzima redutora também foi sugerida por WATTS et al. (1966) ao verificarem que o incremento do consumo de oxigênio no músculo *post-mortem*, pela adição de succinato, favoreceu a redução da metamioglobina, por estabelecer condições anaeróbicas e não, pela maior geração de NADH na mitocôndria.

BEKHIT e FAUSTMAN (2005) também apresentam outros sistemas redutores não-específicos, em conjunto denominados de diaforases, capazes de reduzir a MMb de volta a Mb^+ .

Segundo O'KEEFFE e HOOD (1981), tecidos musculares deficientes em enzimas ou co-fatores necessários para a redução da forma oxidada da mioglobina serão incapazes de reduzir a MMb de volta a Mb^+ , o que manterá a carne com a coloração marrom, depreciando o produto.

Essa relação, diretamente proporcional, entre a atividade redutora do músculo e a estabilidade da cor também foi observada por SEYFERT et al. (2006) e LEDWARD (1985), que reportaram que a baixa estabilidade da cor de alguns músculos de carne bovina durante a estocagem estava relacionada à deficiência de capacidade redutora dos mesmos.

REDDY e CARPENTER (1991) observaram uma elevada MRA em músculos que são comumente classificados como de alta estabilidade de cor, como o

Longissimus dorsi, enquanto o músculo *Psoas major*, tradicionalmente caracterizado como sendo de baixa estabilidade, apresentou uma baixa MRA.

McKENNA et al. (2005) e ECHEVARNE et al. (1990), contrariando os dados acima mencionados, reportaram que músculos com menor estabilidade de cor apresentam as mais elevadas atividades redutoras. Tais resultados contraditórios podem, em parte, ser explicados pelos diferentes métodos empregados pelos pesquisadores para determinação da MRA.

Uma relação entre o tipo metodologia aplicada e os resultados encontrados para MRA pode ser visualizada nos trabalhos desenvolvidos por McKENNA et al. (2005) e SAMMEL et al. (2002). Segundo os autores, quando a metodologia envolveu a adição de NADH, a MRA não foi correlacionada com a estabilidade da cor, muito provavelmente, por que a adição de NADH *in vitro*, descaracteriza o ambiente redutor no músculo *post-mortem*, onde o reduzido nível de NADH é o principal limitante da ação dos sistemas enzimáticos redutores. Entretanto, o inverso foi observado quando no método empregado (NORA) não houve adição do co-fator NADH.

BEKHIT e FAUSTMAN (2005) descrevem as várias metodologias empregadas na literatura para determinação da atividade de metamioglobina redutase, com seus prós e contras.

Outro fator inerente ao músculo, e de grande influência na estabilidade da cor de carnes, é a Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO), ou seja, o residual de respiração mitocondrial no músculo *post-mortem* (McKENNA et al., 2005).

A Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) pode influenciar a estabilidade da cor da carne, por alterar a profundidade na qual se forma a camada de metamioglobina (MMb). Altas TCO's diminuem a penetração de oxigênio no tecido muscular, favorecendo a formação do pigmento de deoximioglobina (Mb^+) próximo a superfície da carne, o qual é mais susceptível à oxidação que a oximioglobina. Assim, o maior consumo de oxigênio no tecido muscular é responsável por uma descoloração mais rápida da carne (RAMOS e GOMIDE, 2007; McKENNA et al., 2005; MADHAVI e CARPENTER, 1993; O'KEEFFE e HOOD, 1982).

Variação na TCO entre músculos pode ser atribuída a diferenças no tipo de fibra muscular. Músculos com alta atividade metabólica oxidativa, onde há predominância de fibras vermelhas, apresentam uma maior TCO, caracterizando-se

como músculos de menor estabilidade de cor quando comparados àqueles de atividade metabólica predominantemente glicolítica (O'KEEFFE e HOOD, 1982).

SEYFERT et al. (2006) observaram que a baixa estabilidade de cor do músculo *Psoas major* pode estar relacionada à elevada proporção de fibras β -vermelhas, enquanto que a alta estabilidade de cor dos músculos *Longissimus lumborum* e *Semitendinosus*, à maior relação de fibras α -brancas destes.

De forma geral, a Atividade de Metamioglobina Redutase (MRA) e a Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) podem contribuir para maior estabilidade da cor de carnes por promoverem, respectivamente, uma redução do pigmento oxidado de MMb de volta à forma reduzida (Mb^+), e permitir maior penetração de oxigênio no interior da carne, o que favorece a formação do pigmento de oximioglobina (MbO_2), que é menos susceptível a oxidação (MADHAVI e CARPENTER, 1993). De acordo com McKENNA et al. (2005), as diferenças na estabilidade de cor entre músculos não é determinada isoladamente pela MRA ou TCO, mas sim, pela proporção desses dois componentes presentes no tecido muscular.

Tanto a TCO como a MRA reduzem durante a estocagem, à medida que as enzimas respiratórias são inativadas e as coenzimas necessárias para a redução de metamioglobina são exauridas (GILL e HOLLEY, 2005; McKENNA et al., 2005). Tal fato contribui para o aumento inevitável da proporção do pigmento oxidado de metamioglobina ao longo do tempo de estocagem da carne.

2.4. Relação entre oxidação lipídica e descoloração da carne

A oxidação lipídica tem sido relacionada à descoloração da carne; entretanto, não se sabe ao certo se esta catalisa a oxidação da mioglobina ou vice-versa.

McKENNA et al. (2005) observaram que músculos de maior estabilidade de cor, como os *Longissimus lumborum*, *Longissimus thoracis*, *Semitendinosus* e *Tensor fasciae latae*, apresentam os menores valores de TBARs, enquanto que os músculos *Psoas major* e *Adductor*, menos estáveis à cor, apresentam os mais elevados valores de TBARs, demonstrando uma provável correlação entre os processos oxidativos. Resultados similares foram reportados por DJENANE et al. (2001), que constataram correlação entre a progressão da oxidação da Mb^+ e a oxidação lipídica.

Baseando-se no princípio de que a oxidação lipídica catalisa a oxidação do pigmento cárneo, TROUT (2003) propôs que músculos que apresentam lipídeos muito susceptíveis à oxidação, tendem a gerar uma maior quantidade de compostos reativos capazes de acelerar a oxidação da mioglobina, sendo, portanto, caracterizados como músculos de menor estabilidade de cor.

O efeito deletério do processo de oxidação lipídica sobre os pigmentos cárneos, foi claramente demonstrado por O'GRADY e MONAHAN (2001), LANARI et al. (1996) e FAUSTMAN et al. (1989), que constataram que a redução da oxidação lipídica, provocada pelo aumento nos níveis de α -tocoferol na carne, promove uma elevação da estabilidade da cor da carne, provavelmente, por produzir um efeito competitivo entre o α -tocoferol e a mioglobina, pelos radicais livres oriundos da oxidação lipídica.

Tais observações levam à pressuposição de que os radicais livres gerados durante a oxidação lipídica atuam diretamente oxidando o pigmento e/ou indiretamente "danificando" os sistemas redutores da carne (McKENNA et al., 2005; LIU et al., 1995; FAUSTMAN et al., 1989). Sendo assim, mecanismos capazes de inibir a oxidação lipídica, conseqüentemente, aumentarão a estabilidade da cor da carne por reduzir a geração de produtos reativos.

Entretanto, segundo ANDERSEN e SKIBESTED (1991), as espécies reativas oriundas da foto-oxidação dos pigmentos cárneos é que são responsáveis pela iniciação da oxidação lipídica em carnes, na presença de sal.

De acordo com TROUT (2003) e autores por ele citados, existe inter-relação entre esses dois tipos de reações oxidativas; tanto a oxidação da mioglobina (Mb^+) é catalisada pelos produtos da oxidação lipídica, como também os radicais gerados pela auto-oxidação da Mb^+ , e a própria Mb^+ oxidada, poderão contribuir para oxidação dos lipídeos.

2.5. Absorvedores de luz ultravioleta (UV)

A transmissão de luz é uma importante propriedade para a maioria das embalagens de produtos alimentícios, pois afeta diretamente a qualidade dos alimentos, catalisando algumas reações de degradação. Dessa forma, refletir ou absorver a luz incidente é uma solução trivial de foto-estabilização (BROWN, 1992).

A necessidade de proteção à luz UV dos produtos que são acondicionados em embalagens plásticas transparentes se faz necessária, uma vez que a maioria dos produtos industrializados e que ficam expostos em prateleiras de supermercados, está sujeita à foto-oxidação (COLTRO e BURATIN, 2004).

De um modo geral, as reações de foto-oxidação nos alimentos diminuem a vida útil do produto, causando mudanças sensoriais (alteração no odor e no sabor), oxidação e desnaturação das proteínas (COLTRO e BURATIN, 2004).

Os estabilizadores de luz são classificados como aditivos anti-envelhecimento e podem diminuir a intensidade de luz UV que passa pela embalagem e chega aos produtos, evitando degradações provocadas pela foto-oxidação (COLTRO e BURATIN, 2004).

Dentre os estabilizadores de luz, encontram-se os absorvedores de UV, substâncias orgânicas incolores que, quando incorporadas ao material da embalagem, absorvem a energia UV incidente ou inativam cromóforos excitados, inibindo a formação de radicais livres em produtos foto-sensíveis e, portanto, atuam na fase inicial do processo degradativo. Normalmente os absorvedores UV são derivados de benzofenona ou benzotriazol (COLTRO e BURATIN, 2004; PASCALL et al., 1995).

Aditivos estabilizadores de luz ultravioleta baseados em benzofenona absorvem a luz ultravioleta dissipando a energia resultante na forma de calor (BARROS et al., 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Obtenção e preparo da matéria-prima

Foram obtidas, de supermercado local, após 48 horas de resfriamento, peças inteiras dos músculos bovinos *Semitendinosus* (ST) e *Psoas major* (PM), as quais haviam sido desossadas a quente.

Removeu-se a gordura superficial e o tecido conectivo do músculo *Psoas major* que, a seguir, foi embalado a vácuo (680 mm Hg) em filme de náilon-polietileno (13,2 cm x 20 cm x 90 μ m), em seladora SELOVAC (MICROVAC CV8), e estocado sob refrigeração (4 °C). O músculo *Semitendinosus* seguiu o mesmo procedimento; porém, teve a gordura superficial mantida para posterior identificação, e separação, das suas regiões superficial (OST) e interior (IST).

No dia seguinte (72 h *post-mortem*), ambos os músculos foram cortados, transversalmente à orientação da fibra, sob a forma de bifés de cerca de 2 cm de espessura.

Os bifés do *Semitendinosus* foram divididos longitudinalmente, ao longo de seu eixo central, nas regiões superficial (OST - próxima à gordura subcutânea), e interior (IST - lado oposto à gordura de cobertura), correspondendo, respectivamente, a regiões de fibras predominantemente α -brancas e β -vermelhas (HUNT e HEDRICK, 1977; BEECHER et al., 1965). Após esta divisão (Figura 2), a porção superficial (OST) teve removida a gordura subcutânea que a recobria. Em seguida, duplicatas de bifés de cada músculo foram colocadas em bandejas de poliestireno e expostas ao ar durante 1 h em câmara-fria (4 °C) para provocar a oxigenação do pigmento.

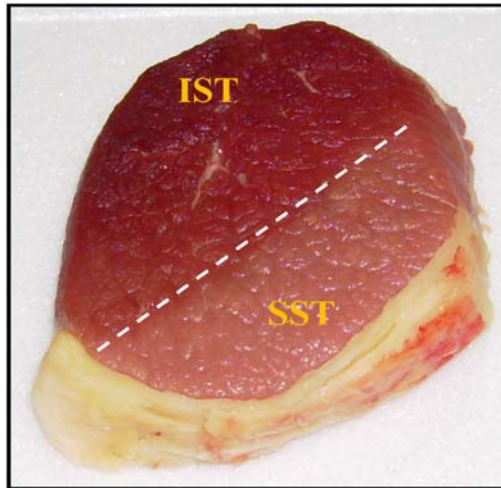


Figura 2 – Regiões superficial (OST) e interior (IST) do *Semitendinosus* após corte transversal e exposição ao ar por 24 h à 4 °C.

Após a oxigenação, duplicatas das amostras foram aleatoriamente distribuídas entre as 10 (dez) combinações de tempos de estocagem (0, 2, 4, 6 e 8 dias) e tipos de embalagem (filme de Polietileno de Baixa Densidade – PEBD incorporado, ou não, com absorvedor de luz UV), quando, então, foram submetidas, à iluminação fluorescente (Sylvania F32W/T8, Branca Confort - 4.000K), numa distância aproximada de 30 cm, em câmara-fria (4 °C). As amostras destinadas ao dia 0 (zero) foram imediatamente encaminhadas para as análises físico-químicas, enquanto as demais foram analisadas a cada dois dias, até o 8º dia de estocagem.

3.2. Elaboração do filme incorporado com absorvedor de luz UV

Os filmes plásticos contendo o absorvedor de luz UV foram elaborados segundo metodologia desenvolvida no Laboratório de Embalagens da UFV/DTA.

Quantidade conhecida de resina de Polietileno de Baixa Densidade – PEBD foi adicionada de 1 g do absorvedor de luz UV contendo octabenzona (Shelfplus UV 1400 da Ciba) e levada a aquecimento (180 °C), por aproximadamente 5 min, para ocorrer a incorporação do composto à resina. A partir dessa mistura foram realizadas diluições, por meio da adição de resina pura de PEBD, para elaboração de filmes com 4 diferentes concentrações do absorvedor UV (0,25; 0,5; 0,9 e 1,3 %). Por fim, as misturas, em suas diferentes proporções, foram processadas em extrusora

monorrosca (Haake Poly Drive) para obtenção dos filmes plásticos. Filmes controle foram produzidos pelo mesmo processo de extrusão, porém, sem a adição do absorvedor de luz UV.

3.3. Determinação do espectro de emissão da lâmpada fluorescente

O espectro de emissão da lâmpada fluorescente foi determinado no Laboratório de Caracterização Ótica do Departamento de Física da Universidade Federal de Viçosa, utilizando um espectrômetro Ocean Optics (USB2000) operando no modo de medida de irradiância e utilizando como padrão uma fonte de tungstênio calibrada a 2800 K.

3.4. Análises físicas e bioquímicas na carne

3.4.1. Determinação do pH

O pH foi determinado nas porções remanescentes dos bifês, após remoção dos discos (4,5 cm de diâmetro) para as análises de TCO e MRA, pela inserção do eletrodo de penetração para carnes (HANNA MI 200), previamente calibrado e acoplado a um pHmetro DIGIMED (DM-20). Foram realizadas quatro medidas, duas por bife, tomando-se a média como valor final.

3.4.2. Análises de Cor

3.4.2.1 Análise objetiva das coordenadas de cor

As análises objetivas de cor foram realizadas a cada dois dias, nas superfícies expostas à luz, dos bifês destinados ao último dia de análise, utilizando-se o espectrofotômetro ColorQuest II Sphere (HunterLab, Reston, VA), conectado a um computador provido do sistema Software Universal e calibrado para o modo RSIN (reflectância especular incluída). Foi estabelecido o iluminante A, diâmetro de

abertura para leitura de 2,54 cm, ângulo de 10° para o observador e escala de cor CIELAB.

Previamente à leitura, o equipamento foi calibrado contra as placas de referência branca (X=81,12; Y=85,99 e Z=95,03) e cinza (X=49,90; Y=53,15 e Z=55,05), cobertas com o mesmo filme que envolvia a embalagem da carne, a fim de evitar que o filme plástico interferisse na leitura da amostra (RAMOS e GOMIDE, 2007). O procedimento de calibração foi repetido todas as vezes que o filme que recobria a amostra era modificado.

Em cada amostra, realizaram-se 5 leituras para obtenção de um valor médio das coordenadas de cor. Além dos valores L*, a* e b* foram tomados os dados espectrais de reflectância (400-700 nm) para cálculo dos percentuais de MbO₂ e MMb (RAMOS e GOMIDE, 2007).

3.4.2.2. Determinação dos limites padrões dos pigmentos heme

Em cada um dos músculos (OST, IST e PM), os limites padrões para 100% de deoximioglobina (Mb⁺) e 100% de metamioglobina (MMb) foram determinados em bifés com espessura aproximada de 1,5 cm, de acordo com procedimentos descritos por RAMOS e GOMIDE (2007).

3.4.2.2.1. 100% de Metamioglobina

Um dia após a aquisição dos músculos (72 h *post-mortem*), os bifés foram imersos, por cerca de 1 min., numa solução de ferricianeto de potássio (K₃Fe(CN)₆) 1% (m/v) sendo, então, removidos, secos em papel toalha, envoltos em filmes de polivinilcloreto (PVC) e estocados por 12 h a 2 °C. Após este período, a embalagem de PVC foi removida e as amostras foram novamente embaladas a vácuo, em filme de náilon-polietileno (PA/PE) e, imediatamente, foram tomadas as leituras de reflectância (400 - 700 nm), que foram convertidas à relação (K/S)₅₇₂/(K/S)₅₂₅, segundo equação de Kubelka-Munk:

$$K_{\lambda} / S_{\lambda} = (1 - R_{\infty})^2 \div 2.R_{\infty}, \text{ em que:}$$

K_λ é o coeficiente de absorção, S_λ é o coeficiente de dispersão e R_∞ é a reflectividade.

3.4.2.2.2. 100% de Mioglobina Reduzida (Deoximioglobina)

Um dia após a aquisição dos músculos (72 h *post-mortem*), os bifes foram imersos, por cerca de 1 min., numa solução de hidrossulfito de sódio (ditionito) 10% e, logo após, secos em papel toalha, embalados a vácuo em filme de náilon-polietileno (PA/PE) e estocados por 2 h à temperatura ambiente. Após este período foram tomadas as leituras de reflectância (400 - 700 nm), que foram convertidas à relação $(K/S)_{474}/(K/S)_{525}$.

3.4.2.2.3. 100% de Oximioglobina

Para determinação do padrão para 100% de oximioglobina (MbO_2) utilizou-se a metodologia descrita por RAMOS e GOMIDE (2007), com algumas modificações.

Após 72 h (para minimização da capacidade de consumo de oxigênio dos músculos) da aquisição, (120 h *post-mortem*) bifes de todos os músculos, com cerca de 1,5 cm de espessura, foram expostos, sob refrigeração (1 °C) e no escuro, ao ar por 30 min para obter a completa oxigenação dos pigmentos heme. A seguir, as amostras foram acondicionadas em embalagens de náilon-polietileno (PA/PE) e, imediatamente, tomou-se os dados espectrais de reflectância (400-700 nm), que foram convertidos à relação $(K/S)_{610}/(K/S)_{525}$.

Depois da leitura as amostras foram retiradas das embalagens e recolocadas na câmara-fria para nova oxigenação. Em intervalos de 30 min., os mesmos procedimentos foram repetidos até que se observasse aumento nos valores da relação $(K/S)_{610}/(K/S)_{525}$, indicando uma redução nos percentuais de MbO_2 na superfície da carne (McKENNA et al. 2005). Os dados da relação $(K/S)_{610}/(K/S)_{525}$, obtidos anteriormente ao seu aumento, e que correspondem aos menores valores encontrados (maior grau de oxigenação) foram utilizados como padrão para 100% de MbO_2 .

3.4.3. Atividade de Metamioglobina Redutase (MRA)

A MRA foi avaliada de acordo com procedimento descrito por SAMMEL et al. (2002), com algumas modificações. Um círculo de aproximadamente 4,5 cm de diâmetro foi removido do centro de uma das duplicatas dos bifes dos músculos PM, OST e IST, nos dias 0, 2, 4, 6 e 8, de cada tratamento. As porções extraídas foram imersas numa solução de nitrito de sódio 0,3% por 30 min à temperatura ambiente, para facilitar a formação de MMb e, então, removidas, secas em papel toalha e embaladas a vácuo em filme de náilon-polietileno (PA/PE). A seguir, as amostras foram imediatamente submetidas à leitura no espectrofotômetro ColorQuest II Sphere (HunterLab, Reston, VA) para obtenção dos dados de reflectância, que foram convertidos à relação $(K/S)_{572}/(K/S)_{525}$ para determinação do percentual de MMb (%MMb_i) de acordo com a equação:

$$\%MMb = \frac{\left(\frac{K/S \text{ a } 572 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{100\% \text{ Mb}^+ \text{ ou } O_2Mb} - \left(\frac{K/S \text{ a } 572 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{amostra}}{\left(\frac{K/S \text{ a } 572 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{100\% \text{ Mb}^+ \text{ ou } O_2Mb} - \left(\frac{K/S \text{ a } 572 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{100\% \text{ MMb}}}$$

A seguir, as amostras foram incubadas, por 2 h, em estufa de cultura FANEN (modelo 002 CB) a 30 °C, para induzir a redução da MMb a deoximioglobina (Mb⁺). Após este período, foram novamente coletados os dados espectrofotométricos de reflectância para determinação do percentual de MMb remanescente (%MMb_f). A MRA foi obtida pela equação:

$$MRA = [(\%MMb_i - \%MMb_f) \div \%MMb_i] \times 100$$

3.4.4. Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)

A Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) foi determinada de acordo com MADHAVI e CARPENTER (1991), com algumas modificações. Aos 0, 2, 4, 6 e 8 dias de estocagem, um círculo (aproximadamente 4,5 cm de diâmetro) foi retirado do centro de uma das duplicatas dos bifes dos músculos PM, OST e IST de cada

tratamento. Dos círculos extraídos, foram removidas, e eliminadas, as camadas superficiais (cerca de 0,5 cm de profundidade) de MMb e MbO₂ das amostras expostas à luz durante a estocagem. A seguir, os cerca de 1,5 cm remanescentes dos círculos de bifes de cada amostra foram expostos ao ar durante 1 h, em câmara fria (4 °C), para oxigenação e formação do pigmento de MbO₂. Após esta oxigenação foram embalados a vácuo, em filme de náilon-polietileno (PA/PE), e imediatamente tomou-se as leituras de reflectância no espectrofotômetro ColorQuest II Sphere (HunterLab, Reston, VA). Os dados de reflectância foram convertidos à relação (K/S)₆₁₀/(K/S)₅₂₅ para determinação do percentual de MbO₂ [(%MbO₂)_i] pela equação:

$$\%O_2Mb = \frac{\left(\frac{K/S \text{ a } 610 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{100\% Mb^+ \text{ ou MMb}} - \left(\frac{K/S \text{ a } 474 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{amostra}}{\left(\frac{K/S \text{ a } 474 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{100\% Mb^+ \text{ ou MMb}} - \left(\frac{K/S \text{ a } 474 \text{ nm}}{K/S \text{ a } 525 \text{ nm}} \right)_{100\% O_2Mb}}$$

Após esta primeira leitura, as amostras foram novamente armazenadas em câmara-fria (4 °C), sem a incidência de luz, durante 10 (dez) minutos. Após esse período, fez-se uma nova leitura de reflectância, para determinação do teor residual de MbO₂ na superfície da amostra [(%MbO₂)_f]. A Taxa de Consumo de Oxigênio foi expressa de acordo com a equação:

$$TCO = [(\%MbO_2)_i - (\%MbO_2)_f]$$

3.4.5. Substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico (TBARs)

A determinação do índice de TBARs foi realizada nas amostras de cada tratamento, segundo GOMES et al. (2003). Foram pesadas 10 g das amostras, previamente trituradas em multiprocessador (NKShome TS-296), às quais foram adicionados 0,2 mL de antioxidante BHT (0,03%), 50mL de água destilada e cerca de 1 mL de solução antiespumante A-60 (Assel Ind. e Com. Ltda, São Paulo, SP).

As amostras foram novamente trituradas e homogeneizadas, na velocidade máxima, em um triturador tipo Turrax (Marconi), por um minuto. Após a homogeneização, as amostras foram transferidas para um balão de fundo chato de

500 mL de capacidade, contendo cacos de porcelana, e adicionados de 50 ml de solução de HCl (47,5 mL água + 2,5 mL HCl 4 M). As amostras foram destiladas em placa aquecedora TECNAL (modelo TE-188), a mais ou menos 97 °C, até a coleta de 50 mL de destilado. Do destilado, transferiu-se 5 mL para um tubo de ensaio e adicionou-se 5 mL de solução 0,02M de TBA. Os tubos de ensaio foram, então, submetidos a banho de água em ebulição por 35 min. A seguir, foram resfriados em água corrente (aproximadamente 20 °C), até que os tubos atingissem a temperatura ambiente. Por fim, fez-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro (Hitachi U-2001, série 9826-049) a 530 nm.

O valor de TBA, expresso em mg/kg, foi obtido multiplicando-se a absorbância por 7,8.

3.4.6. Determinação do Potencial de óxido-redução (Eh)

O potencial de óxido-redução foi determinado sobre homogeneizados de carne, segundo metodologia descrita por NAM e AHN (2003).

Amostras (5 g) de carne de cada tratamento foram colocadas em proveta plástica de 50 mL e adicionadas de 15 mL de água deionizada e 50 µL de solução etanólica a 7,2% de BHT. A seguir, foram homogeneizadas por cerca de 15 segundos, em velocidade máxima, em triturador tipo Turrax (Marconi).

O potencial de óxido-redução do homogeneizado foi determinado utilizando um potenciômetro (HANNA-8519) equipado com um eletrodo de platina e um eletrodo de referência de Ag/Cl contendo solução eletrolítica (4M KCl saturada com AgCl).

3.5. Análises físicas da embalagem

3.5.1. Determinação da transmissão de luz

A transmissão de luz (%) das embalagens de polietileno (com e sem absorvedor UV) foi determinada em espectrofotômetro VARIAN (Cary 50 probe UV visible), numa faixa de 100 a 700 nm.

3.5.2. Propriedades mecânicas dos filmes

As propriedades mecânicas de carga no ponto de ruptura (N) e deformação no ponto de ruptura (%) dos filmes elaborados foram determinadas em máquina universal de ensaios de materiais, modelo de coluna dupla, Série 3360 (Instron, Norwood, MA, USA), à temperatura ambiente, em cinco filmes medindo 2,0 cm de largura por 10 cm de comprimento. Os procedimentos foram aplicados aos filmes controle, e com 0,9% de absorvedor de luz UV.

3.5.3. Taxa de transmissão de oxigênio

Para determinação da Taxa de Transmissão de Oxigênio (TTO₂), embalagens (com e sem o absorvedor UV) foram preparadas e analisadas, em intervalos alternados de tempo, durante um período de cerca de 12 dias, quanto ao teor de oxigênio em seu interior, através de um coletor de gases (Hedspace oxygen/carbon dioxide analyzer-6600).

3.6. Delineamento experimental

O experimento, com três repetições, foi conduzido considerando um arranjo fatorial com três tipos de músculo (PM, IST e ST) e embalagens (com e sem absorvedor de luz UV), portanto seis combinações, inteiramente casualizadas nas parcelas e tempos de estocagem (0, 2, 4, 6 e 8 dias) nas sub-parcelas. Cada repetição foi constituída de músculos oriundos de um mesmo abate e animal.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão, usando procedimentos do programa estatístico SAS versão 9.1 (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Para cada tipo de músculo estudado, o efeito do tempo de estocagem foi analisado por meio de regressão.

Todas as regressões foram escolhidas em função da sua significância, em nível de 5%, de seus coeficientes, e ausência de significância nos desvios da regressão. Porém, quando o desvio da regressão foi significativo, também foram utilizadas as regressões significativas que apresentavam coeficientes de determinação elevado (acima de 80%).

Para as análises de Taxa de Transmissão de Oxigênio (TTO) e Propriedades mecânicas dos filmes plásticos (com e sem a adição de absorvedor UV), o experimento, com três repetições, foi conduzido seguindo o delineamento inteiramente casualizado.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, as médias dos fatores comparadas utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os dados foram analisados pelo programa estatístico SAS versão 9.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Característica da luz incidente sobre a carne

A radiação ultravioleta cobre a região do espectro eletromagnético entre 400 e 100 nm, enquanto que a região do visível está situada entre 400 e 700 nm (CAVICCHIOLI e GUTZ, 2003; DJENANE et al., 2001). O espectro de emissão (Figura 3) da lâmpada fluorescente utilizada no experimento apresentou maior intensidade de luz na região do visível, com cinco picos, e apenas dois pequenos picos de intensidade na região do ultravioleta. Estes resultados se assemelham àqueles reportados por RABINAL (2003) e DJENANE et al. (2001), os quais encontraram um pequeno pico de intensidade de luz UV na região de 350 a 400 nm, para lâmpadas fluorescentes habitualmente utilizadas nos balcões expositores de alimentos.

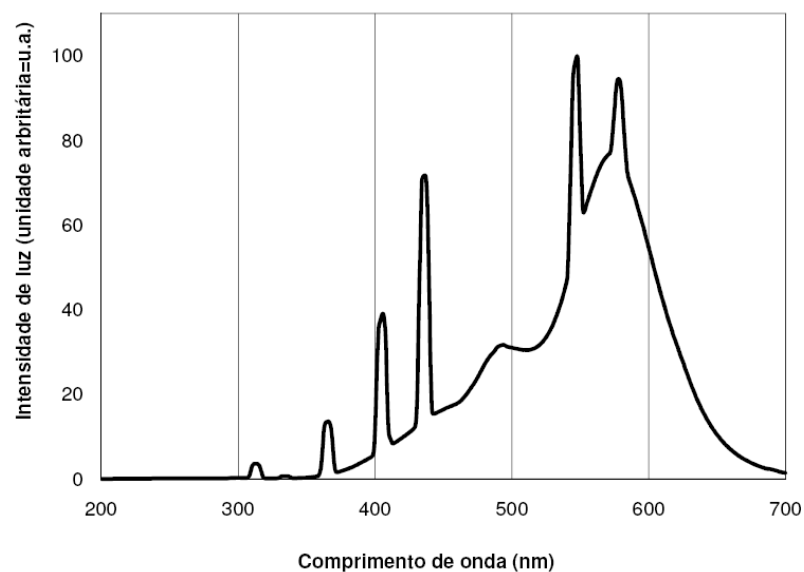


Figura 3 - Espectro de emissão de luz da lâmpada fluorescente Sylvânia F32W/T8.

4.2. Espectro de transmissão de luz da embalagem

A figura 4 mostra o percentual de transmissão de luz através dos filmes de polietileno de baixa densidade – PEBD contendo diferentes concentrações de absorvedor de luz UV incorporados.

Os filmes de PEBD incorporados com 0,25 e 0,5 % do absorvedor de luz UV, apesar de reduzirem a transmissão de comprimentos de onda na região do ultravioleta ($200 < \lambda < 400$ nm), quando comparado ao controle (61% de transmissão da radiação UV), não obtiveram um bloqueio efetivo da radiação UV, permitindo uma transmissão média de 35,5 e 24,11 %, respectivamente, da radiação entre 300 e 400 nm. Entretanto, os filmes nas concentrações de 0,9 e 1,3 %, apresentaram uma maior eficiência no bloqueio da luz UV, com uma redução da transmissão desta radiação para valores médios de 12,4 e 10,0 %, respectivamente, nesta região do espectro.

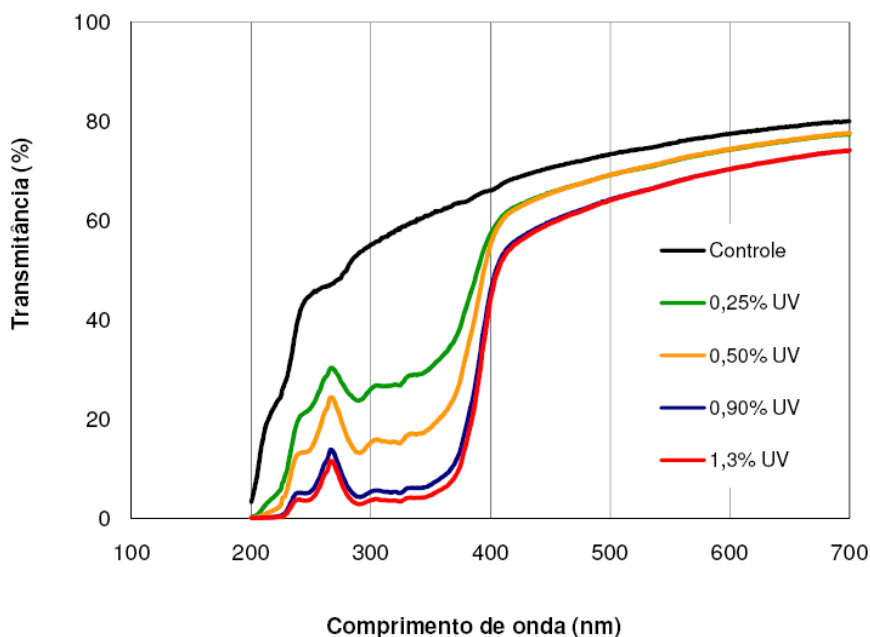


Figura 4 - Características de transmissão de luz de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) contendo diferentes concentrações de absorvedor de radiação UV.

Partindo do fato de que a concentração de 1,3 % do absorvedor de luz UV no filme plástico é o limite máximo indicado pelo fabricante, não há como se obter um maior bloqueio de luz UV, com o reagente utilizado. Dessa forma, a concentração de 0,9 % foi estabelecida para o experimento, tendo em vista a semelhança de eficiência

encontrada (Figura 4) para as concentrações de 0,9 e 1,3 %, não se justificando a utilização de uma maior quantidade do composto.

4.3. Propriedades mecânicas e taxa de permeabilidade ao oxigênio das embalagens.

A incorporação de 0,9% do absorvedor de luz ultravioleta à resina de polietileno, não alterou ($P > 0,05$) as propriedades mecânicas avaliadas (Tabela 1), indicando uma manutenção da estrutura polimérica do filme de polietileno.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas dos filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) incorporados, ou não (controle), com 0,9% de absorvedor de radiação ultravioleta (UV)

| Propriedades mecânicas | Filmes* | |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Controle | Absorvedor UV |
| Carga no ponto de ruptura (N) | 20,64 ^a ± 1,16 | 22,06 ^a ± 2,78 |
| Deformação no ponto de ruptura (%) | 789,03 ^a ± 22,10 | 810,67 ^a ± 36,06 |

* média ± desvio padrão.

^a médias seguidas por uma mesma letra, nas linhas, não diferem entre si ($P > 0,05$) pelo teste F.

A taxa de transmissão de oxigênio do filme de polietileno incorporado com 0,9% do absorvedor de radiação UV não diferiu ($P > 0,05$) daquela do filme controle de polietileno (Tabela 2).

Tabela 2 - Taxa de transmissão de oxigênio em filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) controle e incorporados com absorvedor de radiação ultravioleta (UV)

| Filmes | TTO* |
|---------------|---------------------------|
| Controle | 13,09 ^a ± 0,80 |
| Absorvedor UV | 12,71 ^a ± 0,64 |

* TTO: Taxa de transmissão de oxigênio (%O₂/dia.m²); média ± desvio padrão.

^a médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si ($P > 0,05$) pelo teste F.

Nesse sentido, presume-se que um eventual efeito da embalagem com a adição do absorvedor de radiação UV sobre as propriedades físico-químicas da carne se deve, basicamente, à sua característica foto-estabilizadora e não a quaisquer variações de transmissão de oxigênio (O₂), forte agente oxidante.

4.4. Formas químicas do pigmento de mioglobina e estabilidade de cor

Os percentuais de MMb e de MbO₂ nas amostras de carne embaladas em filme de polietileno incorporado com 0,9% do absorvedor de radiação UV não diferiram ($P > 0,05$) daqueles de carnes embaladas em filme controle de polietileno.

Os resultados encontrados divergem dos reportados por alguns autores (DJENANE et al., 2001; ANDERSEN et al., 1989; KRAFT e AYRES, 1953), em que a redução da incidência de comprimentos de onda na região UV promove um aumento na estabilidade (menor acúmulo de MMb) da cor de carnes.

Maior manutenção da cor foi constatada por DJENANE et al. (2001), quando bifes do *Longissimus dorsi* de bovinos, embalados em atmosfera modificada (70% O₂ + 20% CO₂ + 10% N₂), eram armazenados sob uma lâmpada fluorescente com um filtro UV de policarbonato. KRAFT e AYRES (1953) também reportaram menor descoloração em bolos de carne bovina, sob iluminação UV germicida, quando estes se encontravam envoltos em filmes plásticos que apresentavam relativo bloqueio de luz UV, durante 12 dias de estocagem a 2,5 °C.

Porém, convém notar que no estudo desenvolvido por DJENANE et al. (2001) empregaram-se sistemas de embalagens com elevado teor de oxigênio, que, se por um lado permite maior oxigenação do pigmento de mioglobina, conferindo-lhe maior estabilidade de cor (GILL e HOLEY, 2005; MANCINE e HUNT, 2005; LIVINGSTON e BROWN, 1981), por outro lado talvez torne mais provável a formação de espécies reativas de oxigênio (singlete, etc.) a partir da irradiação UV, as quais poderiam induzir reações oxidativas, dentre eles dos pigmentos de cor. Adicionalmente, e mais provavelmente, diferentemente do verificado no presente trabalho com o uso do absorvedor de luz UV (Figura 4), o filtro UV de policarbonato utilizado no trabalho de DJENANE et al. (2001) eliminou completamente a incidência de luz na faixa do UV (ausência de transmissão em comprimentos de onda inferiores a 400 nm).

Já no trabalho realizado por KRAFT e AYRES (1953), o iluminante empregado por se tratar de uma lâmpada UV germicida apresentava uma intensidade de luz UV maior do que a emitida pela lâmpada fluorescente usada neste experimento. Assim, a redução da incidência da luz UV neste, pode ter resultado em maior efeito sobre as reações oxidativas.

Durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) aumento nos percentuais de MMb de todos os músculos estudados (Figura 5). Resultados similares foram observados em músculos bovinos, durante estocagem sob refrigeração (McKENNA, et al., 2005; SAMMEL et al., 2002; MADHAVI e CARPENTER, 1993; O'KEEFFE e HOOD, 1982).

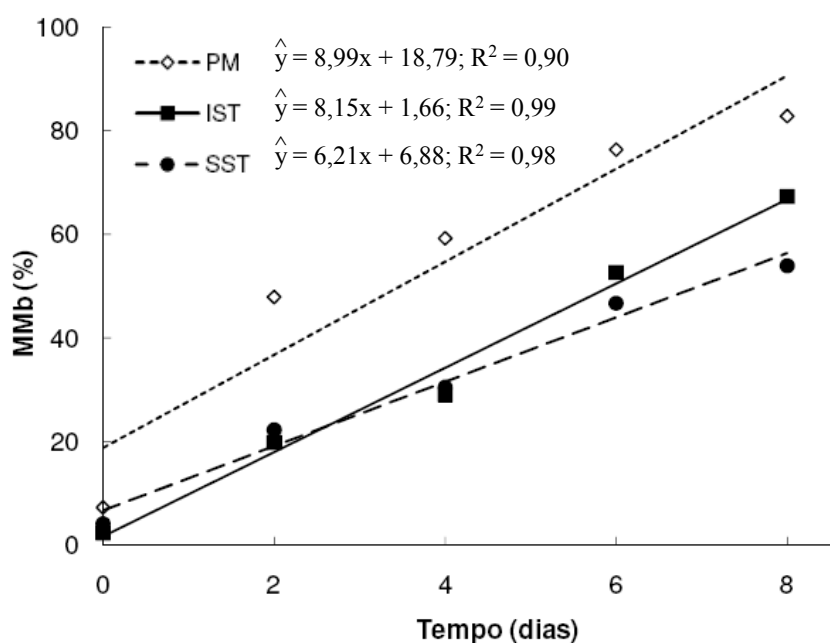


Figura 5 - Variação no teor de Metamioglobina (MMb) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

Diferenças nos percentuais de MMb ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 5). Como esperado, o acúmulo de MMb foi maior ($P < 0,05$) no músculo *Psoas major* (54,74%), comumente caracterizado como sendo de baixa estabilidade de cor (McKENNA et al., 2005; REDDY e CARPENTER, 1991; O'KEEFFE e HOOD, 1982). Não houve diferença ($P > 0,05$) no teor de MMb entre as regiões superficial (31,53%) e interior (34,23%) do músculo *Semitendinosus*.

O acúmulo de MMb, pigmento de coloração marrom, na superfície da carne, promove a depreciação do produto pela perda da coloração vermelha característica da carne fresca.

Tendo em vista que o consumidor tende a rejeitar carnes em que o teor de MMb está entre 20% (HOOD e RIORDAN, 1973; RENERRE e LABAS, 1987) e 40% (GREENE et al., 1971), baseado nas equações de regressão do teor de MMb em função do tempo de estocagem (Figura 5), o PM apresenta a menor estabilidade de cor, tendo menor vida de prateleira (Tabela 3) do que o OST e o IST.

Tabela 3 - Tempo estimado para que, nos músculos bovinos embalados em filmes de polietileno e mantidos sob refrigeração (4 °C), 20 ou 40% dos pigmentos de cor estejam sob a forma de MMb.

| Músculos | Tempo (horas) | |
|-----------------------------------------|---------------|----------|
| | 20 % de MMb | 40 % MMb |
| <i>Psoas major</i> (PM) | 3,24 | 56,64 |
| Interior <i>Semitendinosus</i> (IST) | 54,0 | 112,8 |
| Superficial <i>Semitendinosus</i> (OST) | 51,5 | 128,6 |

Diferentemente da elevação nos percentuais de MMb, os níveis de MbO₂, pigmento de coloração vermelho brilhante e de maior aceitação pelos consumidores (RAMOS e GOMIDE, 2007), decresceram (P < 0,05) durante o período de estocagem (Figura 6).

Dessa forma, pode-se presumir que tanto o acúmulo de MMb, como a redução nos percentuais de MbO₂ nas superfícies das carnes atuam como indicadores do grau de descoloração. Entretanto, não é usual a utilização da MbO₂ como uma propriedade de determinação da estabilidade de cor em carnes (McKENNA et al., 2005).

Diferenças no teor de MbO₂ ficaram evidenciadas (P < 0,05) entre os músculos (Figura 6). A região superior do músculo *Semitendinosus* apresentou (P < 0,05) os maiores percentuais de MbO₂ (59,83%) e o músculo *Psoas major* os menores (37,67%) percentuais (P < 0,05). A região interior do *Semitendinosus* apresentou percentuais de MbO₂ intermediários (51,44%) e diferentes (P < 0,05) dos demais músculos.

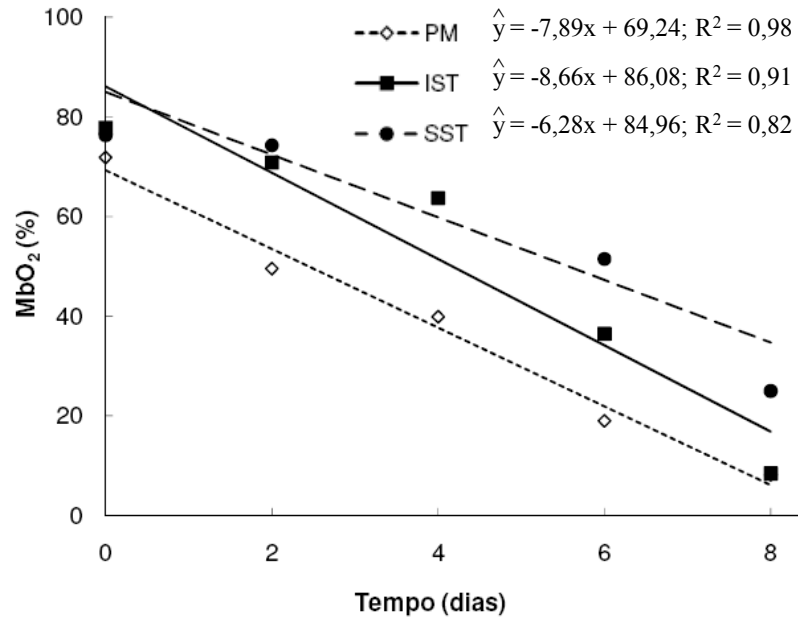


Figura 6 - Variação no teor de Oximioglobina (MbO_2) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

A formação do pigmento de MbO_2 está relacionada à penetração de oxigênio no tecido muscular (SAMMEL et al., 2002). Dessa forma, músculos com maior consumo tecidual de oxigênio *post-mortem* tendem a apresentar os menores percentuais de MbO_2 devido à menor penetração de oxigênio.

LINDAHL et al. (2001) e BENDALL e TAYLOR (1972) estabelecem que músculos de pH mais baixos apresentam menor consumo tecidual de oxigênio devido a uma maior desnaturação das enzimas do sistema oxidativo (Ciclo de Krebs ou do ácido carboxílico) de produção de energia; isto provavelmente causa um menor consumo de oxigênio dissolvido, disponibilizando-o para ligação na sexta posição de coordenação do ferro heme.

4.5. Coordenadas de cor

As coordenadas de cor de amostras de carnes embaladas em filmes incorporados com 0,9% de absorvedor de radiação UV não diferiram ($P > 0,05$) daquelas de amostras de carne embaladas em filmes controle de polietileno.

As coordenadas instrumentais de cor representam a quantidade de mioglobina presente nos músculos e a proporção de seus derivados químicos (Mb^+ , MMb, MbO_2). Dessa forma, pela quantidade de pigmento (mioglobina) presente na carne independe de qualquer fator *post-mortem* e, pelas formas químicas da mioglobina analisadas (MMb e MbO_2) não terem sido afetadas pelo emprego do absorvedor UV, era de se esperar que os parâmetros instrumentais de cor também não fossem afetados.

Diferenças nos valores de luminosidade (L^*) ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 7). A região superficial do músculo *Semitendinosus* apresentou ($P < 0,05$) os maiores valores L^* (53,52) e o *Psoas major* os menores (42,66) valores ($P < 0,05$). A região interior do músculo *Semitendinosus* apresentou valores de L^* intermediários (47,50) e diferentes ($P < 0,05$) dos demais músculos.

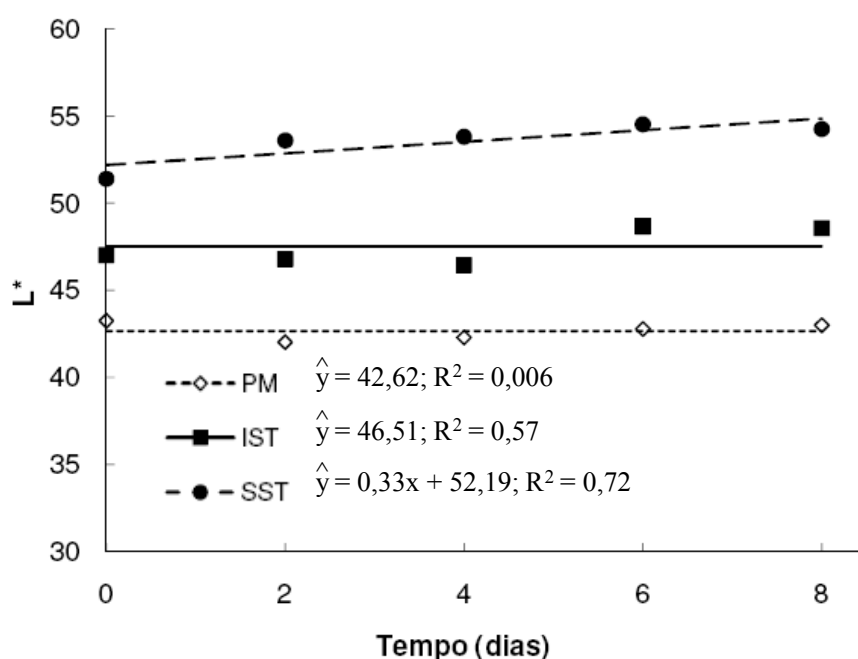


Figura 7 - Variação na luminosidade (L^*) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

A maior luminosidade do OST, em relação ao PM, é consistente com os resultados apresentados por outros autores (SEYFERT et al., 2006; SEYFERT et al., 2007).

Valores mais elevados de luminosidade são indicativos de uma coloração de carne mais clara (RAMOS e GOMIDE, 2007). McKENNA et al. (2005) reportaram uma correlação inversa entre luminosidade e teor de mioglobina, em que músculos que apresentaram baixas concentrações de mioglobina obtiveram os maiores valores de L*. Nesse sentido, músculos com predominância de fibras brancas, onde há uma menor concentração de mioglobina (BEECHER et al., 1965), apresentam os maiores valores de L* (SEYFERT et al., 2007; McKENNA et al., 2005).

Baseado nessa pressuposição, os resultados encontrados neste experimento estão coerentes, tendo em vista a ordem de classificação, em relação ao teor de fibras brancas, dentre os músculos estudados: OST > IST > PM (HUNT e HEDRICK, 1977).

Uma outra explicação para os maiores valores de L* encontrados no músculo OST são os seus menores valores de pH durante estocagem (Figura 8). Valores mais baixos de pH são responsáveis por maior desnaturação protéica, tanto das proteínas miofibrilares, como das sarcoplasmáticas, especialmente da mioglobina. A desnaturação das proteínas miofibrilares diminui a capacidade de retenção de água na carne, gerando uma superfície espelhada, aumentando a reflexão de luz (WARRISS e BROWN, 1987; SWATLAND, 2004); a desnaturação da mioglobina faz com que a mesma altere seu espectro e potência de reflexão de luz. Em conjunto, estes dois fatos promovem o aumento nos valores de L*. Os dados de correlação (Tabela 4) confirmam essa tendência, mostrando uma boa relação ($P > 0,001$; $r = -0,698$) entre os valores de pH e os valores de L*.

Durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$), apenas para o OST, um leve aumento nos valores de L* (Figura 7). Os demais músculos não apresentaram variação ($P > 0,05$). Variações na luminosidade (L*) durante o período de estocagem são de pouca importância na estabilidade da cor de carnes (McKENNA et al., 2005). Adicionalmente, e à semelhança com McKENNA et al. (2005) o coeficiente de correlação (Tabela 4) entre os valores de L* e MMb ($P < 0,05$; $r = -0,240$) foi baixo, confirmando a limitada influência da luminosidade sobre a estabilidade da cor de carnes.

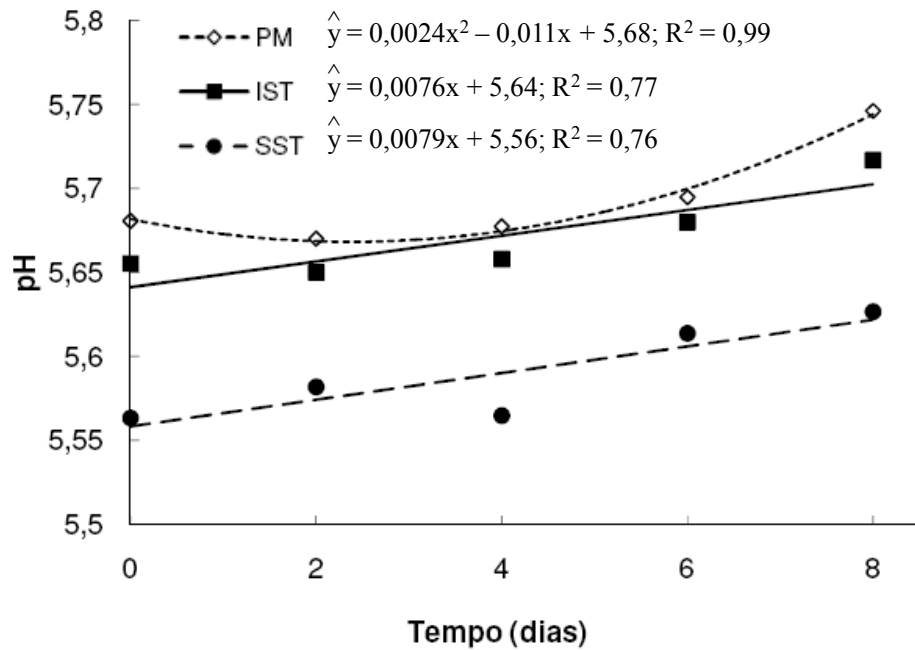


Figura 8 - Variação do pH no músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial do músculo *Semitendinosus* (OST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

Diferenças no índice de vermelho (a^*) ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 9). A região interior do músculo *Semitendinosus* (IST) apresentou ($P < 0,05$) os maiores valores de a^* (19,25) e o músculo *Psoas major* (PM) os menores (16,03) valores ($P < 0,05$). A região superficial do músculo *Semitendinosus* (OST) apresentou valores de a^* intermediários (17,20) e diferentes ($P < 0,05$) dos demais músculos.

Segundo BEGGAN et al. (2006), valores elevados de a^* indicam carnes com maior quantidade de mioglobina, característica de músculos mais oxidativos (LINDAHL et al., 2001). Assim, era de se esperar que o PM apresentasse os maiores valores de a^* , já que, dos músculos analisados, é aquele que apresenta maior teor de mioglobina (HUNT e HEDRICK, 1977). Entretanto, McKENNA et al. (2005) não evidenciaram uma relação significativa entre conteúdo de mioglobina e valores de a^* , mas uma forte relação entre os valores de a^* e o grau de oxigenação do pigmento (MbO_2). Outros autores (BEGGAN et al., 2005; BEGGAN et al., 2004; MERCIER et al., 1998; FAUSTMAN e CASSENS, 1990) também verificaram que carnes mais oxigenadas (maior proporção de MbO_2) apresentaram maiores valores de a^* . Isto também foi evidenciado nesta pesquisa, onde o PM, músculo com os menores

valores de a^* , apresentou a menor proporção de MbO₂ (Figura 6). Essa relação fica evidenciada (Tabela 4) através da forte correlação entre os valores de a^* e os percentuais de MbO₂ ($P < 0,001$; $r = 0,919$).

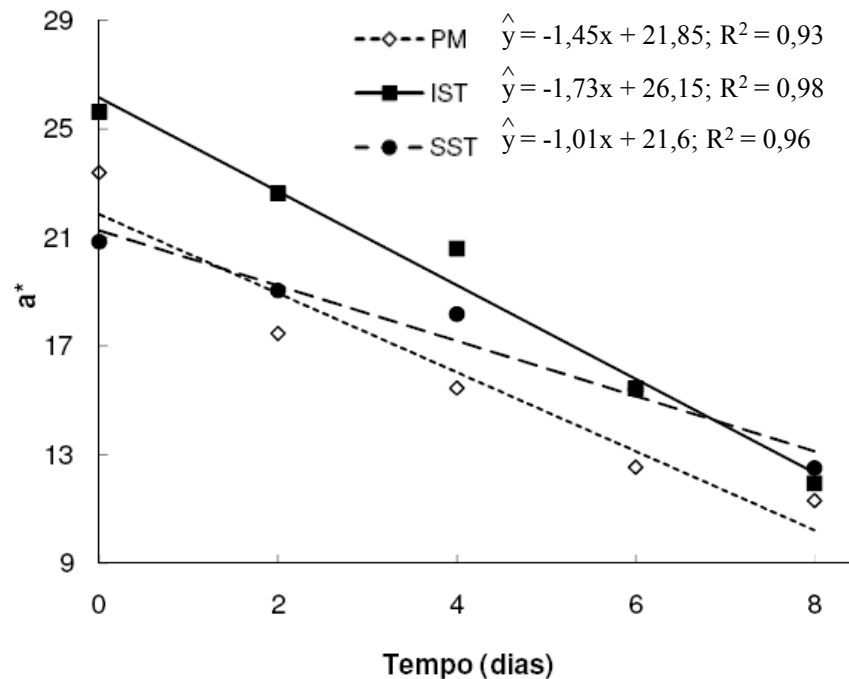


Figura 9 - Variação no índice de vermelho (a^*) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

Adicionalmente, os menores valores de a^* encontrados para o músculo *Psoas major*, pode também ser atribuído ao seu maior acúmulo de MMb durante estocagem, o que substitui a coloração vermelha, característica da carne fresca, por uma coloração marrom. À semelhança dos resultados obtidos por McKENNA et al. (2005), os dados de correlação (Tabela 4) demonstram uma forte relação entre os valores de a^* e os percentuais de MMb ($P < 0,001$; $r = -0,903$).

Por sua vez, como se discutirá mais à frente, o IST, por apresentar menor TCO e, portanto, maior facilidade de oxigenação do pigmento (MbO₂) que o PM, além de sua maior proporção de mioglobina que o OST, o que lhe confere maior grau de oxigenação, apresenta os maiores valores de a^* durante estocagem.

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre as propriedades físicas e bioquímicas dos dados agrupados dos músculos *Semitendinosus* (OST e IST) e *Psoas major*.

| | MMb | MbO ₂ | L* | a* | b* | a*/b* | TBARs | pH | Eh | MRA |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| MbO₂ | -0,879 ^{***} | | | | | | | | | |
| L* | -0,240 [*] | 0,231 [*] | | | | | | | | |
| a* | -0,903 ^{***} | 0,919 ^{***} | -0,008 ^{ns} | | | | | | | |
| b* | -0,653 ^{***} | 0,802 ^{***} | 0,349 ^{ns} | 0,776 ^{***} | | | | | | |
| a*/b* | -0,796 ^{***} | 0,685 ^{***} | -0,294 ^{**} | 0,809 ^{***} | 0,2701 [*] | | | | | |
| TBARs | 0,678 ^{***} | -0,585 ^{***} | -0,480 ^{***} | -0,516 ^{***} | -0,495 ^{***} | -0,359 ^{***} | | | | |
| pH | 0,478 ^{***} | -0,620 ^{***} | -0,698 ^{***} | -0,360 ^{***} | -0,548 ^{***} | -0,087 ^{ns} | 0,589 ^{***} | | | |
| Eh | 0,187 ^{ns} | 0,072 ^{ns} | 0,191 ^{ns} | -0,122 ^{ns} | 0,111 ^{ns} | -0,235 [*] | 0,078 ^{ns} | -0,330 ^{**} | | |
| MRA | -0,503 ^{***} | 0,316 ^{**} | -0,329 ^{**} | 0,601 ^{***} | 0,296 ^{**} | 0,595 ^{***} | -0,179 ^{ns} | 0,283 ^{**} | -0,474 ^{***} | |
| TCO | -0,433 ^{***} | 0,335 ^{**} | -0,405 ^{***} | 0,530 ^{**} | 0,141 ^{ns} | 0,656 ^{***} | -0,003 ^{ns} | 0,149 ^{ns} | -0,521 ^{***} | 0,579 ^{***} |

MRA: Atividade de Metamioglobina Redutase; TCO: Taxa de Consumo de Oxigênio; TBARs: Substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico; MMb: Metamioglobina; MbO₂: Oximioglobina; Eh: Potencial de óxido-redução; ^{ns} não significativo; * P < 0,05; **P< 0,01; *** P < 0,001.

Como esperado, durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) decréscimo nos valores de a^* de todos os músculos estudados (Figura 9), indicando uma perda da coloração vermelha da carne, que pode ser visualizada através da substituição do pigmento de MbO_2 , derivado da mioglobina predominante na fase inicial do experimento, pelo pigmento de metamioglobina (Figuras 5 e 6) (McKENNA et al., 2005; FAUSTMAN e CASSENS, 1990).

Diferenças no índice de amarelo (b^*) ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 10). O PM apresentou ($P < 0,05$) os menores valores de b^* (13,29) e nenhuma diferença ($P > 0,05$) foi evidenciada entre as regiões superficial (15,65) e interior (16,15) do *Semitendinosus*.

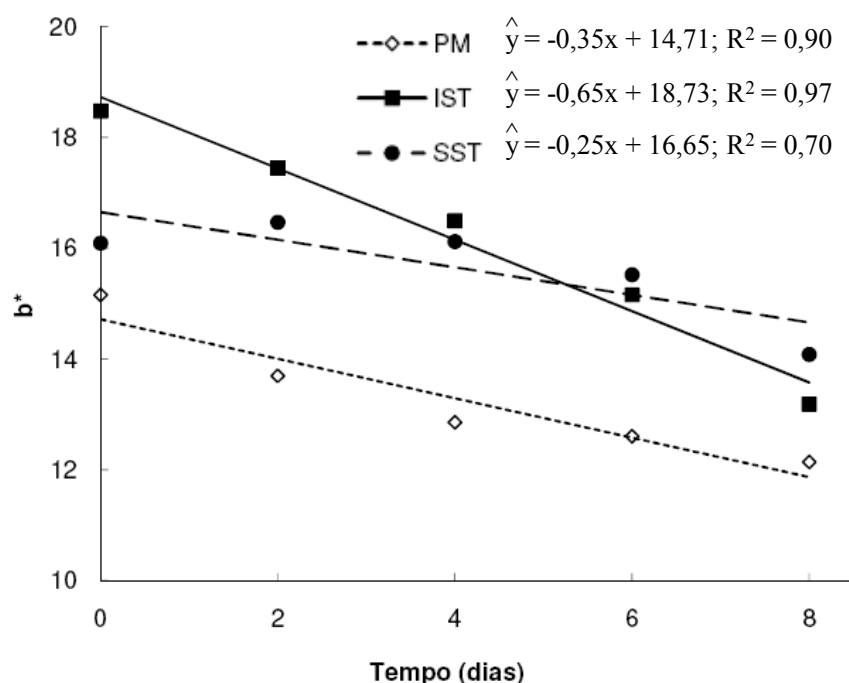


Figura 10 - Variação no índice de amarelo (b^*) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

Segundo McKENNA et al. (2005) e SEYFERT et al. (2006), a maioria dos músculos de pobre estabilidade de cor (rápido acúmulo de MMb) tendem a apresentar valores de b^* mais baixos.

Baseado nesta relação, os resultados encontrados neste experimento estão coerentes, tendo em vista que as regiões superficial e interior do músculo

Semitendinosus, porções musculares de maior estabilidade de cor, apresentaram os maiores valores de b^* , enquanto que, o músculo *Psoas major*, de menor estabilidade de cor (Tabela 3), apresentou os menores valores de b^* .

Os dados da tabela 4 demonstram uma boa relação ($P < 0,001$; $r = -0,654$) entre os valores de b^* e o teor de MMb.

Durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) decréscimo nos valores de b^* de todos os músculos estudados (Figura 10). Resultados similares têm sido reportados na literatura durante estocagem de músculos bovinos sob refrigeração (SEYFERT et al. 2007; SEYFERT et al., 2006; SAMMEL et al., 2002).

Segundo LINDAHL et al. (2001), maiores valores de b^* se devem a uma maior proporção de MbO₂ (oxigenação) na carne. Dessa forma, a redução nos valores de b^* , com o decorrer do experimento, pode ser identificada como uma redução nos percentuais de MbO₂ na superfície da carne. Uma relação diretamente proporcional ($P < 0,001$; $r = 0,803$) foi encontrada entre os valores de b^* e os percentuais de MbO₂ (Tabela 4).

4.6. Valor de pH

Como esperado, os valores de pH de amostras de carne embaladas com filme incorporado com 0,9% de absorvedor de radiação UV não diferiram ($P > 0,05$) daqueles de amostras de carne embaladas em filmes controle de polietileno. Não há nenhuma razão bioquímica para que luz influencie o metabolismo muscular *post-mortem* de modo a gerar alterações de pH, já que este é o resultado da utilização anaeróbica das reservas musculares de glicose e glicogênio e foi medido no centro das peças (bifes) de carne, onde não há resíduo de oxigênio, garantindo o metabolismo glicolítico. Não se conhece nenhum efeito de luz sobre a atividade das enzimas glicolíticas.

Diferenças nos valores de pH ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 8). A região superficial do músculo *Semitendinosus* (OST) apresentou os menores (5,59) valores de pH ($P < 0,05$) e o músculo *Psoas major* (PM) os maiores (5,69) valores ($P < 0,05$). A região interior do músculo *Semitendinosus* (IST) apresentou valores intermediários (5,67) de pH e diferentes ($P < 0,05$) dos demais músculos. O menor pH do OST se deve à maior proporção de

fibras brancas neste músculo e de fibras vermelhas naqueles (BEECHER et al., 1965; HUNT e HEDRICK, 1977).

Ao caracterizar 5 (cinco) músculos em relação ao tipo de fibra muscular, HUNT e HEDRICK (1977) verificaram a seguinte ordem, decrescente, em relação ao metabolismo glicolítico (predominância de fibras brancas): região superficial do músculo *Semitendinosus* (OST) > região interior do músculo *Semimembranosus* (ISM) > região superficial do músculo *Semimembranosus* (SSM) > músculo *Gluteus medius* (GM) > músculo *Logissimus dorsi* (LD) > região interior do músculo *Semitendinosus* (IST) > músculo *Psoas major* (PM).

Segundo RAMOS e GOMIDE (2007), dentre outras características, músculos que apresentam maior proporção de fibras brancas, apresentam maiores reservas de glicose/glicogênio, são menos irrigados, apresentam menos e menores mitocôndrias, pelo que seu metabolismo é mais glicolítico, resultando na maior geração de ácido láctico *post-mortem*. O inverso ocorre nos músculos que apresentam maior proporção de fibras vermelhas. Como consequência, menores valores de pH são estabelecidos em músculos mais glicolíticos que em músculos mais oxidativos.

Mesmo diferindo ($P < 0,05$), os valores de pH nos músculos analisados variaram de 5,55 a 5,75. Variações de pH na faixa de 5,55 a 6,0 têm uma influência limitada na formação de metamioglobina (CLAUSS et al., 2005; LEDWARD, 1985; LEDWARD, 1971) e, portanto, na cor de carnes.

Durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) aumento nos valores de pH de todos os músculos estudados (Figura 8).

O aumento do pH durante o período de estocagem pode ser atribuído à geração de metabólitos microbianos. Com o término da glicose armazenada, microrganismos utilizam aminoácidos como substrato, acumulando amônia, provocando assim, a elevação do pH (Goddard et al., 1996; e Gill, 1983, citados por NAVEENA et al., 2006; BALA et al., 1977).

Contudo, apesar do significativo aumento do pH durante o período de estocagem, as variações, dentro de cada músculo, foram pequenas, apresentando um aumento máximo aproximado de 0,1 unidade do dia 0 ao 8º dia de estocagem. Variações dentro dessa faixa são consideradas por McKENNA et al. (2005) como de pouca importância na determinação da estabilidade da cor de carnes frescas.

Entretanto, os dados de correlação (Tabela 4) indicam moderadas relações entre pH e MMb ($P < 0,001$; $r = 0,478$) e uma boa relação entre pH e MbO₂ ($P <$

0,001; $r = -0,620$) demonstrando um efeito negativo do aumento do pH sobre a estabilidade da cor. Convém ressaltar que, se o aumento de pH durante a estocagem representa o desenvolvimento de microrganismos, era de se esperar estas correlações entre pH e os parâmetros de estabilidade de cor (MMb e MbO₂), não necessariamente pela ação direta do aumento do pH sobre os pigmentos cárneos ou sistemas enzimáticos que governam os processos de óxido-redução na carne, mas sim pelo fato dos microrganismos aeróbios, ao consumir o oxigênio no interior da embalagem, reduzirem a pressão parcial de oxigênio nesta embalagem, favorecendo a oxidação da oximioglobina à metamioglobina (CHAN et al., 1998).

4.7. Substâncias Reativas ao Ácido 2-Tiobarbitúrico (TBARs)

Apesar da luz UV, devido à maior energia emitida na região UV do que na região do visível, ser tida como catalisadora de reações de oxidação pela formação de espécies oxidantes, como o oxigênio singlete (WOLD, 2006; ARAÚJO, 2006; COLTRO e BURATIN, 2004; DJENANE et al., 2001; ANDERSEN e SKIBESTED, 1991), os valores de TBARs de amostras de carnes embaladas em filmes incorporados com 0,9% de absorvedor de radiação UV não diferiram ($P > 0,05$) daqueles de amostras de carne embaladas em filmes controle de polietileno.

Na carne, hemeproteínas atuam como fotossensores, absorvendo luz visível ou radiação ultravioleta tornando-se eletronicamente excitados. Subsequentemente, os fotossensores são capazes de transferir o excesso de energia para a molécula do oxigênio, passando-o para o estado singlete, o qual é altamente reativo, dando início as reações de oxidação lipídica (ARAÚJO, 2006; WOLD, 2006).

Em desacordo com os resultados encontrados, DJENANE et al. (2001) trabalhando com o músculo bovino *Logissimus dorsi*, em atmosfera modificada (70 % O₂ + 20 % CO₂ + 10 % N₂), observaram uma redução nos níveis de TBARs, a partir do quinto dia de estocagem, nos músculos armazenados sob uma lâmpada fluorescente recoberta com filtro UV de policarbonato.

Porém, ao contrário da embalagem UV utilizada nesse experimento, o filtro UV de policarbonato empregado por DJENANE et al. (2001) bloqueava todo comprimento de onda abaixo de 400 nm, o que pode ter sido determinante para menor oxidação lipídica neste.

Diferenças nos valores de TBARs ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 11). O músculo *Psoas major* apresentou ($P < 0,05$) o maior grau de oxidação lipídica (0,40 mg de malonaldeído/kg) e a região superficial do músculo *Semitendinosus* a menor (0,25 mg de malonaldeído/kg) taxa de oxidação ($P < 0,05$). A região interior do músculo *Semitendinosus* apresentou valores intermediários (0,29 mg de malonaldeído/kg) de TBARs e diferentes ($P < 0,05$) dos demais músculos (Figura 11).

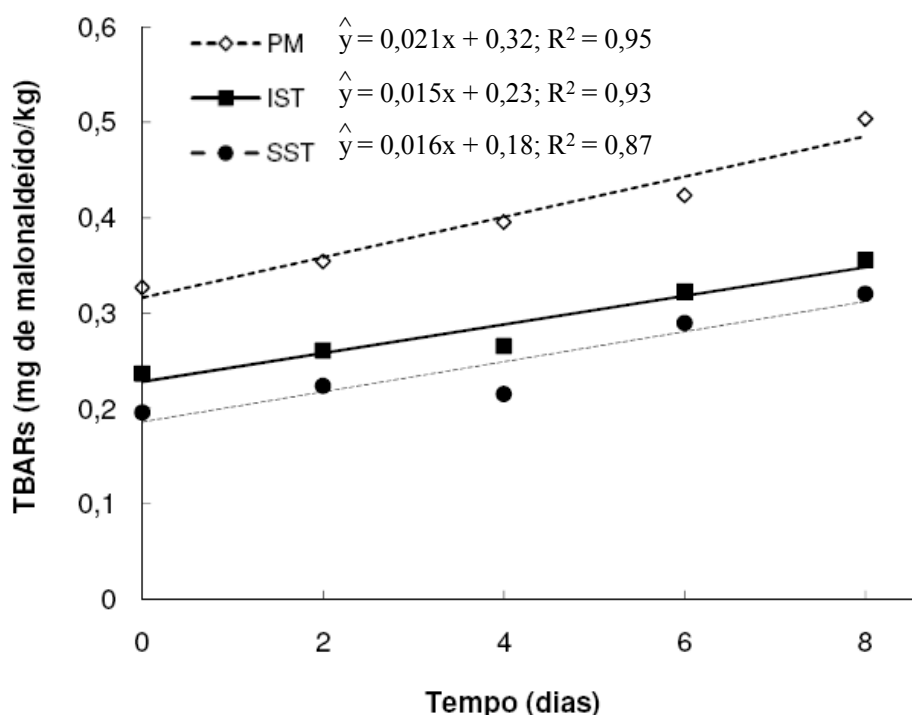


Figura 11 - Variação de TBARs (mg malonaldeído/kg) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

De acordo com os dados de pH (Figura 8), era de se esperar que o PM apresentasse os menores valores de TBARs, já que a oxidação lipídica é favorecida em pH mais baixo (YASOSKY et al., 1984). Porém, devido ao seu maior teor de mioglobina (HUNT e HEDRIC, 1977) e, portanto, maior teor de ferro, um agente catalisador de reações oxidativas (ARAÚJO, 2006; MOLLER e SKIBSTED, 2006), poder-se-ia pressupor uma maior oxidação no músculo PM. Há também que se considerar que o PM, por ser mais oxidativo, possui maiores reservas de gordura intramuscular (GEORGE e BHAKTHAN, 1961; SMIT, 1958) devido a sua

utilização como substrato no metabolismo aeróbio para obtenção de energia que o ST (HORNSTEIN et al., 1967). Adicionalmente, o PM apresenta maior proporção de fosfolípidios, fração da gordura altamente insaturada e, portanto, mais susceptível à oxidação que o músculo *Semitendinosus* (HORNSTEIN et al., 1967). Finalmente, vale lembrar que a diferença de pH entre músculos foi apenas da ordem de 0,1 unidades de pH, o que diminui a influência do pH na catalisação de reações de oxidação lipídica.

Durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) aumento nos valores de TBARs de todos os músculos estudados (Figura 11). Entretanto, todas as amostras testadas apresentaram índices de TBARs inferiores aos limiares de percepção de sabor estranho e rancidez oxidativa (1,0 mg malonaldeído/ kg), reportado por McKENNA et al.. (2005) para carne bovina. O maior valor de TBARs foi de 0,53 mg de malonaldeído/kg.

A taxa de oxidação lipídica muscular também pode atuar como um indicativo do grau de susceptibilidade à oxidação dos pigmentos cárneos, tendo em vista a estreita relação entre esses dois processos oxidativos (McKENNA et al., 2005; TROUT, 2003; DJENANE et al., 2001; O'GRADY e MONAHAN, 2001), que ficou confirmada (Tabela 4), neste experimento, através da boa relação entre MMb e TBARs ($P < 0,001$; $r = 0,678$).

Baseando-se no princípio de que a oxidação lipídica catalisa a oxidação dos pigmentos cárneos (O'GRADY e MONAHAN, 2001; LANARI et al., 1996), o músculo *Psoas major*, músculo de maior grau de oxidação lipídica, pode ter tido o acúmulo de MMb acelerado pela sua maior geração de radicais livres, que pode atuar na oxidação direta da Mb⁺ (LIU et al., 1995; GREENE, 1969).

4.8. Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)

A TCO de amostras de carnes embaladas em filmes incorporados com 0,9% de absorvedor de radiação UV não diferiu ($P > 0,05$) daquela de amostras de carne embaladas em filmes controle de polietileno. Uma vez que a TCO é um processo enzimático relacionado às mitocôndrias, a princípio, não é de se esperar que a diferença de espectro de luz possa induzir alterações nas atividades das enzimas oxidativas do Ciclo de Krebs. Isto só ocorreria caso houvesse um considerável efeito

da luz UV sobre os processos oxidativos, o que levaria à formação de radicais livres que poderia culminar na desnaturação de sistemas enzimáticos. Entretanto, conforme já discutido, os dados de TBARs não sofreram efeito da presença ou não do absorvedor de luz UV.

Para músculos *Longissimus* suínos classificados como PSE ou NORMAL, ZHU e BREWER (1998) também não evidenciaram efeito de exposição à luz (fluorescente ou no escuro) sobre a TCO. Entretanto, para músculos *Longissimus* classificados como DFD, estes autores verificaram menor manutenção de TCO quando armazenados no escuro.

Segundo autores citados por ZHU e BREWER (1998), a irradiação UV promove uma oxidação autocatalisada do pigmento de mioglobina. Uma vez que a oxidação do pigmento de Mb⁺ inibe a sua oxigenação (LIVINGSTON e BROWN, 1981), isto poderia afetar a TCO, aparentemente diminuindo-a, já que haveria menos oxigênio estocado para ser utilizado pelas enzimas do metabolismo aeróbico. Assim, era de se esperar uma menor TCO nas amostras embaladas em filmes sem incorporação de UV.

Entretanto, ao se analisar os dados apresentados por ZHU e BREWER (1998), pode-se supor que em músculos que apresentaram queda normal (NORMAL) ou excessiva (PSE) de pH *post-mortem*, o processo de oxidação do pigmento de Mb pelo pH já é suficiente para causar este efeito oxidativo, subjungando o efeito oxidante da luz. Tendo em vista que todas as amostras já apresentavam pH suficientemente baixo, e sem ser afetado pela presença, ou não, de absorvedor UV (Figura 4), para desestabilizar o pigmento de Mb⁺ (músculos de queda de pH NORMAL), oxidando-o, esta hipótese parece muito provável. Mais ainda, ao se analisar os dados iniciais de pH e de TCO, pode-se perceber que músculos de menor pH inicial, também apresentaram menor TCO inicial.

Como esperado, durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) decréscimo na TCO de todos os músculos estudados (Figura 12).

Uma redução na TCO durante o período de estocagem tem sido observada, em músculos bovinos, quando mantidos sob refrigeração (MCKENNA et al., 2005; MADHAVI e CARPENTER, 1993; O'KEEFFE e HOOD, 1982). Segundo DeVORE e SOLBERG (1974) a redução da taxa respiratória no músculo *post-mortem*, pode estar relacionada à redução dos níveis de substratos e/ou degradação de enzimas envolvidas no processo de respiração mitocondrial.

Diferenças nos valores de TCO ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 12). O PM apresentou ($P < 0,05$) o maior residual de consumo de oxigênio após 10 minutos (8,89%), seguido pelo IST (4,54%) e OST (2,05%) ($P < 0,05$), respectivamente. Em geral, o PM tende a ter uma elevada TCO inicial e residual (MCKENNA et al., 2005; RENERRE e LABAS, 1987; O'KEEFFE E HOOD, 1982).

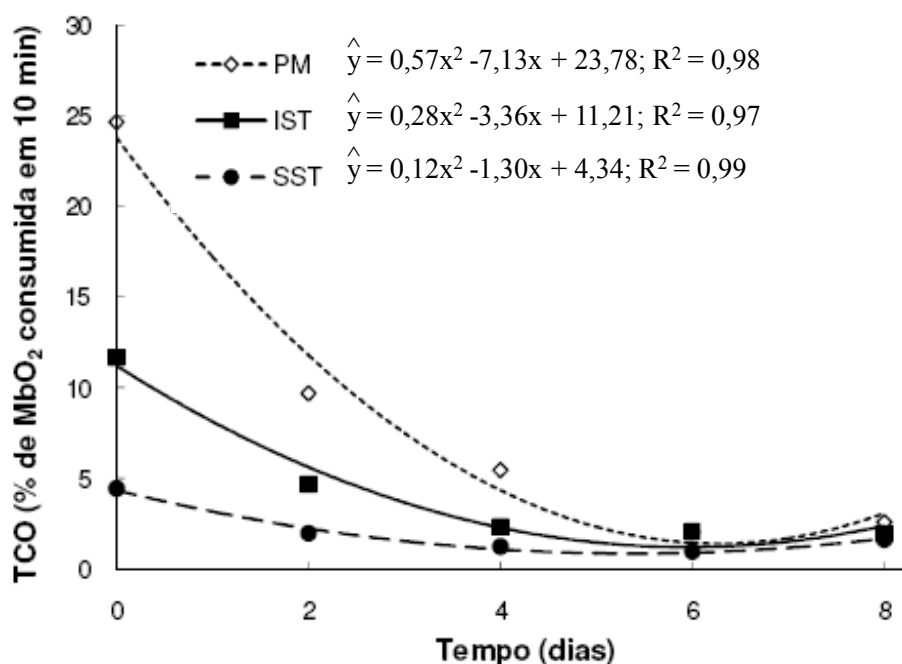


Figura 12 - Variação na Taxa de Consumo de Oxigênio do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

Diferenças musculares em relação à TCO podem ser justificadas pela variação no tipo de fibra muscular. Músculos de maior metabolismo oxidativo, onde há predominância de fibras vermelhas, apresentam maior TCO quando comparados àqueles de elevada atividade glicolítica (O'KEEFFE E HOOD, 1982).

A estreita relação entre TCO e tipo de fibra muscular foi proposta por RENERRE e LABAS (1987) ao constatarem que músculos com predominância de fibras vermelhas, como o *Diafragma medialis* e o *Psoas major*, apresentaram uma maior TCO quando comparado ao *Tensor fasciae latae*, com predominância de fibras brancas.

SEYFERT et al. (2007) e KIRCHOFER et al. (2002) propuseram que a maior TCO encontrada em músculos mais oxidativos, está relacionada a uma maior densidade mitocondrial destes.

Maior densidade mitocondrial implica um maior número de sistemas enzimáticos que atuam no processo metabólico oxidativo, que utilizam o oxigênio como aceptor final de elétrons para obtenção de energia. Portanto, músculos mais oxidativos tendem a apresentar um maior consumo mitocondrial de oxigênio *post-mortem*.

Dos músculos analisados nesse estudo, o PM apresenta a maior quantidade de fibras vermelhas, o IST levemente mais fibras brancas que vermelhas, e o OST predominantemente fibras brancas (HUNT e HEDRICK, 1977).

A TCO atua como um dos mais importantes parâmetros na determinação da estabilidade da cor em carnes, sendo, geralmente, músculos de TCO elevada caracterizados como de baixa estabilidade de cor (MCKENNA et al., 2005; O'KEEFFE E HOOD, 1982).

A TCO pode influenciar a estabilidade de cor por alterar a profundidade de penetração de oxigênio. Altas TCO diminuem a penetração de oxigênio no tecido muscular, favorecendo a formação do pigmento de deoximioglobina (Mb^+), próximo à superfície da carne, o qual é mais susceptível à oxidação que a oximioglobina. Assim, o maior consumo de oxigênio no tecido muscular é responsável por uma descoloração mais rápida da carne (RAMOS e GOMIDE, 2007; MANCINE e HUNT, 2005; MCKENNA et al., 2005; MADHAVI e CARPENTER, 1993; O'KEEFFE e HOOD, 1982), já que a ligação de oxigênio ao átomo de ferro promove a estabilização de pigmentos heme (LIVINGSTON e BROWN, 1981).

4.9. Atividade de Metamioglobina Redutase (MRA)

A MRA de amostras de carnes embaladas em filmes incorporados com 0,9% de absorvedor de radiação UV não diferiu ($P > 0,05$) daquela de amostras de carne embaladas em filmes controle de polietileno.

Variações na MRA podem ser decorrentes, dentre outros fatores, de modificações na TCO e na taxa de oxidação lipídica muscular (TBARS). Uma vez que não houve efeito da embalagem (com e sem absorvedor UV) sobre estes dois

parâmetros, era de se esperar que a MRA também não fosse afetada, tendo em vista a relação direta entre TCO e MRA (McKENNA et al., 2005; WATTS et al., 1966) e o efeito danoso causado pelos radicais livres, gerados durante a oxidação lipídica, sobre os sistemas enzimáticos redutores (LIU et al., 1995; GREENE 1969).

Durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) decréscimo na MRA de todos os músculos estudados (Figura 13).

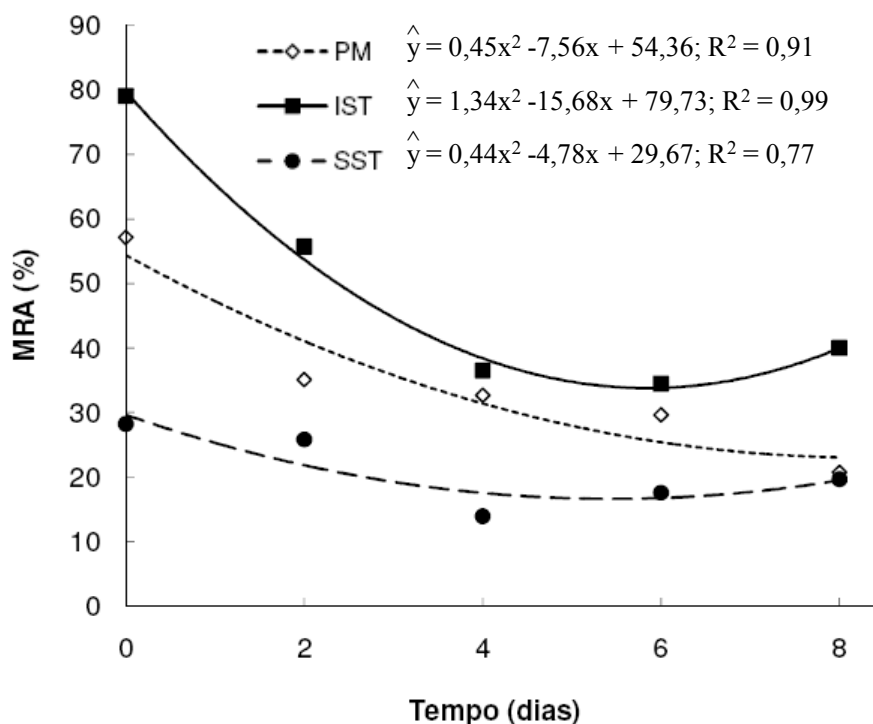


Figura 13 - Variação na Atividade de Metamioglobina Redutase do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

O inevitável decréscimo na MRA, durante o período *post-mortem*, vem sendo relatado por vários autores (SEYFERT et al., 2007; SEYFERT et al., 2006; McKENNA et al., 2005; SAMMEL et al., 2002; MADHAVI e CARPENTER, 1993).

Diferenças nos valores de MRA ficaram evidenciadas ($P < 0,05$) entre os músculos (Figura 13). A região superficial do músculo *Semitendinosus* apresentou os menores valores (21,09%) de MRA ($P < 0,05$), e a região interior do músculo *Semitendinosus* (IST) os maiores (49,14%) valores ($P < 0,05$). O músculo *Psoas*

major (PM) apresentou valores intermediários (35,06%) de MRA e diferentes ($P < 0,05$) dos demais músculos.

A principal enzima envolvida na redução de metamioglobina é a NADH-citocromo b_5 redutase, que é encontrada principalmente na superfície citosólica da mitocôndria e no retículo endoplasmático. A função desta enzima é transferir dois elétrons do NADH para duas moléculas de citocromo b_5 ou OM citocromo b (citocromo presente na membrana externa da mitocôndria). Uma vez reduzidos, o citocromo b_5 e/ou OM citocromo b transferem elétrons para uma variedade de aceptores, como a metamioglobina, reduzindo-os.

Sendo assim, os principais componentes requeridos para redução enzimática de MMb são as enzimas (NADH-citocromo b_5 redutase), os intermediários (citocromo b_5 e/ou OM citocromo b) e o co-fator NADH (BEKHIT e FAUSTMAN, 2005; ARIHARA et al., 1995).

Por se tratar de um sistema enzimático NADH dependente, SAMMEL et al. (2002) propuseram que músculos de altas TCO's, indicativo de maior atividade aeróbica, tenderiam a apresentar alta MRA devido à maior geração mitocondrial de NADH. Segundo esses autores, o NADH gerado pelo ciclo do ácido cítrico pode ser usado na fosforilação oxidativa ou na redução da MMb. Entretanto, ARIHARA et al. (1996) verificaram que inibição da via aeróbica (oxidativa) não afetou a redução da metamioglobina, enquanto que o bloqueio do metabolismo anaeróbico (glicolítico) reduziu a atividade redutora dos sistemas enzimáticos. Os autores propuseram que a via glicolítica pode atuar significativamente na redução enzimática da metamioglobina, por fornecer NADH citoplasmático para o sistema NADH-citocromo b_5 redutase no músculo.

WATTS et al. (1966) reportaram que a adição de succinato à carne acelera o consumo de oxigênio, favorecendo, indiretamente, a redução da metamioglobina por estabelecer condições anaeróbicas. Esses autores especularam que o NADH gerado durante o metabolismo aeróbico reage preferencialmente com o oxigênio, não estando, assim, disponível para ação dos sistemas enzimáticos redutores de metamioglobina.

Segundo CAMPBELL (2003), o metabolismo aeróbico faz uso mais eficiente de agentes redutores, como o NADH, enquanto que o NADH, produzido nas fases da glicólise, está disponível para outras reações nas quais um agente redutor é necessário.

Tendo em vista todas estas considerações, parece razoável supor que músculos mais oxidativos, com maior TCO, só poderiam apresentar uma MRA mais elevada após o consumo de todo o oxigênio estocado, quando passaria a produzir energia apenas pelo metabolismo glicolítico, onde o NADH gerado está mais disponível para ação das enzimas redutoras (CAMPBELL 2003; ARIHARA et al., 1996; WATTS et al., 1996).

Essa relação direta entre TCO e MRA fica evidenciada (Tabela 4) pela correlação ($P > 0,001$; $r = 0,579$) encontrada entre essas duas variáveis.

McKENNA et al. (2005) reportaram uma elevada MRA residual, codificada como NORA, para bifes inteiros do músculo *Semitendinosus* (ST), durante estocagem por 5 (cinco) dias sob refrigeração. Tais resultados são similares aos encontrados nesse experimento para a região interior do *Semitendinosus* (IST), que apresentou uma alta MRA.

A elevada MRA encontrada por McKENNA et al. (2005) para o ST pode ser devido ao fato destes autores provavelmente terem utilizado, nas suas análises, a sua porção mais interior (IST), o que se infere pelo fato de terem observado uma elevada TCO no ST, o que é característico de músculos mais oxidativos (RENERRE e LABAS, 1987; O'KEEFFE e HOOD, 1982), como é o caso do IST (HUNT e HEDRICK, 1977).

Entretanto, SEYFERT et al. (2006 e 2007), em desacordo com os resultados encontrados, reportaram uma elevada MRA na região superficial do músculo *Semitendinosus* (OST), caracterizado como de elevada atividade glicolítica (HUNT e HEDRICK, 1977). Porém, convém notar que, no trabalho desenvolvido por SEYFERT et al. (2007), foi observada uma alta TCO inicial para o OST, o que pode ter gerado uma condição anaeróbica suficiente para se estabelecer o metabolismo glicolítico no músculo, favorecendo, assim, a ação da MRA pela maior disponibilidade de NADH.

Baseado na relação direta entre TCO e MRA, o PM, músculo de maior TCO e de maior característica oxidativa dentre os músculos analisados (HUNT e HEDRICK, 1977), deveria apresentar a mais elevada MRA. Entretanto, o PM apresentou uma MRA intermediária e menor ($P < 0,05$) que o IST, porção muscular do ST com menor TCO que o PM (Figura 12).

Entretanto, apesar do baixo coeficiente de correlação (Tabela 4) encontrado entre a taxa de oxidação lipídica (TBARs) e a MRA ($P > 0,05$; $r = -0.179$), LIU et al.

(1995) e GREENE (1969) propuseram que espécies radicais produzidas durante a oxidação lipídica, podem atuar na degradação dos sistemas enzimáticos redutores. Assim, a menor MRA do PM em relação ao IST pode ser decorrência da sua maior taxa de oxidação lipídica (Figura 11).

A MRA pode contribuir para uma maior manutenção da cor em carnes por promover a redução do pigmento oxidado de metamioglobina de volta a sua forma reduzida (Mb^+) (BEKHIT e FAUSTMAN, 2005; MADHAVI e CARPENTER, 1993; O'KEEFFE e HOOD, 1982). Uma vez reduzido, o pigmento pode novamente se ligar ao oxigênio formando o pigmento do MbO_2 , de coloração vermelho brilhante, o qual é preferido pelos consumidores.

4.10. Potencial de óxido-redução (Eh)

O potencial de óxido-redução (Eh) de amostras de carnes embaladas em filmes incorporados com 0,9% de absorvedor de radiação UV não diferiu ($P > 0,05$) daquele de amostras de carne embaladas em filmes controle de polietileno.

O potencial de óxido-redução atua de forma representativa das condições de óxido-redução do meio e da quantidade de oxigênio presente. Assim, tendo em vista que nenhum dos indicadores previamente discutidos foi afetado pelo uso de absorvedor de luz UV, esta ausência de efeito do absorvedor UV sobre a Eh é coerente.

O potencial de óxido-redução de um substrato está relacionado à facilidade com que este perde ou ganha elétrons. Quanto mais intensamente uma substância se oxida mais positivo será seu potencial de óxido-redução, enquanto que, quanto mais intensamente uma substância é reduzida, mais negativo será seu potencial (JAY, 1994).

Durante o período de estocagem observou-se ($P < 0,05$) variações no Eh de todos os músculos estudados (Figura 13).

Durante os primeiros quatro dias de estocagem, todos os músculos apresentaram um aumento gradual no potencial de óxido-redução, que pode ser interpretado como um aumento na tendência à oxidação dos músculos com o passar do tempo. Tal pressuposição fica evidenciada pelo aumento nos níveis de oxidação dos pigmentos cárneos (Figura 5) com o decorrer do experimento.

Aumento no potencial de óxido-redução tem sido relatado (KARWOWSKA e DOLATOWSKI, 2007; NAM e AHN, 2003; JEREZ et al., 2003) durante a estocagem para carne bovina. Entretanto, alguns resultados contrários também têm sido encontrados na literatura, onde é verificado (MOISEEV e CORNFORTH, 1999; AHN e MAURER, 1989) redução no potencial de óxido-redução em carnes durante a estocagem. Esses autores atribuem tal comportamento a uma redução dos níveis de oxigênio dissolvido no músculo, pelo consumo tecidual de oxigênio *post-mortem*.

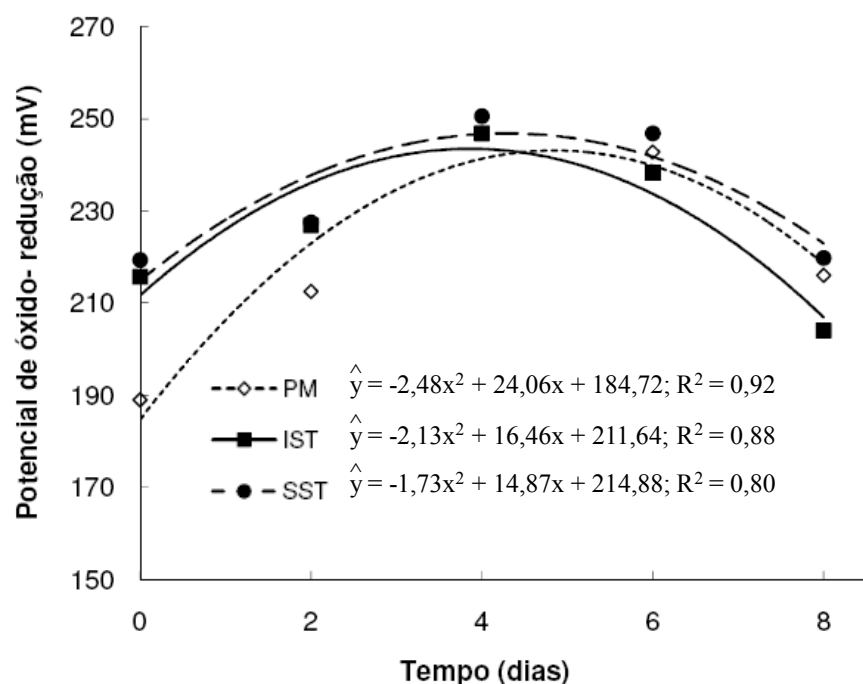


Figura 14 - Variação no Potencial de óxido-redução do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do *Semitendinosus* (ST), embalados em filmes de polietileno durante 8 dias de estocagem à 4 °C.

A partir do quarto dia de estocagem nota-se uma redução nos valores do potencial de óxido-redução (Figura 14), subentendendo-se um aumento na capacidade redutora do meio.

A redução nos valores do potencial de óxido-redução pode ser decorrência do desenvolvimento microbiano. Conforme crescem, os microorganismos aeróbicos utilizam o oxigênio do meio, reduzindo-o, além de produzirem componentes redutores (REICHART et al., 2007; JAY, 1994; BUTLER et al., 1953).

Porém, o aumento da capacidade redutora no meio, não é suficiente para reduzir os processos oxidativos, uma vez que, estes continuam ocorrendo durante

todo o período de estocagem. Tal fato fica caracterizado pelos baixos coeficientes de correlação (Tabela 4) entre Eh e MMb ($P > 0,05$; $r = 0,187$) e Eh e TBARs ($P > 0,05$; $r = 0,078$).

De acordo com BUTLER et al. (1953) e SATTERLLE e HANSMEYER (1974) um aumento substancial no número de microrganismos na superfície da carne leva a uma redução no potencial de óxido-redução, que é refletida na redução do pigmento de MMb de volta à sua forma reduzida (Mb^+). Entretanto, SATTERLLE e HANSMEYER (1974) verificaram que, mesmo em condições de baixo Eh, provocado pelo desenvolvimento de microrganismos, o pigmento de MMb não é reduzido à Mb^+ , quando as amostras de carne são estocadas sob iluminação fluorescente. Esses autores concluíram que os baixos comprimentos de onda emitidos pela iluminação fluorescente poderão oxidar os pigmentos de Mb^+ tão rápido quanto estes são formados.

Nesse sentido, o aumento gradual nos percentuais de MMb, para todos os músculos, mesmo em condições de baixos Eh, pode ser decorrente da maior influência dos processos foto-oxidativos, provocados pelas lâmpadas fluorescentes, sobre as reações de redução.

Não houve diferença ($P > 0,05$) no potencial de óxido-redução entre os músculos analisados (Figura 14), que, em média, foi de 226,82 mV. Assim, a análise do potencial de óxido-redução parece não atuar como um bom indicador da variabilidade muscular.

Tal fato pode residir na metodologia empregada, na qual a incorporação de oxigênio no meio, provocado pela homogeneização das amostras antes da leitura, pode ter contribuído para alterar as características peculiares a cada músculo, uma vez que o oxigênio afeta diretamente a determinação do Eh.

4.11. Efeito da MRA e TCO sobre a estabilidade da cor em carnes

Variações na estabilidade de cor (acúmulo de MMb) entre músculos podem ser atribuídas às suas diferentes propriedades intrínsecas, como a taxa de consumo de oxigênio (TCO) e a presença de sistemas enzimáticos redutores (MRA) (MADHAVI e CARPENTER, 1993).

Os resultados obtidos mostram as seguintes características: o PM obteve a maior TCO e uma MRA intermediária; o IST apresentou valores intermediários de TCO e a maior MRA; o OST apresentou os menores valores de TCO e MRA. Assim, uma análise rápida sugeriria que o IST deva ser o corte muscular de maior estabilidade, sendo difícil ordenar os outros dois (OST e PM).

Analisando-se, em separado, a taxa de consumo de oxigênio (TCO) no músculo *post-mortem* (Figura 12), e tomando-se por base o efeito negativo provocado por altas TCO's sobre a cor de carnes (McKENNA, et al., 2005; MADHAVI e CARPENTER, 1993; O'KEEFFE e HOOD, 1982), uma classificação, em ordem decrescente de estabilidade de cor poderia ser imaginada como: OST > IST > PM.

Por outro lado, a análise isolada do efeito da MRA (Figura 13), sistema enzimático que em maior atividade contribui para maior manutenção da cor (MADHAVI e CARPENTER, 1993), levaria à pressuposição de maior estabilidade de cor para o IST, intermediária para o PM, e menor estabilidade de cor para o OST.

Entretanto, a Tabela 3 sugere que as regiões superficial (OST) e interior (IST) do músculo *Semitendinosus* não diferem entre si ($P > 0,05$) e fornecem carnes de maior estabilidade ($P < 0,05$) de cor (mais tempo para formação de níveis indesejáveis de MMb) que o músculo *Psoas major* (PM). Isto parece indicar que nenhuma propriedade é, isoladamente, adequada para se definir a estabilidade de cor de carnes, o que encontra ressonância nas afirmações de McKENNA et al. (2005). Segundo estes autores, a estabilidade da cor na carne bovina não é determinada isoladamente pela TCO ou MRA, mas sim pela proporção dessas duas propriedades presentes no músculo *post-mortem*. Esta conclusão fica reforçada pelas correlações (Tabela 5) entre MRA e TCO com a MMb para cada um dos músculos analisados, as quais indicam que cada músculo apresenta importância diferente de cada um destes parâmetros para a estabilidade de cor (formação de MMb) e que, até certo ponto, não estão, necessariamente, relacionados ao metabolismo energético dos músculos. Isto fica evidente pelo fato de que, nos dois músculos classificados como oxidativos (PM e IST), os parâmetros de maior correlação com o teor de MMb são invertidos: TCO se correlaciona mais com MMb no PM, enquanto que no IST o teor de MMb está mais sujeito à MRA.

Nesse sentido, o IST, que pela TCO seria classificado como de estabilidade de cor intermediária, pode ter tido compensado o estresse oxidativo imposto pela TCO,

com a elevada MRA, levando-o a apresentar uma estabilidade de cor semelhante ($P > 0,05$) ao OST, músculo de baixa TCO e de menor MRA.

Tal fato fica evidenciado (Tabela 5) pelo maior coeficiente de correlação da MRA, que da TCO, com a MMb, pigmento indicador da estabilidade da cor.

Por outro lado, no OST, apesar do maior coeficiente de correlação da TCO, que da MRA, com a MMb (Tabela 5), a reduzida TCO deste (Figura 12) pode ser responsável pela sua alta estabilidade de cor.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades bioquímicas de MRA e TCO com o percentual de MMb nos músculos *Semitendinosus* (OST e IST) e *Psoas major*.

| | PM | IST | OST |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| MRA | -0.781*** | -0.746*** | -0.466** |
| TCO | -0.893*** | -0.622*** | -0.584*** |

MRA: Atividade de metamioglobina redutase; TCO: Taxa de consumo de oxigênio; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

De uma forma geral, o acúmulo de metamioglobina na carne estocada é resultado do balanço de forças oxidativas e redutoras. Nesse sentido músculos em que os fatores que induzem a oxidação do pigmento, como uma alta TCO, é mais pronunciado que a capacidade redutora (MRA), como no PM, o acúmulo de MMb se dá mais rapidamente. Por outro lado, músculos em que a ação redutora (MRA) parece ser suficiente para compensar o estresse oxidativo imposto pela TCO, como no IST, ou, quando os processos oxidativos são baixos, como no OST, o acúmulo de metamioglobina é retardado, tendo a carne uma maior estabilidade de cor.

5. CONCLUSÕES

A incorporação do absorvedor UV à resina de polietileno de baixa densidade (PEBD) produziu redução na transmissão de radiação UV ($300 < \lambda < 400$ nm) de 61% para 12%, sem alterar ($P > 0,05$) a permeabilidade ao oxigênio e as propriedades mecânicas dos filmes. No entanto, isto não foi suficiente para alterar a estabilidade de cor (teor de MMb) dos cortes musculares ou afetar as propriedades (MRA, TCO, pH, Eh e TBARs) indicadoras desta estabilidade.

Os resultados sugerem que o filme desenvolvido pela incorporação de absorvedor UV à resina (matriz) de polietileno, apesar do relativo bloqueio de radiação UV, não foi efetivo para prolongar a vida de prateleira da carne, por, provavelmente, não eliminar por completo a transmissão da radiação UV emitida pela lâmpada fluorescente. Outra possível explicação para isto é que a intensidade de radiação UV emitida pelo iluminante foi muito pequena, não sendo suficiente para promover alterações físico-químicas na carne, pelo que a incorporação de absorvedor UV ao filme de polietileno não trouxe melhorias reais.

Dos músculos analisados, o *Psoas major* apresentou ($P < 0,05$) a menor estabilidade de cor (maior teor de MMb) e maior TBARs, enquanto que as regiões superior e interior do *Semitendinosus* foram os músculos mais estáveis e com menores valores de TBARs.

Os resultados sugerem que o acúmulo de metamioglobina na carne estocada é resultado do balanço de forças oxidativas e redutoras, e que nenhum dos principais indicadores da estabilidade de cor é, por si só, adequado para todo tipo de músculo. Assim, parece razoável concluir que para músculos em que os fatores que induzem à oxidação dos pigmentos cárneos, como elevadas TCO e taxa de oxidação lipídica

(TBARs), são muito superiores à capacidade redutora (MRA), como no PM, o acúmulo de metamioglobina é muito rápido, tendo o músculo uma baixa estabilidade de cor. Por outro lado, músculos em que a ação redutora (MRA) parece ser suficiente para compensar o estresse oxidativo imposto pela TCO e TBARs, como no IST, ou, quando os processos oxidativos são baixos, como no OST, o acúmulo de metamioglobina é retardado, tendo a carne uma maior estabilidade de cor.

6. RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Com base nos resultados apresentados, faz-se a recomendação dos seguintes itens para estudos futuros:

1. Avaliar as diferenças histoquímicas dos diversos músculos estudados, caracterizando, principalmente, o teor residual de NAD⁺ / NADH;
2. Avaliar o teor e perfil de gordura dos músculos estudados;
3. Avaliar o desenvolvimento de microrganismos nas superfícies dos cortes de carnes em estudo;
4. Avaliar o efeito de diferentes tipos de atmosferas sobre os processos oxidativos de carnes e desenvolvimento de microrganismos;
5. Determinar o teor e composição dos lipídeos dos diferentes cortes de carne em estudo;
6. Avaliar o efeito de lâmpadas com diferentes emissões de radiação UV;
7. Avaliar o uso de absorvedores de radiação UV em embalagens de produtos cárneos curados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, D. U.; MAURER, A. J. Effects of added pigments, salt, and phosphate on color, extractable pigment, total pigment, and oxidation–reduction in turkey breast meat, **Poultry Science**, v.68, p.1088–1099, 1989

ANDERSEN, H. J.; BERTELSEN, G.; SKIBSTED, L. H. Colour stability of minced beef. Ultraviolet barrier in packaging material reduces light-induced discoloration of frozen products during display. **Meat Science**, v.25, p.155-159, 1989.

ANDERSEN, H. J.; SKIBSTED, L. H. Oxidative stability of frozen Pork Patties. Effect of light and added salt. **Journal of Food Science**, v.56(5), p.1182-1184, 1991.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: Teoria e Prática**. 3. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2006. p.478.

ARIHARA, K.; ITOH, M.; KONDO, Y. Contribution of the glycolytic pathway to enzymatic metmyoglobin reduction in miocytes. **Biochemistry and Molecular Biology International**, v.38(2), p.325-331, 1996.

ARIHARA, K.; CASSENS, R. G.; GREASER, M. L.; LUCHANSKY, J. B.; MOZDZIAK, P. E. Localization of metmyoglobin-reducing enzyme (NADH-cytochrome b₅ reductase) system components in bovine skeletal muscle. **Meat Science**, v.39, p.205-213, 1995.

BALA, K.; MARSHALL, R. T.; STRINGER, W. C.; NAUMANN, H. D. Effect of *Pseudomonas fragi* on the color of beef. **Journal of Food Science**, v.42(5), p. 1176-1179, 1977.

BALA, K.; NAUMANN, H. D. Effect of light on the color stability of sterile aqueous beef extract. **Journal of Food Science**, v.42(2), p.563-564, 1977.

BARACAT, R. S. **Avaliação do processo por embalagem do tipo atmosfera modificada na conservação de carne bovina porcionada**. Tese de Doutorado – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos de São Paulo – FZEA/USP, Pirassununga, 2006.

BARBUT, S. Effect of retail lights on acceptability of salami. **Meat Science**, v.66, p.219-223, 2003.

BARROS, B. C.; PATRÍCIO, F. R. A.; LOPES, M. E. B. M.; FREITAS, S. S.; SINIGAGLIA, C.; MALAVOLTA, V. M. A.; NETO, J. T.; GHINI, R. Soil solarization with plastic films with and without UV light stabilizers. **Hortic. Bras.**, v.22(2), p.253-259, 2004.

BEECHER, G. R.; BRISKEY, E. J.; HOEKSTRA, W. G. A comparison of glycolysis and associated changes in light and dark portions of the porcine Semitendinosus. **Journal of Food Science**, v.30(3), p.477-485, 1965.

BEECHER, G. R.; CASSENS, R. G.; HOEKSTRA, W. G.; BRISKEY, E. J. Red and White Fiber Content and Associated Post-Mortem Properties of Seven Porcine Muscles. **Journal of Food Science**, v.42(2), p.513-517, 1977.

BEGGAN, M.; ALLEN, P.; BUTLER, F. Shelf-life of retail beef muscles following storage in low oxygen environment. **Journal of Muscle Foods**, v.15, p.269-285, 2004.

BEGGAN, M.; ALLEN, P.; BUTLER, F. The use of micro-perforated lidding film in low-oxygen storage of beef steaks. **Journal of Muscle Foods**, v.16, p.103-116, 2005.

BEGGAN, M.; ALLEN, P.; BUTLER, F. Oxygen scavenger effect on the development of metmyoglobin on beefsteaks during early low-oxygen storage. **Journal of Muscle Foods**, v.17, p.381-397, 2006.

BEKHIT, A. E. D.; FAUSTMAN, C. Metmyoglobin reducing activity. **Meat Science**, v.71, p.407-439, 2005.

BENDALL, J. R.; TAYLOR, A. A. Consumption of oxygen by the muscles of beef animals and related species. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.23, p.707-719, 1972.

BERTELSEN, G.; SKIBSTED, L.H. Photooxidation of oxymyoglobin. Wavelength dependence of quantum yields in relation to light discoloration of meat. **Meat Science**, v.19, p. 243-251, 1987.

BREWER, M. S.; WU, S. Y. Display, packaging, and meat block location effects on color and lipid oxidation of frozen lean ground beef. **Journal of Food Science**, v.58(6), p.1219-1223, 1993.

BROWN, W. E. **Plastic in food packaging: properties, design, and fabrication**. New York: Marcel Dekker, 1992.

BUTLER, O. D.; BRATZLER, L. J.; MALLMANN, W. L. The effect of bacteria on the color of prepackaged retail beef cuts. **Food Technology**, v.7(10), p.397-400, 1953.

- CAMPBELL, M. K. **Bioquímica**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed editora, 2003. 752p.
- CAVICCHIOLI, A.; GUTZ, I. G. R. O uso de radiação ultravioleta para o pré-tratamento de amostras em análise inorgânica. **Química Nova**, v.26(6), p.913-921, 2003.
- CHAN, M. K. W.; JOO, S.; FAUSTMAN, C.; SUN, Q.; VIETH, R. Effect of *Pseudomonas fluorescens* on beef discoloration and oxymyoglobin oxidation in vitro. **Journal of Food Protection**, v.61(10), p.1341-1346, 1998.
- CLAUS, J.; MOHANAN, S.; RUSSELL, R. Biochemical and physical properties associated with meat color of beef muscles targeted for future market penetration. In: **51º International Congress of Meat Science and Technology**, p.389-395, 2005.
- COLTRO, L.; BURATIN, A. E. P. PET bottles for edible oil packaging: evaluation of the light barrier. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.14(3), p.206-211, 2004.
- DeVORE, D.P.; SOLBERG, M. Oxygen uptake in post-rigor muscle. **Journal of Food Science**, v.39, p.22-28, 1974.
- DJENANE, D.; SANCHEZ-ESCALANTE, A.; BELTRAN, J. A.; RONCALES, P. Extension of the retail display life of fresh beef packaged in modified atmosphere by varying lighting conditions. **Journal of Food Science**. v.66, p.181-186, 2001.
- ECHEVARNE, C.; RENERRE, M.; LABAS, R. Metmyoglobin reductase activity in bovine muscles. **Meat Science**, v.27, p. 161-172, 1990.
- FAUSTMAN, C.; CASSENS, R. G.; SCHAEFER, D. M.; BUEGE, D. R.; WILLIAMS, S. N.; SCHELLER, K.K. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementation with vitamin E. **Journal of Food Science**. v.54(4), p.858-862, 1989.
- FAUSTMAN, C.; CASSENS, R. G. Influence of aerobic metmyoglobin reducing capacity on color stability of beef. **Journal of Food Science**. v.55, p.1278-1283, 1990.
- FOX JR., J. B. Los Pigmentos de la Carne. In: PRICE, J.F e SCHWEIGERT, B.S. **Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos**. 2ª Ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1994.
- GEORGE, J. C.; BHAKTHAN, N. M. G. Lipase activity in slow- and fast – contracting leg muscles of the cockroach. **Nature**, v.28, p.356, 1961.
- GILL, C. O.; HOLLEY, R. A. Mecanismos de mudanças de cor em carnes frescas e processadas. In: **III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Carnes**, São Pedro- SP, 2005.

GOMES, H. A.; SILVA, E. N.; NASCIMENTO, M. R. L.; FUKUMA, H. T. Evaluation of the 2-thiobarbituric acid method for the measurement of lipid oxidation in mechanically deboned gamma irradiated chicken meat. **Food Chem.**, v.80(3), p.433-437, 2003.

GREENE, B. E.; HSIN, I. M.; ZIPSER, M.W. Retardation of oxidative color changes in raw ground beef. **Journal of Food Science**, v.36, p.940-942, 1971.

GREENE, B. E. Lipid oxidation and pigment changes in raw beef. **Journal of Food Science**, v.34, p.110-113, 1969.

HOOD, D.E. Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packaged beef. **Meat Science** 4 (4): 247-265, 1980.

HOOD, D. E.; RIORDAN, E. B. Discoloration in pre-packaged beef: Measurement by reflectance spectrophotometry and shopper discrimination. **Journal of Food Technology**, v.8, p.333-343, 1973.

HORNSTEIN, I. CROWE, P. F; HINER, R. Composition of lipids in some beef muscles. **Journal of Food Science**, v.32, p.650-655, 1967.

HUNT, M. C.; HEDRICK, H. B. Profile of fiber types and related properties of five bovine muscles. **Journal of Food Science**, 42 (2), p.513-517, 1977.

KRAFT, A. A.; AYRES, J.C. Effect of display case lighting on color and bacterial growth on packaged fresh beef. **Food Technology**, v.14, p.290-295, 1954.

KARWOWSKA, M.; DOLATOWSKI, Z. J. The effect of natural antioxidants on the oxidative processes in beef. **Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.**, 6(1), p. 17-25, 2007.

KIRCHOFER, K. S.; CALKINS, C. R.; GWARTNEY, B. L. Fiber-type composition of muscles of the beef chuck and round. **Journal of Animal Science**, v.80, p.2872-2878, 2002.

JAY, J. M. **Microbiologia Moderna de los Alimentos**. 3ª edição, Editorial Acribia, S.A. Zaragoza/Espanha, 1994.

JEREZ, N. C.; CALKINS, C. R.; VELAZCO, J. Prerigor injection using glycolytic inhibitors in low-quality beef muscles. **Journal of Animal Science**, v.81, p.997-1003, 2003.

LANARI, M. C.; SCHAEFER, D. M.; LIU, Q.; CASSENS, R. G. Kinetics of pigment oxidation in beef from steers supplemented with vitamin E. **Journal of Food Science**, v.61(5), p.884-889, 1996.

LAWRIE, R. A. **Lawrie's Meat Science**. Woodhead Publishing Limited. Cambridge. 1998. 336 p.

LEDWARD, D. A. Metmyoglobin formation in beef muscles as influenced by water content and anatomical location. **Journal of Food Science**, v.36, p.138-140, 1971.

LEDWARD, D. A. Post-slaughter influences on the formation metmyoglobin in beef muscles. **Meat Science**, v.15, p.149-171, 1985.

LINDAHL, G.; LUNDSTROM, K.; TORNERG, E. Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. **Meat Science**, v.59, p.141-151, 2001.

LIVINGSTON, D. J.; BROWN, W. D. The chemistry of myoglobin and its reaction. **Food Technology**, v.35(5), p.244-252, 1981.

LIU, Q.; LANARI, C.; SCHAEFER, D.M. A review of dietary vitamin e supplementation for improvement of beef quality. **Journal of Animal Science**. v.73, p.3131-3140, 1995.

MADHAVI, D. L.; CARPENTER, C. E. aging and processing affect color, metmyoglobin reductase and oxygen consumption of beef muscles. **Journal of Food Science**, v.58(5), p.939-947, 1993.

MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, v.71, p. 100-121, 2005.

MARTÍNEZ, L.; CILLA, I.; BELTRÁN, J. A.; RONCÁLES, P. Effect of illumination on the display life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere. Influence of the addition of rosemary, ascorbic acid and black pepper. **Meat Science**, v.75(3), p.443-450, 2007.

McKENNA, D. R.; MIES, P. D.; BAIRD, B. E.; PFEIFFER, K. D.; ELLEBRACHT, J. W.; SAVELL, J. W. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. **Meat Science**, v.70, p.665-682, 2005.

MERCIER, Y.; GATELLIER, P.; VIAU, M.; REMIGNON, H.; RENERRE, M. Effect of Dietary fat and vitamin E on colour stability and on lipid and protein oxidation in turkey meat during storage. **Meat Science**, v.48, p.301-318, 1998.

MOISEEV, I. V.; CORNFORTH, D. P. Treatments for prevention of persistent pinking in dark-cutting beef patties. **Journal of Food Science**, v.64(4), p.738-743, 1999.

MOLLER, J. K. S.; SKIBSTED, L. H. Myoglobins – The link between discoloration and lipid oxidation in muscle and meat. **Química Nova**, v.29(6), p.1270-1278, 2006.

NAM, K. C.; AHN, D. U. Effects of ascorbic acid and antioxidants on the color of irradiated ground beef. **Journal of Food Science**, v.68(5), p.1686-1690, 2003.

NAVEENA, B. M.; MUTHUKUMAR, M.; SEN, A. R.; BABJI, Y.; MURTHY, T.R.K. Improvement of shelf-life of buffalo meat using lactic acid, clove oil and vitamin C during retail display. **Meat Science**, v.74, p.409-415, 2006.

O'GRADY, M. N.; MONAHAN, F. J; MOONEY, M. T. Oxymyoglobin oxidation and lipid oxidation in bovine muscle – Mechanistic Studies. **Journal of Food Science**, v.66(3), p.386-392, 2001.

O'KEEFFE; HOOD, D. E. Anoxic storage of fresh beef: nitrogen and carbon dioxide storage atmospheres. **Meat Science**, v.5, p.27-39, 1981.

O'KEEFFE; HOOD, D. E. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation on beef from muscles of differing colour stability. **Meat Science**, v.7, p.209-228, 1982.

PASCALL, M. A.; HARTE, B. R.; GIACIN, J. R.; GRAY, J. I. Decreasing lipid oxidation in soybean oil by a UV absorber in the packaging material. **Journal of Food Science**, v.60(5), p.1116-1119, 1995.

RABINAL, P. R. Antioxidantes naturales para extender la vida útil de la carne. **Diário de la Seguridad Alimentaria**, 2003. Disponível em: <www.consumaseguridad.com>. Acesso em: 25 maio 2007.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e Metodologias**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2007. 599p.

REDDY, M. I.; CARPENTER, E. C. Determination of metmyoglobin reductase activity in bovine skeletal muscles. **Journal of Food Science**, v.56, p.1161-1164, 1991.

REICHART, O.; SZAKMAR, K.; JOZWIAK, A.; FELFOLDI, J.; BARANYAI, L. Redox potential measurement as a rapid method for microbiological testing and its validation for coliform determination. **International Journal of Food Microbiology**, v.114, p.143-148, 2007.

RENERRE, M. Review: Factors involved in the discoloration of beef meat. **International Journal of Food Science and Technology**, v.25, p.613-630, 1990.

RENERRE, M.; LABAS, R. Biochemicals factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. **Meat Science**, v.19, p.151-165, 1987.

SAMMEL, L.M.; HUNT, M.C.; KROPF, D.H.; HACHMEISTER, K.A.; JOHNSON, D.E. Comparison of Assays for Metmyoglobin Reducing Ability in Beef Inside and Outside Semimembranosus. **Journal of Food Science**, v.67(3), p.978-984, 2002.

SATTERLEE, L. D.; HANSMEYER, W. The role of light and surface bacteria in the color stability of prepackaged beef. **Journal of Food Science**, v.39, p.305-308, 1974.

SEYFERT, M.; MANCINI, R. A.; HUNT, M. C.; TANG, J.; FAUSTMAN, C.; GARCIA, M. Color stability, reducing activity, and cytochrome c oxidase activity of five bovine muscles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.8919-25, 2006.

SEYFERT, M.; MANCINI, R. A.; HUNT, M. C.; TANG, J.; FAUSTMAN, C. Influence of carbon monoxide in packaged atmospheres containing oxygen on colour, reducing activity, and oxygen consumption of five bovine muscles. **Meat Science**, v.75, p.432-442, 2007.

SMIT, W. A. Muscle fibres of the fast and the slow contracting muscles of the mesothoracic leg of the American cockroach (*Periplaneta Americana* L.). **Nature**, v.181, p.1073-1074, 1958.

SOLBERG, M.; FRANKE, W.C. Photo sensitivity of fresh meat color in the visible spectrum. **Journal of Food Science**, v.36, p. 990-993, 1971.

SWATLAND, H. J. Progress in understanding the paleness of meat with a low pH. **Journal of Animal Science**. v.34(2), p.1-7, 2004.

TROUT, R. G. Biochemistry of lipid and myoglobin oxidation in postmortem muscle and processed meat products – effects on rancidity (2003). **Brazilian Journal of Animal Science, Special Issue (49th ICoMST)**, p. 50-55, 2003.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. **Meat and Meat Products**. New York: Chapman & Hall, 1995.

WARRISS, P. D.; BROWN, S. N. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. **Meat Science**, v.20, p.65-74, 1987.

WATTS, B. M.; KENDRICK, J.; ZIPSER, M. W.; HUTCHINS, B.; SALEH, B. Enzymatic reducing pathways in meat. **Journal of Food Science**, v.31(6), p.855-862, 1966.

WOLD, J. P. Understanding and measuring photooxidation in dairy products by fluorescence spectroscopy. **SpectroscopyEurope**, v.18(5), p.8-13, 2006.

YASOSKY, J. J.; ABERLE, E. D.; PENG, I. C.; MILLS, E. W.; JUDGE, M. D. Effects of pH and time of grinding on lipid oxidation of fresh ground pork. **Journal of Food Science**, v.49, p.1510, 1984.

ZACHARIAH, N. Y.; SATTERLEE, L. D. Effect of light, pH and buffer strength on the autoxidation of porcine, ovine and bovine myoglobins at freezing temperatures. **Journal of Food Science**, v.38, p.418-420, 1973.

ZHU, L. G.; BREWER, M. S. Discoloration of Fresh Pork as Related to Muscle and Display Conditions. **Journal of Food Science**. 63(5), p.763-767, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A
(Resumo das análises de regressão)

APÊNDICE A - 1

TABELA 06 – Resumo da análise de regressão para os valores de pH no músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_{11}x^2$ | | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ | b ₁₁ |
| PM | 0,18 ^{ns} | 0,99 | 20,32* | 5,6818452 | -0,01138* | 0,00239* |
| IST | 2,15 ^{ns} | 0,77 | 11,58* | 5,6413250 | 0,0076548* | - |
| OST | 2,48 ^{ns} | 0,76 | 20,99* | 5,5582777 | 0,0079402* | - |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 2

TABELA 07 - Resumo da análise de regressão para os valores de TBARs (mg malonaldeído/kg) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x$ | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ |
| PM | 1,11 ^{ns} | 0,95 | 28,39* | 0,31609066 | 0,02118187* |
| IST | 0,85 ^{ns} | 0,93 | 29,04* | 0,22825833 | 0,01502041* |
| OST | 1,84 ^{ns} | 0,87 | 41,91* | 0,18595416 | 0,01577875* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 3

TABELA 08 – Resumo da análise de regressão para o potencial de óxido-redução (mV) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (OST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_{11}x^2$ | | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ | b ₁₁ |
| PM | 1,76 ^{ns} | 0,92 | 12,87* | 184,72142 | 24,05773* | -2,48065* |
| IST | 1,45 ^{ns} | 0,88 | 10,51* | 211,64047 | 16,46369* | -2,13244* |
| OST | 1,77 ^{ns} | 0,80 | 16,86* | 214,88095 | 14,87321* | -1,73363* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 4

TABELA 09 – Resumo da análise de regressão para a Taxa de Consumo de Oxigênio (%) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_{11}x^2$ | | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ | b ₁₁ |
| PM | 6,25* | 0,98 | 262,39* | 23,778634 | -7,12918* | 0,567856* |
| IST | 1,85 ^{ns} | 0,97 | 48,55* | 11,211974 | -3,35983* | 0,282086* |
| OST | 0,09 ^{ns} | 0,99 | 19,58* | 4,3438485 | -1,29340* | 0,120271* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 5

TABELA 10 – Resumo da análise de regressão para a Atividade de Metamioglobina Redutase (MRA) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante r 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_{11}x^2$ | | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ | b ₁₁ |
| PM | 2,03 ^{ns} | 0,91 | 17,49* | 54,364250 | -7,56485* | 0,45671 ^{ns} |
| IST | 0,25 ^{ns} | 0,99 | 24,75* | 79,726308 | -15,6839* | 1,339776* |
| OST | 0,94 ^{ns} | 0,77 | 5,76* | 29,67330 | -4,78021* | 0,439120* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 6

TABELA 11 – Resumo da análise de regressão para os percentuais de Metamioglobina (MMb) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x$ | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ |
| PM | 3,91* | 0,90 | 95,07* | 18,791818 | 8,987586* |
| IST | 0,39 ^{ns} | 0,99 | 68,83* | 1,6595233 | 8,1440787* |
| OST | 0,34 ^{ns} | 0,98 | 157,64* | 6,6847405 | 6,2124710* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 7

TABELA 12 – Resumo da análise de regressão para os percentuais de Oximioglobina (MbO₂) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x$ | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ |
| PM | 0,57 ^{ns} | 0,98 | 70,42* | 69,248858 | -7,893466* |
| IST | 4,36* | 0,91 | 91,91* | 86,082126 | -8,660058* |
| OST | 4,99* | 0,82 | 46,61* | 84,959842 | -6,281849* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 8

TABELA 13 - Resumo da análise de regressão para Luminosidade (L*) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x$ | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------|----------------|------------------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ |
| PM | 1,02 ^{ns} | 0,00006 | 0,01 ^{ns} | 42,615916 | 0,012805 ^{ns} |
| IST | 1,92 ^{ns} | 0,57 | 2,81 ^{ns} | 46,515527 | 0,248319 ^{ns} |
| OST | 1,79 ^{ns} | 0,72 | 10,14* | 52,188902 | 0,333666* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A – 9

TABELA 14 - Resumo da análise de regressão do índice de vermelho (a*) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x$ | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ |
| PM | 4,25* | 0,93 | 87,98* | 21,853416 | -1,454576* |
| IST | 1,58 ^{ns} | 0,98 | 159,92* | 26,154069 | -1,726451* |
| OST | 1,07 ^{ns} | 0,96 | 101,77* | 21,261444 | -1,015597* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE A - 10

TABELA 15 - Resumo da análise de regressão do índice de amarelo (b*) do músculo *Psoas major* (PM) e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* (ST) embalados em filmes de polietileno e estocados durante 8 dias sob refrigeração à 4 °C.

| Músculos | Faj ¹ | R ² | Modelo $\hat{y} = b_0 + b_1x$ | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | | | Modelo ¹ | b ₀ | b ₁ |
| PM | 0,92 ^{ns} | 0,90 | 10,91* | 14,714083 | -0,356222* |
| IST | 0,70 ^{ns} | 0,97 | 36,30* | 18,732291 | -0,644604* |
| OST | 1,84 ^{ns} | 0,69 | 16,83* | 16,652805 | -0,248972* |

¹ F-valor; * (P < 0,05); ^{ns} não significativo.

APÊNDICE B
(Resumo das análises de variância)

APÊNDICE B

Tabela 16: Resumo das análises de variância das características físicas e bioquímicas dos músculos *Psoas major* e regiões interior (IST) e superficial (OST) do músculo *Semitendinosus* embalados em filmes de polietileno controle e incorporados com absorvedor de radiação UV.

| FV | GL | QM | | | | | | | | | |
|-----------------|----|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| | | MMb | MbO ₂ | L* | a* | b* | pH | TBARs | TCO | MRA | Eh |
| TM | 2 | 4831.97* | 3754.40* | 887.40* | 79.39* | 70.29* | 0.089* | 0.18* | 358.91* | 5902.64* | 972.17 ^{ns} |
| EB | 1 | 104.26 ^{ns} | 40.11 ^{ns} | 12.83 ^{ns} | 1.04 ^{ns} | 29.08 ^{ns} | 0.0003 ^{ns} | 0.008 ^{ns} | 0.82 ^{ns} | 105.81 ^{ns} | 1088.54 ^{ns} |
| TM*EB | 2 | 4.55 ^{ns} | 15.42 ^{ns} | 1.56 ^{ns} | 0.35 ^{ns} | 0.13 ^{ns} | 0.0002 ^{ns} | 0.0007 ^{ns} | 0.32 ^{ns} | 22.09 ^{ns} | 80.68 ^{ns} |
| E(a) | 12 | 1 96.13 | 519.96 | 11.97 | 11.67 | 6.41 | 0.002 | 0.007 | 1.99 | 234.94 | 346.85 |
| TE | 4 | 11205.22* | 11025.72* | 8.42* | 355.69* | 31.85* | 0.014* | 0.057* | 437.77* | 2645.53* | 5662.79* |
| TE*TM | 8 | 283.07 ^{ns} | 300.54* | 4.45* | 13.80* | 3.75* | 0.0005 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 98.42* | 374.20* | 411.22 ^{ns} |
| TE*EB | 4 | 32.18 ^{ns} | 19.00 ^{ns} | 2.58 ^{ns} | 0.86 ^{ns} | 0.57 ^{ns} | 0.0001 ^{ns} | 0.002 ^{ns} | 0.10 ^{ns} | 105.56 ^{ns} | 362.48 ^{ns} |
| TE*TM*EB | 8 | 7.45 ^{ns} | 9.80 ^{ns} | 1.69 ^{ns} | 0.28 ^{ns} | 0.18 ^{ns} | 0.0004 ^{ns} | 0.0006 ^{ns} | 0.73 ^{ns} | 32.86 ^{ns} | 77.58 ^{ns} |
| E(b) | 48 | 180.36 | 136.87 | 1.94 | 3.01 | 1.19 | 0.0006 | 0.001 | 3.35 | 100.03 | 294.17 |
| Total | 89 | 764,74 | 753,38 | 23,83 | 22,30 | 5,23 | 0,003 | 0,009 | 38,75 | 380,19 | 556,05 |

* (P < 0,05); ^{ns} não significativo; MMb: Metamioglobina; MbO₂: Oximioglobina; TBARs: Substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico; TCO: Taxa de Consumo de oxigênio; MRA: Atividade de Metamioglobina Redutase; Eh: Potencial de óxido-redução.

APÊNDICE C
(Tabelas de Correlação)

APÊNDICE C - 1

Tabela 17. Correlação de Pearson entre as propriedades físicas e bioquímicas para o *Psoas major* (PM).

| | MMB | MbO₂ | L* | a* | b* | TBARS | pH | Eh | MRA |
|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------|------------|
| MbO₂ | -0,918*** | | | | | | | | |
| L* | -0,295 ^{ns} | 0,383* | | | | | | | |
| a* | -0,956*** | 0,977*** | 0,354 ^{ns} | | | | | | |
| b* | -0,628*** | 0,796*** | 0,458* | 0,784*** | | | | | |
| TBARS | 0,457* | -0,369* | 0,498** | -0,424* | -0,103 ^{ns} | | | | |
| pH | 0,542** | -0,748*** | -0,297 ^{ns} | -0,638*** | -0,552** | 0,198 ^{ns} | | | |
| Eh | 0,382* | -0,286 ^{ns} | 0,156 ^{ns} | -0,413* | -0,359 ^{ns} | 0,409* | -0,159 ^{ns} | | |
| MRA | -0,781*** | 0,789*** | 0,175 ^{ns} | 0,842*** | 0,676*** | -0,448* | -0,467** | -0,516** | |
| TCO | -0,893*** | 0,796*** | 0,158 ^{ns} | 0,892*** | 0,622*** | -0,555** | -0,356 ^{ns} | -0,630*** | 0,776*** |

MRA: Atividade de Metamioglobina Redutase; TCO: Taxa de Consumo de Oxigênio; TBARS: Substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico; MMB: Metamioglobina; MbO₂: Oximioglobina; Eh: Potencial de óxido-redução; ^{ns} não significativo; * P < 0,05; **P < 0,01; *** P < 0,001.

APENDICE C – 2

Tabela 18. Correlação de Pearson entre as propriedades físicas e bioquímicas para a região interior do *Semitendinosus* (IST).

| | MMB | MbO ₂ | L* | a* | b* | TBARS | pH | Eh | MRA |
|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------|
| MbO₂ | -0,852*** | | | | | | | | |
| L* | 0,278 ^{ns} | -0,334 ^{ns} | | | | | | | |
| a* | -0,916*** | 0,971*** | -0,373* | | | | | | |
| b* | -0,571** | 0,865*** | -0,205 ^{ns} | 0,827*** | | | | | |
| TBARS | 0,809*** | -0,672*** | 0,393* | -0,736*** | -0,343 ^{ns} | | | | |
| pH | 0,285 ^{ns} | -0,585*** | -0,078 ^{ns} | -0,521** | -0,694*** | 0,228 ^{ns} | | | |
| Eh | 0,139 ^{ns} | 0,256 ^{ns} | -0,186 ^{ns} | 0,093 ^{ns} | 0,363* | 0,145 ^{ns} | -0,550** | | |
| MRA | -0,746*** | 0,455* | -0,236 ^{ns} | 0,606*** | 0,249 ^{ns} | -0,598*** | 0,073 ^{ns} | -0,524** | |
| TCO | -0,622*** | 0,549** | -0,121 ^{ns} | 0,656*** | 0,513* | -0,477** | -0,318 ^{ns} | -0,236 ^{ns} | 0,812*** |

MRA: Atividade de Metamioglobina Redutase; TCO: Taxa de Consumo de Oxigênio; TBARS: Substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico; MMB: Metamioglobina; MbO₂: Oximioglobina; Eh: Potencial de óxido-redução; ^{ns} não significativo; * P < 0,05; **P< 0,01; *** P < 0,001.

APENDICE C – 3

Tabela 19. Correlação de Pearson entre as propriedades físicas e bioquímicas para a região superior do *Semitendinosus* (OST).

| | MMB | MbO ₂ | L* | a* | b* | TBARS | pH | Eh | MRA |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| MbO₂ | -0,827*** | | | | | | | | |
| L* | 0,650*** | -0,545** | | | | | | | |
| a* | -0,933*** | 0,960*** | -0,685*** | | | | | | |
| b* | -0,578*** | 0,834*** | -0,432* | 0,770*** | | | | | |
| TBARS | 0,762*** | -0,625*** | 0,262 ^{ns} | -0,690*** | -0,451* | | | | |
| pH | 0,596*** | -0,634*** | 0,201 ^{ns} | -0,621*** | -0,566** | 0,659*** | | | |
| Eh | 0,269 ^{ns} | 0,222 ^{ns} | 0,184 ^{ns} | 0,013 ^{ns} | 0,334 ^{ns} | 0,173 ^{ns} | -0,171 ^{ns} | | |
| MRA | -0,466** | 0,190 ^{ns} | -0,132 ^{ns} | 0,296 ^{ns} | -0,008 ^{ns} | -0,431* | -0,014 ^{ns} | -0,657*** | |
| TCO | -0,584*** | 0,181 ^{ns} | -0,310 ^{ns} | 0,365* | -0,025 ^{ns} | -0,361* | -0,310 ^{ns} | -0,451* | 0,325 ^{ns} |

MRA: Atividade de Metamioglobina Redutase; TCO: Taxa de Consumo de Oxigênio; TBARS: Substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico; MMB: Metamioglobina; MbO₂: Oximioglobina; Eh: Potencial de óxido-redução; ^{ns} não significativo; * P < 0,05; **P< 0,01; *** P < 0,001.

APÊNDICE D
(Médias das características físicas e bioquímicas)

Tabela 20: Médias das características físicas e bioquímicas dos diversos cortes musculares embalados em filme de polietileno incorporado ou não (controle) com absorvedor de radiação UV durante os oito dias de estocagem a 4 °C.

| VARIÁVEIS RESPOSTAS | MÚSCULOS/EMBALAGENS* | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | PM | | IST | | OST | |
| | C | UV | C | UV | C | UV |
| MMb | 55.47±29.47 | 54.01±30.37 | 35.73±29.00 | 32.74±27.44 | 32.53±20.76 | 30.53±18.60 |
| MbO ₂ | 38.90±25.80 | 36.45±28.70 | 52.36±29.77 | 50.52±28.09 | 59.69±23.76 | 59.97±22.76 |
| L* | 42.44±1.95 | 42.88±1.44 | 46.87±1.64 | 48.15±2.83 | 53.25±1.89 | 53.79±1.84 |
| a* | 16.16±4.70 | 15.90±5.06 | 19.45±5.61 | 19.04±5.33 | 17.19±3.47 | 17.20±3.23 |
| b* | 13.82±1.86 | 12.75±1.91 | 16.80±2.46 | 15.50±2.38 | 16.18±1.00 | 15.13±1.11 |
| TBARs | 0.41±0.09 | 0.38±0.08 | 0.30±0.07 | 0.29±0.05 | 0.25±0.06 | 0.24±0.05 |
| pH | 5.69±0.03 | 5.69±0.04 | 5.67±0.03 | 5.67±0.04 | 5.58±0.04 | 5.59±0.03 |
| Eh | 224.36±31.04 | 218.46±29.18 | 231.63±22.80 | 221.00±20.75 | 234.93±15.36 | 230.60±17.45 |
| MRA | 34.71±16.47 | 35.42±15.10 | 48.27±21.39 | 50.01±21.44 | 19.06±8.58 | 23.12±8.45 |
| TCO | 8.90±8.80 | 8.87±8.69 | 4.36±4.28 | 4.72±4.24 | 1.93±1.65 | 2.17±1.65 |

*média ± desvio padrão; PM: *Psoas major*; IST: região interior do *Semitendinosus*; OST: região superficial do *Semitendinosus*; C: embalagem controle; UV: embalagem incorporada com 0,9% de absorvedor de radiação ultravioleta (UV); MRA: Atividade de Metamioglobina Redutase; TCO: Taxa de Consumo de Oxigênio; TBARs: Substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico; MMb: Metamioglobina; MbO₂: Oximioglobina; Eh: Potencial de óxido-redução.