

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Contribuição do tecido conjuntivo intramuscular na textura da
carne de fêmeas zebuínas adultas submetidas a diferentes
sistemas de manejo**

Daiane Aparecida Fausto

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência
Animal e Pastagens

**Piracicaba
2011**

**Daiane Aparecida Fausto
Bacharel em Zootecnia**

Contribuição do tecido conjuntivo intramuscular na textura da carne de fêmeas zebuínas adultas submetidas a diferentes sistemas de manejo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:
Prof. Dr. **EDUARDO FRANCISQUINE DELGADO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência
Animal e Pastagens

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Fausto, Daiane Aparecida

Contribuição do tecido conjuntivo intramuscular na textura da carne de fêmeas zebuínas adultas submetidas a diferentes sistemas de manejo / Daiane Aparecida Fausto. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2011.

94 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Bovinos de corte 2. Carcaça 3. Carnes e derivados 4. Colágeno 5. Corte de alimentos - Rendimento 6. Manejo animal 7. Suplemento alimentares para animais
I. Título

CDD 636.291
F268c

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Remi Fausto e Marilena Stedille Fausto,

“Razão maior de minha existência e pelo exemplo de amor, confiança,
incentivo e dedicação com que fui criado”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em especial ao Departamento de Zootecnia pela oportunidade de fazer o curso de pós-graduação.

Ao meu orientador prof. Dr. Eduardo Francisquine Delgado pela orientação, confiança e conhecimentos repassados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida (Processo 132381/2009-5).

Ao FUNDECT pela concessão da bolsa de auxílio para execução do experimento.

Ao programa Emerging Leaders in the Americas Program (ELAP) pela oportunidade de estudo nas Universidades Canadenses de Alberta e Guelph, o qual foi importante para o desenvolvimento de algumas metodologias apresentadas neste trabalho.

A prof^a Dr^a Heather Bruce da Universidade de Alberta pela orientação, confiança e conhecimentos científicos repassados.

Ao prof. Dr. Peter Purslow da Universidade de Guelph pelo auxílio na análise de tensão do perimísio e oportunidade de estágio.

Ao Dr. Ming Cha técnico do laboratório de mecanotransdução celular da Universidade de Guelph pelos ensinamentos de análises laboratoriais repassados.

Aos integrantes do laboratório de fisiologia e anatomia animal (LAFA) da ESALQ/USP.

A todos os funcionários do Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP.

Ao prof. Dr. André Ferraz pela amizade e auxílio na construção das curvas de resposta para determinação de colágeno.

A todos os funcionários, estagiários e pesquisadores da Embrapa Gado de Corte pela colaboração na implantação do experimento. Em especial ao Dr. Gelson Luís Dias Feijó, pelo apoio e confiança os quais foram determinantes para a realização da pesquisa.

Ao técnico Igor Joba pela amizade, trabalho em equipe e apoio técnico prestado durante todo o experimento.

Aos estagiários (as) Camila Magalhães, Diana Bonfanti, Heber Pereira, Jéssica Monteschio, Maira Azevedo, Thiago Camarra e Thiago Menezes. E aos pós-graduandos Marcelo Rezende e Giancarlo Souza pela dedicação e trabalho em equipe que foram fundamentais para a conclusão do trabalho.

A equipe de funcionários do laboratório de Nutrição da unidade EMBRAPA/CNPGC. Em especial o Dr. Sérgio Raposo, pela colaboração e disponibilidade de ajuda, que foram fundamentais para a realização das análises laboratoriais.

Ao Dr. Manoel Macedo por disponibilizar o espectrofotômetro em tempo integral, para realização da análise de colágeno, fator fundamental para a realização dessa atividade. E aos técnicos Fábio Petrucci e Rodrigo Campos pelo auxílio laboratorial.

Ao Dr. Pedro Paulo e José Gomes pelo auxílio, sugestões e conhecimentos repassados para preparação do material para determinação de microscopia de luz.

A prof^a Dr^a Doroty M. Dourado da Universidade Anhanguera-Uniderp em Campo Grande-MS pela ajuda na interpretação das lâminas de microscopia.

Ao professor Dr. Luis Carlos Vinhas Ítavo por conceder acesso ao laboratório de nutrição animal e forragicultura da Universidade Católica Dom Bosco em Campo Grande-MS, para a realização da análise de composição centesimal.

Aos zootecnistas Eddie Medeiros e Kamila Leite pela amizade e auxílio na preparação das amostras de perimísio.

Aos amigos de pós-graduação de outras universidades que conduziram experimento na Embrapa Gado de Corte no mesmo período. Em especial aos moradores do alojamento da Embrapa Andréia Quintino, César Estevão, Felipe Coelho, Flávio Mousinho, Irene Eliseu, Lucas Silva, Rafael Reis e Thiago Braz que através da convivência se tornaram especiais e os quais não pretendo perder o vínculo.

Aos amigos de pós-graduação da ESALQ/USP, aos amigos piracicabanos e campo-grandenses, pela ajuda e companheirismo. Agradeço a cada um em particular, não só pela minha formação, mas também pelo meu crescimento como pessoa.

As minhas queridas amigas Andréa Roberto (Andréão), Andréia Iocca (Déia), Andressa Natel (Dessa), Luciana Lazaro (Berla), Paula Anercina (Tcheibis), Simone Frota (Carma), Simony Mendonça (Bugra), Thais Ribeiro (Bagacera), Vânia Almeida (Nega), Wilma e Wilziane Itacarambi (Wills) pelos conselhos e apoio incondicional.

A Didinha ou Condessa também conhecida como Ingrid Medina a qual tenho orgulho de ser amiga. Agradeço pelo apoio, incentivo, companheirismo e envio de pensamentos positivos.

Ao Felipe Mardegan pela amizade, companheirismo e apoio.

A Mariana Peres pela amizade, apoio e otimismo.

A família Szwender por todo apoio e carinho.

A minha família que pela força, amor, carinho e energias positivas.

Aos meus irmãos José Antônio Fausto, Marcelo Paulo Fausto e Vanessa Regina Fausto por estarem presentes na minha vida.

A todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização e elaboração dessa pesquisa e que, portanto, fazem parte desta conquista, o meu agradecimento, respeito e gratidão.

MUITO OBRIGADA!

EPÍGRAFE

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Tecido conjuntivo intramuscular	25
2.1.1 Componentes do tecido conjuntivo	26
2.1.1.1 Colágeno	26
2.1.1.1.1 Síntese do colágeno	27
2.1.1.1.2 Tipos de colágeno e formação de fibras colágenas	29
2.1.1.1.3 Composição de aminoácidos do colágeno	30
2.2 Fatores determinantes na maciez da carne	31
2.2.1 Maciez intrínseca	32
2.2.1.2 Maturação da carne	33
2.2.1.3 Solubilidade do colágeno e textura da carne	35
2.2.1.4 Papel do colágeno na textura da carne cozidas.....	35
2.2.1.5 Benefícios da alteração no ritmo de crescimento animal	36
3 MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1 Animais	39
3.2 Tratamentos	39
3.3 Abate e Avaliação de Carcaças	41
3.4 Rendimento de cortes e componentes não-carcaça	42
3.5 Atributos da Qualidade	42
3.5.1 pH.....	42
3.5.2 Coloração	43
3.5.3 Determinação das perdas por cocção	43
3.5.4 Força de Cisalhamento (FC)	44
3.6.5 Composição Centesimal	44
3.6.5.1 Umidade	44
3.6.5.2 Proteína bruta	45

3.6.5.3 Extrato etéreo	45
3.6.5.4 Cinzas	45
3.6 Análises das modificações protéicas	46
3.6.1 Índice de fragmentação miofibrilar (MFI)	46
3.6.2 Determinação de colágeno	46
3.7 Avaliação do tecido conjuntivo por microscopia de Luz	47
3.8 Efeitos do cozimento na tensão do tecido conjuntivo intramuscular.....	48
3.9 Análise Estatística	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Desempenho animal e características de carcaça	51
4.3 pH	56
4.2 Coloração	56
4.4 Proporção de vísceras	57
4.5 Proporções de cortes.....	59
4.6 Composição centesimal	61
4.7 Índice de fragmentação miofibrilar (MFI)	63
4.8 Força de cisalhamento, perdas por cocção e pH	64
4.9 Colágeno solúvel e total	70
4.10 Avaliação do tecido conjuntivo por microscopia de Luz	74
4.11 Efeitos do cozimento na tensão do tecido conjuntivo intramuscular	77
5 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	83

RESUMO

Contribuição do tecido conjuntivo intramuscular na textura da carne de fêmeas zebuínas adultas submetidas a diferentes sistemas de manejo

A redução da idade ao abate é considerada uma das tecnologias mais impactantes na melhoria da textura da carne bovina. Todavia, esta possibilidade não se aplica à produção de carne de vacas, pelo fato do abate ocorrer após o cumprimento da finalidade reprodutiva do animal. A alternativa seria a modificação da taxa de renovação tecidual através da alteração no ritmo de crescimento durante o período de terminação dos animais. O objetivo desse trabalho foi avaliar contribuição do tecido conjuntivo intramuscular na textura da carne de fêmeas submetidas a diferentes sistemas de manejo. Os animais utilizados no experimento foram fêmeas de descarte da raça Nelore, pertencentes ao Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Corte (CNPGC)/EMBRAPA, situado no estado de Mato Grosso do Sul. Os animais foram submetidos a dois manejos de suplementação alimentar durante a estação seca: T1. suplementação para promover manutenção; T2. restrição seguida de suplementação para promover ganho compensatório. Quatro abates ocorreram de maneira seriada durante o período de recomposição do peso e escore corporal do grupo de crescimento compensatório. As carcaças de 38 fêmeas da raça Nelore, com idade entre de 4 a 12 anos, foram avaliadas para seguintes características: área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, marmorização; peso proporcional de órgão e rendimento de cortes. Além dessas características foi analisado o efeito do manejo e do tempo de maturação na maciez da carne, no colágeno e na espessura e tensão do perimísio. Para os animais do grupo compensatório, houve aumento da massa muscular e diminuição da proporção óssea com aumento do tempo no grupo submetido a realimentação. O tempo de maturação influenciou a proporção de colágeno solúvel somente no músculo *Longissimus dorsi* ($P < 0,05$). O *Semitendinosus* apresentou maior conteúdo de colágeno total e menor de colágeno solúvel quando comparado aos músculos *Triceps brachii* e *Longissimus dorsi*. A espessura média do perimísio não foi diferente ($P > 0,05$) entre os manejos embora carnes mais duras tenham apresentado maior espessura de perimísio no músculo *Semitendinosus*. Este músculo apresentou perimísio mais espesso que o *Longissimus dorsi*. Não foi encontrado efeito para manejos e classes de maciez neste estudo ($P > 0,05$) para as variáveis de força de ruptura do perimísio, extensão do perimísio no ponto de ruptura e máxima rigidez. A contribuição do tecido conjuntivo e solubilidade do colágeno sobre a textura da carne, não apresentou padrão consistente nos músculos.

Palavras-chave: Carcaça; Colágeno; Ganho compensatório; Maciez; Realimentação; Rendimento de cortes

ABSTRACT

Contribution of intramuscular connective tissue in the texture of meat from adult zebu females under different management systems

Reducing the age at time of slaughter is considered one of the most impressive technologies in improving the texture of beef. However, this process does not apply to the production of meat from cows, because the slaughter occurs after completion of the animal's reproductive purpose. The alternative would be to modify the rate of tissue renewal through the change in growth rate during the finishing period of the animals. The aim of this study was to evaluate the contribution of intramuscular connective tissue in the texture of the meat of female under different management systems. The animals used in the experiment were cull females Nelore, belonging to the National Center for Research in Beef Cattle (CNPGC) / EMBRAPA, located in Mato Grosso do Sul. The animals were subjected to two managements of food supplementation during dry season: T1. supplementation to promote maintenance; T2. restriction followed by supplementation to promote compensatory growth. Four serially killing occurred during the period of restoration of weight and body condition score of the group of compensatory growth. Carcasses of 38 Nelore females, aged 4-12 years were evaluated for the following features: rib eye area, fat thickness, marbling, proportional weight of organ and performance of prime cuts. These features analyzed the effect of management and the maturation time of meat tenderness, collagen and thickness and tension of the perimysium. For group compensation, there was an increase in adiposity and decrease in the proportion of bone with increased time in the group subjected to feedback. The aging time influenced the proportion of soluble collagen in the *Longissimus dorsi* muscle ($P < 0,05$). The *Semitendinosus* had higher collagen content and lower total soluble collagen compared to muscle *Longissimus dorsi* and *Triceps brachii*. The average perimysium thickness showed no difference ($P > 0.05$) between the managements although tougher meat had a greater thickness in *Semitendinosus* muscle. This muscle was found to be thicker than the perimysium of *Longissimus dorsi*. No effect was found for management classes and softness in this study ($P > 0.05$) for the variables of breaking strength of the perimysium, perimysium extension at the breaking point and maximum rigidity. The contribution of connective tissue and collagen solubility on the texture of the flesh, showed no consistent pattern in the muscles.

Keywords: Carcass; Collagen; Compensatory growth; Tenderness; Refeeding; Yield of cuts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área disponível para os animais nos piquetes de <i>Brachiaria decumbens</i>	39
Figura 2 - Etapas para determinação do colágeno	47
Figura 3 - Preparação de amostras para análise de tecido conjuntivo por microscopia de luz	48
Figura 4 - Determinação da tensão do perimísio.....	49
Figura 5 - Evolução do ganho de peso em fêmeas Nelore submetidas a dois sistemas de manejo alimentar.....	51
Figura 6 - Evolução do escore corporal em fêmeas Nelore submetidas a dois sistemas de manejo alimentar.....	52
Figura 7 - Efeito da maturação na maciez da carne de músculos oriundos de fêmeas Nelore adultas.....	66
Figura 8 - Efeito da Interação classes de maciez versus tipo de músculo	75
Figura 9 - Espessura do perimísio muscular oriundo de animais sob diferentes ritmos de crescimento.....	76
Figura 10 - Espessura do perimísio do músculo <i>Longissimus dorsi</i> e <i>Semitendinosus</i>	76
Figura 11 - Espessura do perimísio do músculo <i>Semitendinosus</i> de animais submetidos a diferentes ritmos de crescimento	76
Figura 12 - Espessura do perimísio muscular em relação a classe de maciez.....	77
Figura 13 - Distribuição de força de cisalhamento e força de ruptura do perimísio no músculo <i>Semitendinosus</i> para o grupo de fêmeas Nelore adultas com baixo escore corporal inicial.....	79
Figura 14 - Distribuição de força de cisalhamento e força de ruptura do perimísio no músculo <i>Semitendinosus</i> para o grupo de fêmeas Nelore adultas submetidas a suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal.....	79
Figura 15 - Distribuição de força necessária para ruptura do perimísio no músculo <i>Semitendinosus</i> ajustada em função da idade do animal.....	80

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Média da composição química e digestibilidade da massa de forragem ofertada aos animais durante a primeira fase experimental.....40
- Tabela 2 - Parâmetros das equações de regressão de características quali-quantitativas em relação ao momento de abate para fêmeas nelore adultas com baixo escore corporal inicial submetidas a suplementação para promover ganho de reposição do peso.....54
- Tabela 3 - Coeficiente de correlação entre as características da carne e da carcaça de vacas Nelore adultas com baixo escore corporal inicial, submetidas a suplementação para promover ganho de reposição de peso.....55
- Tabela 4 - Médias ajustadas para valores de pH no músculo *Longissimus dorsi* de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo.....56
- Tabela 5 - Médias ajustadas para valores de L*, a*, b*, C*, hue e cor subjetiva aferidos no músculo *Longissimus dorsi* de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo.....57
- Tabela 6 - Proporção de subprodutos em relação ao peso vivo e à carcaça proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo.....59
- Tabela 7 - Proporção de cortes das carcaças proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois diferentes manejo em função do traseiro serrote.....60
- Tabela 8 - Média dos valores de composição centesimal de três músculos de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo.....62
- Tabela 9 - Média dos valores do índice de fragmentação miofibrilar da carne proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejos, em função do tempo de maturação.....64
- Tabela 10 - Média dos valores da força de cisalhamento, pH e perdas por cocção (%) o músculo *Longissimus dorsi* proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo, em função do tempo de maturação.....67
- Tabela 11 - Média dos valores da força de cisalhamento, pH e perdas por cocção (%) o músculo *Triceps brachii* proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo, em função do tempo de maturação.....68
- Tabela 12 - Média dos valores da força de cisalhamento, pH e perdas por cocção (%) o músculo *Semitendinosus* proveniente de fêmeas Nelore adultas

submetidas a dois sistemas de manejo, em função do tempo de maturação.....69

Tabela 13 - Correlações entre colágeno, MFI, pH e perdas por cocção em relação a força de cisalhamento de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo.....72

Tabela 14 - Média dos valores de colágeno de três músculos provenientes de fêmeas zebuínas adultas submetidas a dois sistemas de manejo alimentar.....73

Tabela 15 - Espessura do perimísio no tecido conjuntivo de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo.....75

Tabela 16 - Tensão do perimísio no músculo *Semitendinosus* de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo.....78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

arctan	arco tangente
cm	centímetro(s)
Da	Dalton
DNA	ácido desoxirribonucléico
g	grama(s)
EPM	erro padrão médio
HC	ácido clorídrico
KDa	Kilodalton
Kg	quilograma(s)
Kgf	quilograma-força
Kg/MS/animal	quilograma de matéria seca por animal
M	Média
min	Minuto
mg	miligrama(s)
ml	mililitro(s)
mm	Milímetro
NaCl	cloreto de sódio
nm	Nanômetro
p	nível de significância estatística
PCS	picosírus-red
pH	potencial de hidrogênio
RNA	ácido ribonucleico
RPM	rotações por minuto
%	porcentagem
=	igual a
±	mais ou menos
®	marca registrada

1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira é considerada a 2ª maior do mundo, com 205 milhões de cabeças, sendo o maior rebanho para fins comerciais com a produção de 6.581 milhões de toneladas de carne (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC, 2011). Historicamente, uma parte considerável do abate anual de bovinos no Brasil é composta por fêmeas, chegando a ultrapassar 50% em certos anos. Em 2010 foram abatidos 29,265 milhões de bovinos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010), onde 45,2% eram fêmeas, sendo a maior parte constituída por vacas de descarte, que apresentam média de 6 anos, destinadas ao abate após terem cumprido suas funções reprodutivas no rebanho (FNP CONSULTORIA & COMERCIO, 2010).

Um dos fatores negativos da carne de animais velhos está relacionado com a modificação estrutural na molécula de colágeno, presente no tecido conjuntivo intramuscular, que confere estabilidade térmica e prejudica a qualidade da carne quanto à maciez. A utilização de tecnologias disponíveis para a otimização da qualidade de carne bovina e redução da idade ao abate dos bovinos são estratégias importantes. No entanto, ainda assim restariam as matrizes dos rebanhos de cria que após terem cumprido sua função reprodutiva são destinadas ao abate. O descarte dessas fêmeas geralmente ocorre no período de menor produção forrageira, entre abril/maio até setembro ou outubro, período onde os animais perderão peso na época de restrição, concorrendo por alimento com o rebanho de cria. Portanto, quando é possível terminar esses animais na mesma época do diagnóstico de gestação (inverno/seca), além da menor taxa de lotação para a estação subsequente, é possível obter melhor remuneração por unidade de produto na entressafra (FNP CONSULTORIA & COMERCIO, 2006).

As fibras de colágeno, além do aspecto maturidade, podem diminuir o impacto do processo de amaciamento natural da carne, por manterem-se praticamente inalteradas sob a ação de proteases musculares durante o amaciamento *post mortem* (BAILEY; LIGHT, 1989). Por outro lado, as proteoglicanas associadas à formação e integridade da estrutura fibrilar de colágeno sofrem degradação (NAGASE; WOESSNER JUNIOR, 1999). Os processos de renovação de colágeno e de degradação do tecido conjuntivo *post mortem* são potenciais

candidatos à alteração pelo ritmo de crescimento muscular acarretando melhorias na textura da carne.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da contribuição do tecido conjuntivo intramuscular na textura da carne de fêmeas zebuínas adultas submetidas a diferentes sistemas de manejo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tecido conjuntivo intramuscular

A musculatura esquelética é um órgão contrátil formado pelos tecidos muscular estriado, conjuntivo propriamente dito e adiposo. O tecido conjuntivo tem função estrutural de sustentação muscular, bem como, de separar diferentes músculos, distinguindo-se pela transmissão eficiente da força contrátil dos elementos musculares ao esqueleto, via tendões, dessa forma produzindo movimento (BAILEY; LIGHT, 1989). O tecido conjuntivo intramuscular possui abundância de matriz extracelular, composta basicamente por fibras do conjuntivo, formadas principalmente de colágeno (95%) e alguma elastina e a substância fundamental amorfa, que apresenta glicosaminoglicanas, proteoglicanas e glicoproteínas adesivas na sua composição (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004).

A matriz tem a função principal de envolver todas as moléculas imobilizadas externamente às células, influenciando na capacidade de retenção de água extracelular, elasticidade e regulação dos fatores de crescimento. Três camadas principais fazem parte do tecido conjuntivo presente na musculatura esquelética, que se diferenciam em posição anatômica, composição e estrutura (PURSLOW; DUANCE, 1990), sendo: 1) endomísio - camada fina de tecido conjuntivo que envolve separadamente cada fibra muscular, formada por uma rede de fibras colágenas onduladas, que se reorientam de acordo com o movimento da musculatura é estável ao calor a 100°C, indicando que, além de suas propriedades adesivas não contribui para a variabilidade da textura (PURSLOW; TROTTER, 1994; TROTTER; RICHMOND; PURSLOW, 1995); 2) perimísio - camada fina de tecido que envolve os feixes de fibras musculares, tendo as fibras colágenas, dispostas em duas camadas que se cruzam e, que se reorientam de modo a suportar o estiramento e o encurtamento da musculatura é o componente variável do tecido conjuntivo, que compreende cerca de 90% do tecido conjuntivo intramuscular e organiza as fibras em feixes (ROWE, 1981; PURSLOW, 1989); 3) epimísio - bainha de tecido conjuntivo que delinea e separa músculos individualmente.

O tecido conjuntivo tem sido associado à maciez da carne, e o estabelecimento de relação entre conteúdo de colágeno e maciez da carne foi primeiramente relatada por Lehman (1907). A partir desse estudo iniciaram-se várias

outras pesquisas no âmbito acadêmico, visando relacionar a textura da carne com colágeno e associá-lo com alguns fatores como a idade do animal, taxa de crescimento, nutrição, genética e temperatura de cocção.

2.1.1 Componentes do tecido conjuntivo

2.1.1.1 Colágeno

O colágeno é a proteína mais abundante encontrada no corpo dos mamíferos, refere-se a uma família intimamente relacionada de proteínas rígidas e insolúveis, é o principal componente da pele, ossos, tendões, cartilagens e dentes. É uma molécula de mais de mil resíduos constituída de três cadeias polipeptídicas, exibindo uma composição de aminoácidos característica, com quantidade relativamente elevada de hidroxiprolina (13 a 14%), resultante de modificação pós-transducional, diferindo de outras proteínas conhecidas (CHAMPE; HARVEY, 1996; NELSON; COX, 2006; BERG; TYMOCZKO; STRYER, 2008; VOET; VOET; PRATT, 2008).

O colágeno é secretado principalmente por fibroblastos, mas pode ser secretada por outros tipos de células (BERG; TYMOCZKO; STRYER, 2008). Proteínas colagenosas usualmente formam agregados supramoleculares (fibrilas, filamentos ou redes), sozinhas ou em conjunto com outras matrizes extracelulares. Sua principal função é contribuir na integridade estrutural da matriz extracelular ou ajudar a fixar células na matriz (NEKLYUDOV, 2003). Ao contrário da maioria das proteínas globulares, as proteínas colagenosas são dobradas em estrutura compacta, possuem uma estrutura alongada em tripla hélice que colocam muitas das cadeias laterais de seus aminoácidos na parte externa da molécula. Isto permite a interação de monômeros de colágeno em longas fibras (CHAMPE; HARVEY, 1996).

Os músculos contêm somente uma pequena quantidade de colágeno (2-10% do peso seco), mas este componente fibroso inflexível do tecido conjuntivo intramuscular pode exercer influência sobre a dureza da carne, encontrando-se também envolvido no encolhimento e, portanto, nas perdas de líquido durante o cozimento (LIGHT; CHAMPION, 1984). Sendo assim, qualquer modificação

observada no colágeno, pode resultar em benefícios significativos em relação à textura.

Segundo Reiser, Amigable e Last (1992), as interações entre as moléculas de colágeno vão aumentando à medida que o animal envelhece, bem como o diâmetro das fibras. Essa é uma das razões pela qual a carne de animais mais velhos é mais dura do que a carne de animais jovens (VOET; VOET; PRATT, 2008). Estas interações chamadas de ligações cruzadas ocorrem em uma primeira etapa enzimática, catalisada pela atividade da enzima extracelular lisil-oxidase e posteriormente por processo de glicosilação de resíduos devido a processo oxidativo (BAILEY, 2001). Os terminais N- e C- da molécula de colágeno possuem extensões peptídicas não-helicoidais e são dessas regiões da molécula que as ligações cruzadas se originam derivadas de cadeias laterais de lisina e histidina. A lisil-oxidase, que converte resíduos de lisina no aldeído alisina, é a única enzima envolvida nesse processo de formação de ligações cruzadas (VOET; VOET; PRATT, 2008). Até quatro cadeias podem ser covalentemente ligadas entre si. Dois tipos de ligações são conhecidos: ligações intramoleculares, ocorrendo no interior da molécula, e as ligações intermoleculares, que ligam uma tripla hélice a outra. As ligações cruzadas intermoleculares são cruciais para o mecanismo de estabilidade da fibra de colágeno (CHAMPE; HARVEY, 1996).

Avery e Bailey (2006) estudando as propriedades físicas da molécula de colágeno durante o desenvolvimento das ligações cruzadas lançaram a hipótese da ocorrência de uma transformação não-enzimática, pela reação de Maillard, gerando produtos irreversíveis, ou seja, a ocorrência dessas reações impede a auto-renovação do tecido colagenoso.

2.1.1.1.1 Síntese do colágeno

A biossíntese de colágeno é um processo complexo. Ocorre inicialmente no retículo endoplasmático, depois no aparelho de Golgi e, finalmente, no espaço extracelular. A cadeia nascente polipeptídica, chamada pré-colágeno, sofre modificação pós-transducional fornecendo o procolágeno. Os passos intracelulares na montagem de um pró-colágeno são semelhantes aos de outras proteínas. No núcleo de fibroblastos, o DNA que codifica o colágeno é totalmente transcrito para

formulário de pré-RNA que sofre processamento excessivo antes do mRNA maduro estar pronto para uso na síntese de proteínas (CHAMPE; HARVEY, 1996).

O recém-sintetizado mRNA, possui o código necessário para toda a cadeia de um polipeptídeo pró-colágeno. Imediatamente, o mRNA é transportado para o citoplasma, e depois pró-cadeias de colágeno são sintetizadas em ribossomos ligada à membrana. As cadeias recém-formadas são, então, injetadas nas cisternas do retículo endoplasmático rugoso, onde a montagem das moléculas de pró-colágeno ocorrem. Modificações pós-transducional adicionais envolvem a hidroxilação, a oxidação, a condensação aldólica, redução e glicosilação. A vitamina C é um cofator das hidroxilases da prolina e da lisina, sua deficiência leva à inadequada síntese de colágeno. Após ser sintetizado na forma de pró-colágeno, o colágeno é secretado para o meio extracelular e ocorre a transformação em tropocolágeno. Esta molécula contém um domínio único em forma de tripla-hélice, constituído por 3 cadeias polipeptídicas, que se enrolam formando uma alfa-hélice (VELLEMAN, 1999).

O tropocolágeno mede cerca de 280 nm de comprimento e 1,5 nm de espessura e é secretado por fibroblastos no espaço extracelular e pode agregar-se em unidades microfibrilares e posteriormente em fibrilares de maior diâmetro, que caracterizam os arranjos da estrutura quaternária das fibras colágenas do tecido conjuntivo (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004). Cada molécula de tropocolágeno consiste em três cadeias polipeptídicas, formadas por aproximadamente 1000 aminoácidos, que se agrupam e formam uma estrutura de tríplice hélice. As cadeias que formam o tropocolágeno são enroladas em alfa hélice com giro para a direita e se mantêm unidas por pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas. Cada volta completa da hélice percorre uma distância de 8,6 nm (ABERLE et al., 2001). As moléculas de colágeno ligam-se entre si para formar a fibra de colágeno. O peso molecular do colágeno varia de 5×10^4 a 1×10^5 Da (ROSE, 1987).

2.1.1.1.2 Tipos de colágeno e formação de fibras colágenas

Os tipos de colágeno podem ser divididos em classes baseadas na função e tamanho da molécula: fibrilar, fibrilar-associado, formador de rede, filamentosos, cadeia curta e cadeia longa (VAN der REST; GARRONE, 1991). As variações na seqüência de aminoácidos das três cadeias polipeptídicas, denominadas cadeias alfa, resultam em componentes estruturais com propriedades diferentes, embora ocorra manutenção do tamanho. Estas cadeias alfa são combinadas para formar os vários tipos de colágeno encontrado nos tecidos (CHAMPE; HARVEY, 1996).

São encontrados 19 tipos diferentes de fibras de colágeno que são classificadas de acordo com sua estrutura em fibrosa, não-fibrosas e filamentosas. Os colágenos dos tipos I, III, IV, V, VI, XII e XIV foram previamente identificados no tecido conjuntivo intramuscular (LISTRAT; PICARD; GEAY, 1999; LISTRAT et al., 2000). Estes autores citam que o colágeno dos tipos I e III são os mais comumente encontrados no endomísio, perimísio e epimísio, enquanto o tipo IV é o componente principal da membrana basal que liga a camada reticular do endomísio à membrana das células musculares (sarcolema). Foi relatado que a proporção de colágeno do tipo III comparada, com o tipo I, diminui com a idade (MAYS; BISHOP; LAURENT, 1988) e pode ter sua expressão gênica diminuída em situações de deficiência nutricional (BYRNE et al., 2005). Estudos realizados anteriormente indicaram que a textura da carne não é definida pela quantidade de colágeno, sendo primordialmente influenciada pela forma de colágeno presente no músculo (VAN der REST; GARRONE, 1991).

O colágeno tipo I, é a forma mais abundante de colágeno no músculo esquelético, é composto de duas cadeias α_1 (I) e uma α_2 (I). Este tipo de colágeno pode formar fibrilas de cerca de 400 a 500 nm, e produz fibras de alta resistência, devido as ligações cruzadas intermoleculares estabelecidas dentro da matriz. O colágeno tipo III é a segunda forma fibrosa mais abundante da proteína no músculo esquelético. É composto de três cadeias α idênticas, α_1 (III), e contém resíduos de cisteína localizados no C-terminal da hélice tripla, que forma ligações intra e intermoleculares de dissulfeto. Ele forma fibras que são menores (50 nm) do que aquelas produzidas por colágeno tipo I (BAILEY; LIGHT, 1989).

A proporção dos tipos de colágeno I e III pode afetar a maciez da carne e os mesmos podem ser afetados diferencialmente pelo calor. O tecido conjuntivo do tipo III pode ser menos solúvel ao aquecimento que o tipo I (BURSON; HUNT, 1986). Estes achados podem explicar os resultados de Bailey et al. (1979) que relataram uma maior porcentagem de colágeno tipo III nos músculos termo-resistentes. Além disso, colágeno tipo III pode estar envolvido na formação de fronteiras entre as fibras do perimísio e a bainha endomísio, que pode ser importante na determinação das propriedades de textura da carne (BAILEY; LIGHT, 1989). No entanto, a contribuição dos tipos I e III da maciez da carne é controverso, considerando que outros autores não encontraram nenhuma correlação entre as proporções de Tipo I e III de colágeno para a textura (BURSON; HUNT, 1986).

2.1.1.1.3 Composição de aminoácidos do colágeno

O colágeno apresenta uma composição de aminoácidos bastante distinta, quase um terço dos seus resíduos são compostos de glicina, outros 15 a 30% são de prolina e 4-hidroxiprolina, ainda são encontrados resíduos de 3-hidroxiprolina e 5-hidroxisilina (VOET; VOET; PRATT, 2008).

O conteúdo de aminoácidos não usuais do colágeno é relacionado às restrições estruturais únicas à hélice do colágeno (NELSON; COX, 2006). O aminoácido glicina pode ser encontrado a cada três posições da cadeia polipeptídica. Este aminoácido se adapta ao espaço restrito, onde as três hélices se aproximam. Os resíduos de glicina são parte da seqüência repetitiva –Gly-X-Y-, onde X frequentemente é a prolina e Y geralmente é a hidroxiprolina ou hidroxilisina, assim, a maior parte da cadeia alfa, pode ser encontrada na forma de politripeptídeo (CAMPBELL; FARRELL, 2006).

A prolina facilita a formação da conformação helicoidal em cada uma das cadeias alfa, porque a sua estrutura em anel, causa torções na cadeia polipeptídica. A síntese da hidroxiprolina e da hidroxilisina ocorre pela ação das hidroxilases (prolil-hidroxilase e lisil hidroxilase) (NELSON; COX, 2006). Essas reações de hidroxilação requerem oxigênio molecular e um agente redutor como o ácido ascórbico (Vitamina C) (CHAMPE; HARVEY, 1996). A hidroxiprolina tem uma hidroxila no lugar dos hidrogênios no anel de pirrolidina (BERG; TYMOCZKO; STRYER, 2008) e é importante na estabilização da estrutura em tripla hélice do colágeno. O grupo

hidroxila dos resíduos de hidroxilisina presentes no colágeno pode ser glicosilado. Mais comumente, a glicose e galactose são sequencialmente fixadas à cadeia polipeptídica antes da formação da tripla hélice. Devido ao maior conteúdo ácido, básico e de aminoácido hidroxilado do que resíduos lipofílicos, o colágeno é uma proteína hidrofílica, além de sua estrutura secundária não favorecer a formação de cadeias α -hélice pelo grande número de resíduos prolil e hidroxiprolil (CHAMPE; HARVEY, 1996). Os demais aminoácidos essenciais como a metionina, tirosina e histidina entram em pequena quantidade. Cistina e triptofano estão comumente ausentes.

O aminoácido hidroxiprolina por ser incomum e relativamente constante na molécula de colágeno (ABERLE et al., 2001, WARRIS, 2000) tem sido utilizado para a determinação do conteúdo dessa proteína presente no tecido (NEUMAN; LOGAN, 1950; BERGMAN; LOXLEY, 1963). Outros métodos têm sido estudados para a quantificação de colágeno, mas a determinação de hidroxiprolina ainda constitui o método mais adequado (PARDI et al., 2001; EGELANDSDAL et al., 2005) para determinação dessa proteína.

Neuman e Logan (1950) desenvolveram uma metodologia de determinação de hidroxiprolina, que envolve a sua oxidação de pyrrolo-2-carboxílico, e em seguida formação de cor após a adição do reagente vermelho Erlinch. Inúmeras modificações de métodos têm sido reportadas tentando aumentar a repetibilidade dos resultados e remover as interferências de outros aminoácidos. O método de Woessner Junior (1961) obteve a recuperação de uma parte de hidroxiprolina em 4000 partes de outros aminoácidos, mas Bergman e Loxley (1963) reportaram aperfeiçoamento proporcionando maior estabilidade e sensibilidade quando comparado com o método anterior.

2.2 Fatores determinantes na maciez da carne

O resultado da qualidade final da carne é dependente de uma seqüência de eventos bioquímicos, no músculo *post mortem* que estão relacionadas com o manejo ao qual o animal foi submetido. Três são os componentes que definirão a maciez da carne: 1) Patamar de maciez intrínseca, resultado de limitações estruturais do tecido conjuntivo que envolve a musculatura; 2) Endurecimento da estrutura muscular pelo estabelecimento do *rigor mortis*; 3) Taxa e extensão do

processo de desestruturação limitada do arcabouço miofibrilar por enzimas proteolíticas, denominado amaciamento ou maturação (DELGADO; SANTOS, 2007).

As limitações produzidas pelo colágeno, presente no tecido conjuntivo intramuscular, na textura da carne são estabelecidas durante a vida do animal, enquanto a magnitude de contribuição das proteínas contráteis é resolvida durante o período de resfriamento da carcaça, podendo ser controlada (ROBERTSON et al., 1984). Sendo assim, técnicas *post mortem* para garantir maciez da carne bovina, como estimulação elétrica, maturação, pendura da carcaça pelo ísquio ou injeção com cálcio, podem não anular o impacto de fatores pré-abate, ou seja, inerentes ao próprio animal na determinação da maciez.

2.2.1 Maciez intrínseca

Os primeiros relatos sobre a conexão entre o colágeno intramuscular e a maciez da carne datam do início do século XX, com que certa ênfase nos estudos ocorreu entre as décadas de 40 e 70, revelando algumas das complexas maneiras com que o colágeno impacta a maciez da carne (BAILEY; LIGHT, 1989). A quantidade total de colágeno, a organização molecular das fibras de colágeno e os componentes da estrutura do colágeno foram considerados como variáveis explanatórias para a dureza na carne.

Embora exista relato de correlação entre conteúdo total de colágeno e dureza da carne (DRANSFIELD, 1977; TORRESCANO et al., 2003), existe pouca variação na concentração de colágeno total durante o crescimento do animal (BAILEY; LIGHT, 1989).

A solubilidade do colágeno, por sua vez, decresce com o aumento de peso e da idade do animal, sendo esta característica diretamente relacionada com a maciez da carne (CROSS; CARPENTER; SMITH, 1973). Todavia, diferenças na solubilidade do colágeno intramuscular podem ocorrer devido ao ritmo de crescimento muscular (RENAND et al., 1994). Animais, alimentados com dietas de alta energia no pré abate, apresentam uma grande síntese protéica e, portanto, espera-se que produzam carne com grande quantidade de colágeno recém sintetizado, que é mais termo lábil (ABERLE et al., 1981). Vacas adultas alimentadas com dietas de alta energia apresentaram maior proporção de colágeno solúvel (MILLER et al., 1987).

O conteúdo de colágeno insolúvel foi apontado como principal definidor da maciez da carne, até mesmo aquela maturada, de bovinos zebuínos (Brahman), e sua regulação considerada uma oportunidade para a melhoria da qualidade da carne de animais com aquele genótipo (RILEY et al., 2007). Modelagem sobre as variações na maciez da carne tem considerado o comportamento borrachóide da molécula de colágeno, apontando proporcionalidade entre a maciez e a capacidade elástica da malha colagenosa (LEPETIT, 2007). Portanto, sob condições semelhantes de *rigor mortis*, tempo de maturação e pH, músculos com maior teor de ligações cruzadas das moléculas de colágeno por volume de músculo seriam menos macios.

Apesar do longo histórico sobre a importância do colágeno para qualidade da carne, não são raros trabalhos mostrando que esse efeito é de difícil identificação experimental. Em músculos *Longissimus dorsi* provenientes de carcaças de fêmeas, as proporções de colágeno ou ligações cruzadas nas moléculas de colágeno não variaram entre animais com maturidade fisiológica “A” (cartilagens dos processos espinhosos das vértebras torácicas sem ossificação) ou “C” (cartilagens apresentando processo ossificatório em desenvolvimento) (FIELD et al., 1997). A maturidade esquelética verificada em fêmeas adultas e jovens também não influenciou a força de cisalhamento da carne, embora o painel sensorial tenha detectado maior maciez em carne proveniente de fêmeas jovens (SHACKELFORD; KOOHMARAIE; WHEELER, 1995).

Em um estudo utilizando vacas adultas, alimentadas por períodos diferentes com uma dieta de alta energia e proteína, foi constatado um aumento na solubilidade de colágeno e uma redução na força de cisalhamento com o tempo de alimentação, embora essas diferenças em maciez não tenham sido detectadas na avaliação sensorial (BOLEMAN et al., 1996).

2.2.1.2 Maturação da carne

A maturação ou amaciamento natural da carne em condições refrigeradas está relacionado com um processo proteolítico, principalmente com o sistema das calpaínas e do seu inibidor natural, a calpastatina (KOOHMARAIE, 1996; GOLL et al., 2003, 2007; KOOHMARAIE; GEESINK, 2006). Essas proteínas são produzidas pelos músculos como proenzimas dependentes de cálcio para sua ativação,

apresentando um resíduo de cisteína no seu sítio ativo. Existem duas proteinases principais: m – calpaína ou calpaína tipo II e μ - calpaína ou calpaína tipo I. As alterações decorrentes do processo proteolítico são responsáveis por mais de 85% das variações na maciez da carne (KOOHMARAIE, 1992).

A calpastatina é inibidora das calpaínas, impedindo a degradação das proteínas musculares durante o processo de maturação (KOOHMARAIE, 1994). Apresenta uma atividade "suicida", pois na sua presença, as calpaínas em vez de hidrolisarem as outras proteínas, hidrolisam as próprias calpastatinas (DOUMIT; KOOHMARAIE, 1999).

A atividade da calpastatina 24 horas *post mortem* foi identificada como o indicador isolado que apresenta a maior correlação com maciez de carne bovina verificada por instrumento (força de cisalhamento), após maturação por 14 dias (WHIPPLE et al., 1990). Portanto, esta proteína tem sido relatada como a responsável pelo controle da taxa e extensão do amaciamento natural da carne (GEESINK; KOOHMARAIE, 1999).

Degradação de colágeno (TORNBERG, 1996) e alterações na estrutura do tecido conjuntivo (TAYLOR; KOOHMARAIE, 1998) não foram verificadas em músculos de bovinos e ovinos, respectivamente. Por outro lado, existem relatos de degradação das proteoglicanas da matriz extracelular, que seriam um fator de enfraquecimento do tecido conjuntivo intramuscular em músculo de bovinos (NISHIMURA et al., 1996). Entretanto, existem inferências teóricas de transformações no tecido conjuntivo decorrentes da ação de proteases lisossomais (catepsinas) que atuam na degradação do colágeno durante a maturação (DUTSON, 1983; LAWRIE, 1977), e que proteases lisossomais, tais como as catepsinas B, L, N e S, seriam capazes de clivar colágeno nativo insolúveis em fragmentos solúveis (BAILEY; ETHERINGTON, 1980). Por outro lado, existe relato de que a inativação das catepsinas por inibidores específicos não parece interferir no processo de maturação (Uytterhaegen, Claeys e Demeyer, 1993). Não obstante, Li, Zhou e Xu (2008) identificaram que durante a maturação ocorreram alterações miofibrilares assim como aumento na solubilidade do colágeno intramuscular.

2.2.1.3 Solubilidade do colágeno e textura da carne

A alteração mais significativa no colágeno, relacionada com o avanço da idade, relaciona-se com aumento de sua insolubilidade. Embora a modificação de propriedades físicas do colágeno seja bem estabelecida, resultados conflitantes têm sido obtidos em relação à solubilidade do colágeno e medidas de maciez da carne.

De acordo com Listrat e Hocquette (2004) a maciez da carne é influenciada pela quantidade e solubilidade do colágeno no músculo, sob aquecimento. A estabilidade térmica do colágeno é relacionada à formação de ligações cruzadas estáveis entre as fibras colágenas (HILL, 1966), que são frequentemente observadas em animais mais velhos. Com o envelhecimento, diminui-se a quantidade de proteína solúvel, bem como a solubilidade do próprio colágeno, liberados da carne quando submetida ao aquecimento (GOLL; HOEKSTRA; BRAY, 1964), contribuindo para a dureza da carne.

A solubilidade do colágeno encontrado na carne de animais jovens foi relatada por Woessner Junior (1961), que encontrou 22% do colágeno intramuscular solubilizado em animais jovens de 8-9 semanas, e redução para 12% em novilhos de 10 meses, chegando a apenas 4% em vacas adultas.

2.2.1.4 Papel do colágeno na textura de carnes cozidas

A textura de carne crua parece não ter relação com a “dureza” da carne cozida (PALKA, 2003; PURSLOW, 2005). A alteração no tecido conjuntivo intramuscular, relacionada com desestruturação *post mortem*, aparece de forma clara em carne crua e não se mantém em carne cozida à temperatura de 60°C ou acima (LEWIS; PURSLOW; RICE, 1991). Portanto, o cozimento é fator determinante da contribuição do tecido conjuntivo na maciez.

O cozimento pode aumentar a contribuição do tecido conjuntivo intramuscular para a “dureza” da carne na faixa de temperatura de 20 a 50°C, com a contribuição miofibrilar sendo mais importante acima dos 60°C (BOUTON; HARRIS; RATCLIFF, 1981). Outros relatos consideram que em temperaturas acima de 70°C ocorre diminuição da maciez devido ao endurecimento do componente miofibrilar (DAVEY; NIEDERER; GRAAFHUIS, 1976; MCCRAE; PAUL, 1974). No entanto em trabalhos mais recentes amostras de carne cozidas a 50°C, não apresentaram

mudanças no tecido conjuntivo intramuscular. No ponto de cozimento a 60°C, granulações no perimísio e no sarcolema foram observadas. Estas granulações aumentam a 70°C. Foi relatado também um aumento na solubilidade do colágeno até 60°C, que dobrou aos 70°C e decresceu drasticamente na faixa acima de 80°C (PALKA, 1999).

Segundo Burson e Hunt (1986), o tipo de colágeno solubilizado por temperaturas de cozimento em torno de 70°C aparenta ser do tipo I. O colágeno tipo I de músculo aparenta ser mais facilmente solubilizado pelo calor que o tipo III por conter mais ligações cruzadas lábeis ao calor e ao ácido. As ligações dissulfeto intramoleculares do tipo III de colágeno também podem aumentar a estabilidade ao calor das fibras.

2.2.1.5 Benefícios da alteração no ritmo de crescimento animal

Diferenças entre taxa de crescimento e manejo nutricional têm sido extensivamente estudadas, a fim de manipular a qualidade e solubilidade do colágeno antes do abate. Em teoria, os animais alimentados com dietas que proporcionem rápido crescimento, o que pode induzir o aumento das taxas de “turnover” protéico, inclusive da molécula de colágeno, produziriam carne mais macia (FISHELL et al., 1985, ABERLE et al., 1981).

O aumento constante de ligações cruzadas maduras é devido à progressivas e contínuas reações que ocorrem dentro do colágeno fibrilar com a desaceleração das taxas de síntese, quando os animais atingem a maturidade, formando um colágeno fibrilar maduro. A remodelação faz parte do processo de adaptação do tecido em que a degradação contínua e renovação de tecido ocorrem, a fim de atender às mudanças no ambiente, tais como dieta, exercícios, dentre outros. Na remodelação do colágeno, são necessárias degradação e a síntese de moléculas novas de colágeno. Estruturas colágenas, em geral, sofrem remodelação contínua. Durante a remodelação, a destruição enzimática contínua e nova síntese de colágeno ocorrem, resultando em uma organização recém-ordenada de fibras podendo proporcionar carne mais macia (FISHELL et al., 1985).

Aberle et al. (1981) verificaram que a taxa de crescimento rápido pré-abate em bovinos pode levar a aumento da síntese protéica, incluindo colágeno. Este novo colágeno representa uma proporção facilmente solúvel, contribuindo

assim para maciez da carne. Trabalhando com ovinos, Sylvestre et al. (2002) encontrou resultados positivos da degradação de colágeno e melhor maciez associada com alta taxa de crescimento. No entanto, os resultados sobre a influência do manejo da nutrição sobre as características do colágeno, especificamente a solubilidade do colágeno, ainda são controversos. Cox et al. (2006) não encontraram diferenças em colágeno solúvel devido a diferentes manejos nutricionais a base de forragem e grãos. Esses resultados sugerem que o impacto da taxa de crescimento sobre as propriedades do colágeno podem ocorrer apenas em algumas condições fisiológicas específicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Animais

O projeto foi realizado no Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Corte/EMBRAPA (CNPGC/EMBRAPA). Foram utilizadas 38 fêmeas de descarte da raça Nelore, disponíveis no CNPGC, com idade entre 4 a 12 anos. O peso vivo e o escore corporal médios das vacas no início do período experimental foram $447,9 \pm 37,3$ e $7,23 \pm 0,97$, respectivamente.

3.2 Tratamentos

Os animais foram distribuídos de forma aleatória em dois grupos (Figura 1) e cada grupo foi submetido a um dos manejos de suplementação alimentar durante a estação seca: T1 - suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal; T2 – restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal. Os animais foram pesados e, avaliados pelo escore corporal (escala 1 a 9) segundo Spitzer (1986).



Figura 1 – Área disponível para os animais nos piquetes de *Brachiaria decumbens*. No lado esquerdo os animais em fase de restrição alimentar (T2), com oferta inicial de 1493 kg MS/animal. No lado direito, animais em manutenção do peso vivo (T1), com oferta inicial de 3141 kg MS/animal

O experimento foi dividido em duas fases. A primeira fase correspondeu ao período de restrição alimentar para parte dos animais visando à perda de peso e diminuição do escore corporal. As pesagens e avaliações de escore ocorreram nos tempos 1, 36, 78, 129 dias do início do experimento. A segunda fase, definida como

período de realimentação, iniciou no dia 129 e durou 174 dias. Nesta fase, as pesagens e avaliações corporais aconteceram nos dias 1, 36, 77, 107, 139 e 174.

Durante a primeira fase, foram realizadas coletas de amostras da forrageira nos piquetes experimentais e o material foi analisado para que a composição química e digestibilidade de massa forrageira fossem conhecidas nos diferentes manejos que os piquetes foram submetidos (Tabela 1).

Tabela 1 – Média da composição química e digestibilidade da massa de forragem ofertada aos animais durante a primeira fase experimental

Composição química e digestibilidade da massa de forragem (%)										
		MO ^a	PB ^b	FDN ^c	FDA ^d	DIVMO ^e	LigS ^f	LignP ^g	Celulose	Sílica
Piquete 1 (T1)	folha	90,4	7,4	75,4	37,1	46,5	3,0	9,6	22,7	5,9
	colmo	91,7	3,9	82,2	48,4	37,6	4,8	12,3	30,3	6,3
	morto	88,8	2,3	79,8	47,8	28,0	4,5	11,9	27,3	9,1
Piquete 2 (T2)	folha	89,0	9,8	74,4	36,2	54,3	3,1	9,3	22,4	6,4
	colmo	92,0	3,7	84,9	49,1	32,2	5,5	13,8	29,7	6,5
	morto	89,7	2,8	83,3	50,8	22,8	5,2	13,1	29,0	9,2
Piquete 2 vedado	folha	88,7	8,4	71,8	34,9	51,9	2,8	8,5	21,0	6,8
	colmo	90,7	3,6	82,1	44,1	40,0	4,2	12,2	26,4	7,0
	morto	88,3	2,6	81,7	50,0	27,6	4,9	12,5	27,9	10,1

^aMO: matéria orgânica; ^bproteína bruta; ^cFDN: Fibra em detergente neutro; ^dFDA: Fibra em detergente; ^eDIVMO: Digestibilidade in vitro corrigida para matéria orgânica; ^fLigS: Lignina sulfúrica; ^gLignP: Lignina permanganato de potássio

Os animais do grupo manutenção (T1) permaneceram durante a primeira fase do período experimental em um piquete de 16 hectares de *Brachiaria decumbens* com disponibilidade média de 2163,9 kg MS/animal e suplementação para o período da seca de 0,5 kg/animal/dia. A suplementação foi constituída de 20,6% de milho grão, 20% de farelo de soja, 25% casca de soja, 12% uréia, 7% de sal de recria, 15% sal branco, 0,4% de monensina sódica. Os cálculos de valor nutricional da suplementação foram baseados no National Research Council (1996).

Os animais do grupo de reposição do peso, denominado como grupo compensatório (T2), permaneceram em uma área de 7 hectares com disponibilidade média de 824,5 kg MS/animal durante a primeira fase experimental. Esta condição de manejo resultou em uma restrição alimentar.

Um piquete de 9 hectares permaneceu vedado durante a primeira fase do período experimental sendo ofertada aos animais no início da segunda fase (período

de águas) com disponibilidade de 5197 kg MS/hectare. Nessa fase foi disponibilizado a todos os animais uma suplementação composta por 28% de milho grão, 15% de farelo de soja 45%, 35% de casca de soja, 7% de sal de recria, 14,6% de sal branco e 0,4% de monensina sódica. Todos os animais tiveram acesso a sal mineral e água *ad libitum* durante todo o período experimental.

3.3 Abate e avaliação de carcaças

Os animais foram abatidos no laboratório de carcaças da Embrapa Gado de Corte seguindo o fluxo normal do estabelecimento, que é regulamentado pelo RIISPOA e inspecionado pelo Serviço de Inspeção Municipal (SIM) de Campo Grande, MS. O primeiro abate (n=10) aconteceu 37 dias após o término do período de restrição alimentar. Os outros abates aconteceram com 41 (n=10), 103 (n=10) e 137 (n=8) dias após o primeiro abate. O tempo entre os abates foi definido em função do desempenho dos animais e para gerar curvas de deposição de tecido durante a reposição de peso. Antes do abate, os animais foram submetidos a um período de jejum de sólidos de 16 horas.

Os animais foram abatidos pelo processo tradicional. As carcaças foram pesadas no final da linha de abate para determinação do peso de carcaça quente, sendo resfriadas em câmara fria, por 24 horas.

Foram realizadas avaliações quali-quantitativas nas carcaças (pesagens, cálculos de rendimentos, medições de comprimento de carcaça, avaliações de conformação, acabamento e maturidade fisiológica) conforme a rotina adotada no Laboratório de Avaliação de Carcaças Bovinas da Embrapa Gado de Corte (MÜLLER, 1987).

A maturidade fisiológica foi avaliada pelo grau de ossificação das cartilagens presentes nos processos espinhosos das vértebras torácicas, lombares e entre as vértebras sacrais. A conformação da expressão muscular foi avaliada de forma subjetiva e avalia principalmente a cobertura muscular do corte serrote, onde estão localizados os músculos de maior valor comercial. Além das avaliações descritas, o músculo *Longissimus* (na altura da 12ª vértebra torácica), foi utilizado para avaliações subjetivas da cor, textura e marmorização da carne (MÜLLER, 1987). A espessura da gordura de cobertura foi mensurada com uso de um paquímetro digital e a área de lombo com auxílio de papel vegetal que

posteriormente foi analisada em um aparelho de área foliar da marca Li-cor modelo 3100.

Foram retirados os músculos *Longissimus dorsi*, *Semitendinosus* e *Triceps brachii* de ambos os lados da carcaça. Os músculos foram divididos em subamostras e destinados a um dos seguintes tempos de maturação 1, 7, 14 ou 21 dias. Nessas subamostras foram realizadas as avaliações físico-químicas e de maciez objetiva.

3.4 Rendimento de cortes e componentes não-carcaça

Os pesos dos componentes não pertencentes à carcaça foram obtidos logo após o abate. Os componentes avaliados foram língua, fígado, coração, pulmão, rins, gordura perirrenal, rabada, baço e cabeça. Os rendimentos desses componentes foram calculados em função do peso de abate.

Para a obtenção do rendimento dos cortes primários, as meias-carcaças esquerdas foram seccionadas em dianteiro, serrote (traseiro especial) e costilhar (ponta-de-agulha), que após pesados foram conduzidos à sala de desossa. Foi realizada a pesagem dos cortes: filé, contrafilé, capa-de-filé, coxão mole, capa do coxão duro, lagarto, patinho, alcatra, picanha, maminha e posterior cálculo da porcentagem destes em relação ao peso do traseiro serrote. Foi realizada a pesagem de sebo, osso e recortes e suas proporções foram calculadas em relação ao peso da carcaça.

3.5 Atributos da qualidade

Após os músculos serem mantidos em câmara refrigerada para a obtenção dos diferentes tempos de maturação, as amostras foram congeladas para posterior avaliação. Bifes medindo 2,5 cm de espessura foram obtidos de cada músculo para realização da maciez objetiva.

3.5.1 pH

As medições de pH foram realizadas em duas oportunidades, a primeira por ocasião do abate, em que o pH do músculo *Longissimus* coletado na carcaça na

altura da 12ª costela, foi tomado nos tempos 1, 3, 6 e 24 horas pós-abate. A outra nos bifos utilizados para a avaliação objetiva de maciez dos músculos sob efeito dos diferentes tempos de maturação.

Para ambas as coletas de pH foi utilizado um aparelho portátil da marca Hanna modelo HI 99163DM-2 com um eletrodo combinado modelo HI99163.

3.5.2 Coloração

A cor do músculo foi determinada com um colorímetro miniscan XE PLUS da marca Hunter Lab, utilizando o iluminante A, 10º graus para observação padrão, calibrado para dois padrões (preto e branco). As análises foram feitas no músculo *Longissimus dorsi* (LD) 24 horas após abate. Para cada amostra foram realizadas 3 leituras em pontos distintos. O valor médio desses resultados foi utilizado na análise estatística.

Para cor da gordura foi utilizado à mesma metodologia, cuja leitura foi realizada na gordura de cobertura do músculo *Longissimus dorsi* sobre a 12ª costela. O sistema de avaliação usado foi o CIELAB, no qual o L* indica luminosidade, e o a* e o b* são as coordenadas de cromaticidade. As determinações dos valores para croma (C*), ângulo de tonalidade (H*) foram feitas de acordo com MacDougal (1994) obtidas nas determinações colorimétricas, com as seguintes fórmulas:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}; H^* = \arctan (b^* \div a^*).$$

3.5.3 Determinação das perdas por cocção

As perdas por cocção foram realizadas nos bifos de 2,5 cm de espessura retirados dos músculos *Longissimus dorsi* e *Semitendinosus* e *Triceps brachii*. O cálculo foi realizado por diferença na ocasião em que os bifos foram preparados para a análise objetiva da maciez.

3.5.4 Força de cisalhamento (FC)

Para a análise de FC, os bifes (maturação em câmara fria por 1, 7, 14 e 21 dias *post mortem*) foram descongelados em geladeira por 18 horas e assados em forno elétrico até atingirem a temperatura interna de 71 °C. Após o cozimento os bifes foram resfriados e posteriormente analisados. De cada bife foram removidas 6 amostras cilíndricas medindo 1,27 cm diâmetro com cerca de 2,5 cm de comprimento, extraídas paralelamente ao longo do eixo das fibras musculares (AMSA, 1995; WHEELER et al., 1997), por um elemento vazado acoplado a uma furadeira presa a um suporte em posição vertical. O cisalhamento foi realizado em um texturômetro da marca TA XT PLUS, realizado perpendicularmente na orientação longitudinal das fibras musculares. Cada amostra foi cisalhada por completo em seu centro geométrico por um acessório “Warner-Bratzler ‘V’ slot blade” (espessura de 3,0 mm e abertura triangular de 60°). Foi utilizada uma célula com carga de 30 kg de compressão e velocidade de 20 cm/min (WHEELER et al., 1997), sendo o valor obtido no texturômetro em Kgf.

3.5.5 Composição Centesimal

A composição centesimal (umidade, proteína, gordura e cinzas) foi analisada de acordo com as recomendações da Instrução Normativa Nº 20, de 21 de Julho de 1999 do MAPA (BRASIL, 1999). Esta análise foi realizada com carne liofilizada e os cálculos realizados na base da matéria seca. Para o ajuste dos cálculos, após a liofilização colocou-se na estufa 2g do material liofilizado à 105°C por 12 horas. O resultado foi usado para o ajuste da matéria seca. As análises de cinzas e umidade foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Embrapa, e para as análises de proteína bruta e extrato etéreo foi usado o Laboratório de Biotecnologia da Universidade Católica Dom Bosco / Campo Grande – MS.

3.5.5.1 Umidade

A umidade foi obtida por diferença entre o material *in natura* e após liofilização e secagem em estufa.

3.5.5.2 Proteína Bruta

A determinação de proteína foi feita pelo método Kjeldahl que se baseia na determinação de nitrogênio total e utilizando fator 6,25 para conversão em proteínas. O método está baseado na análise de nitrogênio total, o qual é fixado sob a forma de sal amoniacal. A amônia (NH₃) é liberada por ação alcalina, solubilizada em meio ácido e subsequentemente titulada com solução ácida. O teor de nitrogênio (N) encontrado foi convertido em porcentagem de proteína presente na amostra.

3.5.5.3 Extrato Etéreo

A extração foi realizada em Soxhlet com éter de petróleo (cerca de 50 ml) durante um período de 8 horas. Quando necessário foi realizado à reposição de éter durante a extração. A temperatura do aparelho foi ajustada de modo a promover uma taxa de condensação ≥ 30 gotas por segundo. O cartucho foi retirado do extrator e então foi feita a recuperação do solvente. O balão ficou na estufa a 105°C por aproximadamente 30 minutos, resfriado em um dessecador até temperatura ambiente e em seguida efetuado a pesagem em balança analítica. O cálculo foi realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ gordura} = \frac{((\text{peso do balão} + \text{resíduo}) - \text{peso do balão vazio}) \div \text{peso da amostra}}{\times 100}$$

3.5.5.4 Cinzas

Para determinar o teor de resíduo mineral fixo (cinzas) na amostra. A análise é baseada na perda de massa quando a amostra é incinerada, sem perda ou decomposição significativa dos constituintes minerais. O material foi incinerado em mufla a 550°C até a calcinação total da amostra. Para obter a quantidade de gramas de cinzas da amostra foi feito o seguinte cálculo:

quantidade de cinzas (g) = peso_{final} + peso_{inicial}. Posteriormente para obter a porcentagem de cinzas foi realizado o cálculo:
 $\% \text{ cinzas} = \frac{((100 \times \text{quantidade de cinza da amostra (g)}) \div \text{peso da amostra})$

3.6 Análises das modificações protéicas

3.6.1 Índice de Fragmentação Miofibrilar (MFI)

Amostras de todas as carcaças foram obtidas e estocadas em nitrogênio líquido para posterior análise. Para realização da análise as amostras foram processadas para obtenção de homogenato referentes aos tempos de 1 e 21 dias após o abate, das quais foram obtidas as frações sarcoplasmáticas e miofibrilar segundo método de purificação de miofibrilas descrito por Culler et al. (1978). Para a determinação foram necessários 4g de tecido muscular de cada animal, homogeneizados em tampão (KCl 100mM; KH₂PO₄ 20mM; K₂HPO₄ 20mM; MgCl₂ 1mM; EDTA 1mM) nos liquidificadores de alta rotação do tipo "Waring". Sendo feita a leitura do MFI em espectrofotômetro Coleman 295 a 540 nm.

3.6.2 Determinação de colágeno

A análise de colágeno total e solúvel foi realizada segundo Bergman e Loxley (1961) modificado por Brown; Worsfold e Sharp (2001) nos 3 músculos estudados, nos tempos 24 horas *post mortem* e 21 dias de maturação. O teor de colágeno e suas frações foram avaliados pela quantificação do aminoácido hidroxiprolina após a hidrólise do material (Figura 2). Os resultados foram calculados mediante uma curva de resposta. A expressão dos resultados foi referir-se aos valores de hidroxiprolina que foram obtidos a partir das leituras da absorbância realizadas em espectrofotômetro. Para a análise de colágeno solúvel as amostras foram primeiramente cozidas em banho-maria a 80°C por 75 minutos e posteriormente centrifugada a 4000 rpm por 10 minutos à temperatura de 20°C. O fator de conversão utilizado para as duas análises foi 7,14 vezes a concentração de hidroxiprolina.

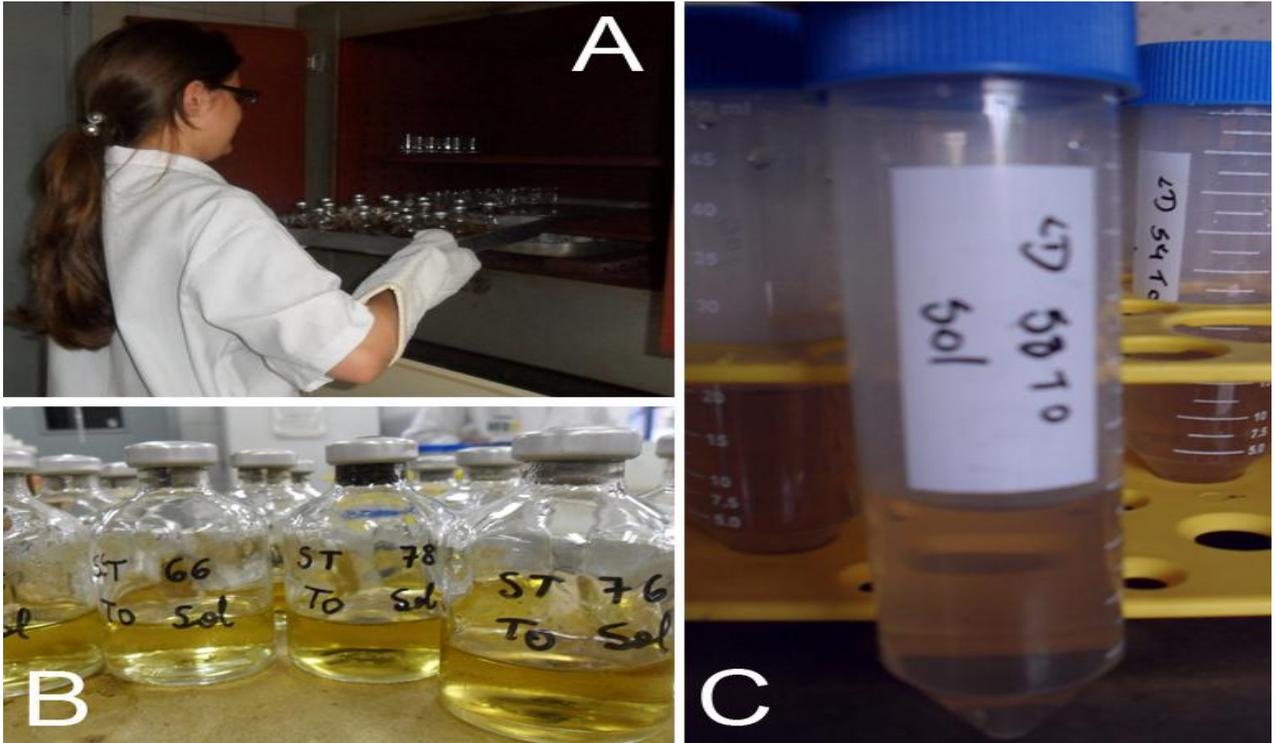


Figura 2 – Etapas para determinação do colágeno. A) Amostras sendo colocadas na estufa para hidrólise do colágeno; B) Amostras de colágeno total após hidrólise; C) Amostra de colágeno solúvel após neutralização

3.7 Avaliação do tecido conjuntivo por microscopia de luz

A avaliação da arquitetura do tecido conjuntivo foi realizada para determinar a relação entre espessura do perimísio e maciez de acordo com os procedimentos descritos por Flint e Pickering (1984) modificados Fang; Nishimura e Takahashi (1999). Foram retiradas amostras dos músculos *Longissimus dorsi* e *Semitendinosus*, logo após o abate. As amostras foram cortadas na forma de blocos (5x5x10mm) e imediatamente fixadas em paraformoldeído 4%. Após a fixação, as amostras foram processadas e incluídas em parafina. Os cortes histológicos com aproximadamente 5µm de espessura foram colhidos em lâminas submetidos à coloração. Para evidenciar o arranjo estrutural do colágeno na musculatura os mesmos foram corados com Sirius Red 0,1% em solução aquosa saturada de ácido pícrico por 60 minutos e lavados por 5 minutos em água destilada. Em seguida foram contra corados com hematoxilina, lavados por 10 minutos em água corrente, desidratados em série etanólica, crescente, clarificados em xilol (JUNQUEIRA; BIGNOLAS; BRENTANI, 1979) e montados em etelan (Figura 3).

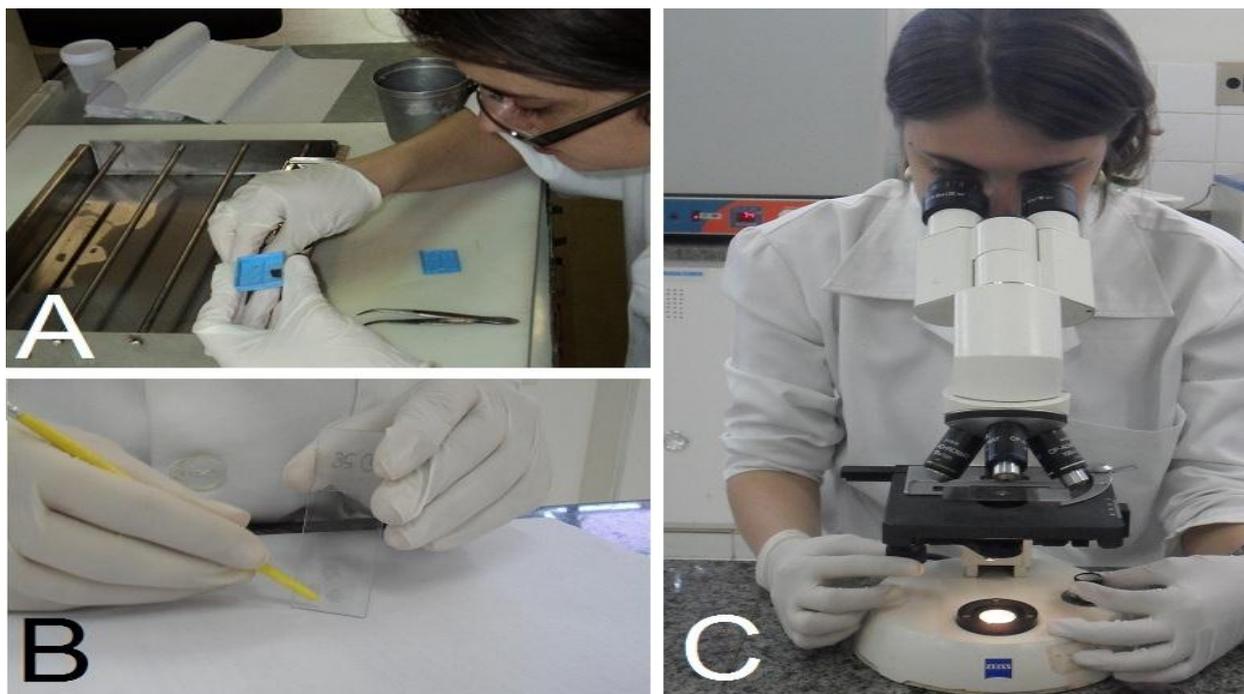


Figura 3 – Preparação de amostras para análise de tecido conjuntivo por microscopia de luz. A) Preparação dos blocos; B) Montagem das lâminas em entelan; C) Observação das lâminas após processamento

A partir das lâminas processadas, foi realizada a captura de imagens por meio de câmera de vídeo Samsung®, acoplada ao microscópio Bioval L2000C, utilizando o programa ImageLab versão 2.4, para a descrição dos aspectos morfológicos dos músculos, foi utilizado um sistema de análise de imagens computadorizado em conjunto ao programa OPTIMUS 4.0. A espessura do perimísio secundário foi medida em 12 micrografias (N=24) compostas de amostras obtidas em 6 diferentes áreas de corte transversal.

3.8 Efeitos do cozimento na tensão do tecido conjuntivo intramuscular

A análise visou demonstrar diretamente as propriedades de ruptura do perimísio visando determinar o impacto desse constituinte na textura da carne. Foi avaliado o perimísio do músculo *Semitendinosus* através de teste de tensão, seguindo a metodologia descrita por Lewis e Purslow (1989). As amostras foram coletadas 24 horas *post mortem*. Bifes de 2,5 cm de espessura embalados a vácuo, cozidos em banho-maria a 80°C por 1 hora. Após a cocção e resfriamento, perimísio envolvendo os maiores feixes de fibra muscular foi retirado com auxílio de bisturis e pinças e submetido a teste de tensão, utilizando um equipamento desenvolvido no

laboratório de mecanotransdução celular do Dr. Peter Purslow, na Universidade de Guelph, Canadá. Esta técnica permite, com o isolamento do perimísio, uma medida direta dos efeitos do tratamento nas propriedades intrínsecas do tecido. O músculo *Semintendinosus* foi escolhido como o material amostral para este estudo por causa da grande quantidade de dados disponíveis na literatura sobre suas propriedades e pela facilidade de obtenção de amostras do perimísio neste músculo.

Durante a preparação do material para análises, os mesmos permaneceram imersos em 0-9% NaCl. As amostras de tecido conjuntivo foram acopladas a um suporte, que foram organizados em um quadro de papel para um comprimento de amostra de 3,3 mm. As amostras foram submetidas ao ponto de ruptura a uma taxa de taxa de 6-5 mm/min até que fosse completamente quebrado e o pico de carga medido. A força necessária para ruptura do perimísio e os gráficos foram gravados automaticamente. Após a conclusão do teste, o material da amostra foi removido e liofilizado, com o peso pós-liofilização foi realizado o ajuste dos cálculos (Figura 4).

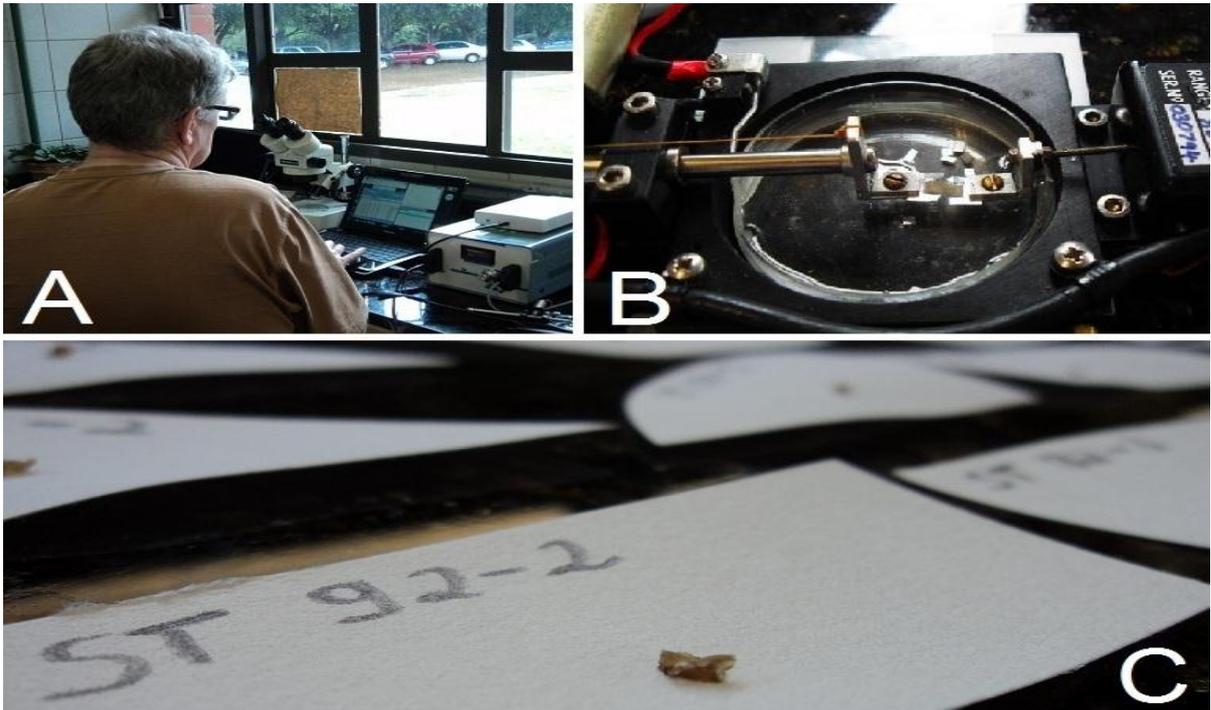


Figura 4 – Determinação da tensão do perimísio. A) Dr. Peter Purslow realizando a coleta de dados de tensão do perimísio; B) Equipamento realizando a ruptura da amostra de perimísio; C) amostra de perimísio pós-liofilização

3.9 Análise estatística

Para avaliar o desempenho dos animais, as características de carcaça e as proporções de cortes e subprodutos, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em um arranjo fatorial 2 x 4 com 5 repetições, exceto o último abate em que havia apenas 4 repetições por tratamento. Para complementar os resultados em algumas variáveis foram feitos estudos de regressão utilizando modelos específicos envolvendo o efeito do tempo.

Para análise envolvendo tempo de maturação o arranjo experimental utilizado incluiu medida repetida no tempo. Foi utilizada a análise de variância do procedimento GLM (“General Linear Model”) do pacote estatístico SAS (STATISTICS ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE - SAS, 2002). Quando houve efeito significativo dos tratamentos ($P < 0,05$), as médias ajustadas foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey com $\alpha < 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desempenho animal e características de carcaça

A interação entre manejo alimentar e momento de avaliação foi significativa ($P < 0,05$) para as variáveis de ganho e aquelas com alta correlação com o peso vivo, indicando que os manejos alimentares proporcionaram respostas diferentes em termos de ganho de peso e escore corporal em ambas as fases experimentais (Figura 5 e 6). Em função disso, essas variáveis foram avaliadas por análise de regressão dentro de cada tratamento.

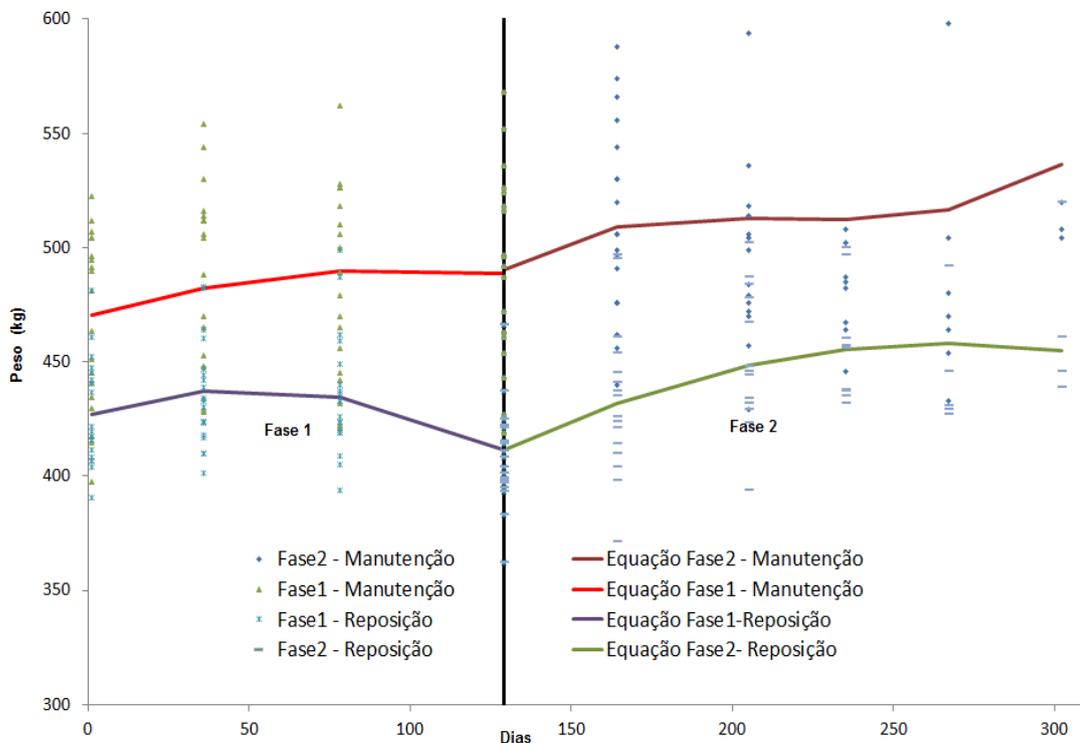


Figura 5 – Evolução do ganho de peso em fêmeas Nelore submetidas a dois sistemas de manejo alimentar. T1 suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal; T2 restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal

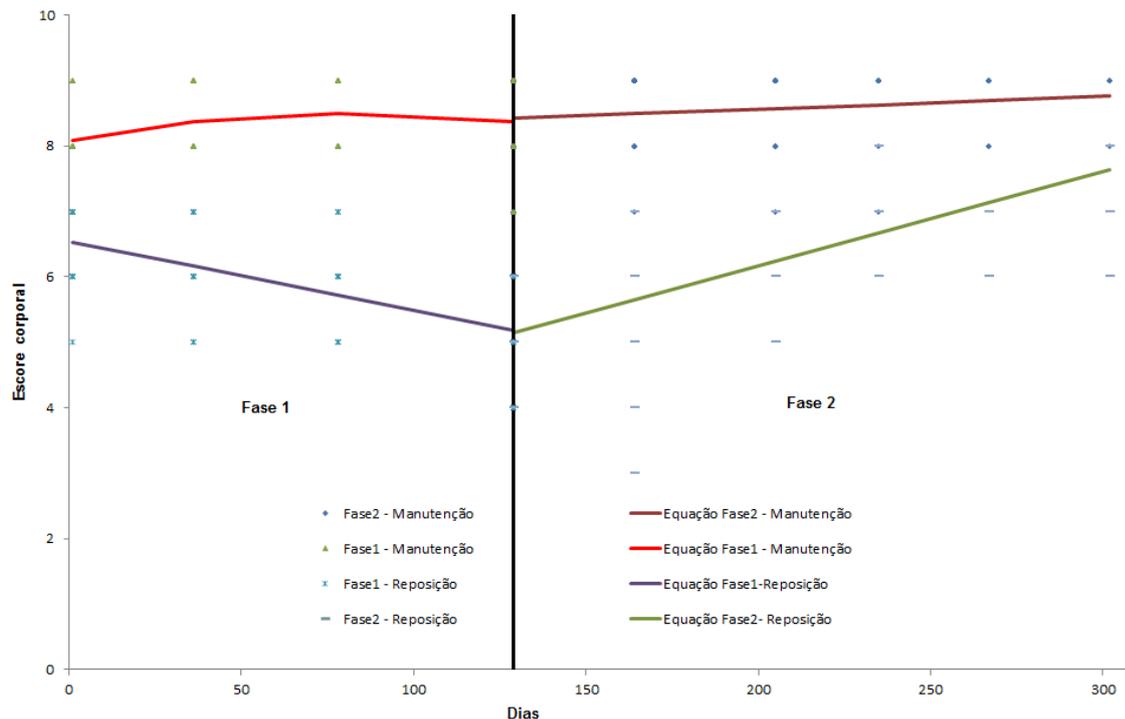


Figura 6 – Evolução do escore corporal em fêmeas Nelore submetidas a dois sistemas de manejo alimentar. T1 suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal; T2 restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal

As equações obtidas para peso vivo e escore corporal dentro do tratamento manutenção foram significativas ($P < 0,05$), ou seja, os valores observados para essas variáveis foram afetados pelo momento de avaliação. As equações na fase 1 foram $Y = 469,95 + 0,42X - 0,002X^2$ ($P < 0,001, r^2 = 0,94$) e $Y = 8,08 + 0,01X - 0,0001X^2$ ($P < 0,01, r^2 = 0,16$) para peso e escore, respectivamente. Na fase 2, as equações foram $Y = 489,35 + 0,89X - 0,01X^2 + 0,00004X^3$ ($P < 0,001, r^2 = 0,84$) e $Y = 8,41 + 0,002X$ ($P < 0,05, r^2 = 0,15$) para peso e escore, respectivamente. Embora significativas, as equações para escore corporal descrevem pequena variação sendo explicada pelo momento de avaliação.

As equações para evolução do peso dos animais em manejo com ganho de peso compensatório foram significativas nas duas fases experimentais, demonstrando que os animais apresentaram uma mudança no ritmo de crescimento no decorrer das duas fases. Na primeira fase os animais do grupo compensatório apresentaram equação para peso de $Y = 426,74 + 0,44X - 0,004X^2$ ($P < 0,001, r^2 = 0,90$). Na fase 2 que correspondeu ao período de realimentação, os animais apresentaram evolução de peso de $Y = 410,6 + 0,68X - 0,02X^2$ ($P < 0,001, r^2 = 0,82$). Para a variável escore corporal as equações para os animais do grupo compensatório foram $Y = 6,5 -$

0,01X ($P < 0,0001$), $r^2 = 0,36$) e $Y = 5,13 - 0,01X$ ($P < 0,01$, $r^2 = 0,54$) para as fases 1 e 2, respectivamente. As variações no peso e escore apresentaram uma correlação alta e média com o momento de avaliação no período experimental. De maneira geral, as equações para peso corporal apresentam um ritmo positivo de deposição tecidual, com variações nas taxas entre os manejos, exceto para os animais que sofreram restrição alimentar e portanto perda de peso no final da primeira fase. As variações de taxas de acréscimo tecidual podem alterar a composição de carcaça. O escore corporal das vacas do grupo manutenção, mesmo com a variação de peso observada, manteve-se alto durante todo o período experimental.

No grupo manutenção, somente as variáveis de peso de carcaça quente, peso do costilhar, peso do serrote e peso de recortes foram afetadas pelo momento de abate ($P < 0,05$). As equações para essas características foram $Y = 270,75 + 0,06X + 0,003X^2$ ($P < 0,001$, $r^2 = 0,88$), $Y = 30,03 + 0,15X - 0,0007X^2$ ($P < 0,001$, $r^2 = 0,69$), $Y = 57,93 - 0,09X + 0,001X^2$ ($P < 0,001$, $r^2 = 0,80$) e $Y = 6,16 + 0,03X + 0,05X^2$ ($P < 0,01$, $r^2 = 0,56$), respectivamente. Os valores observados para as demais características de carcaça por ocasião do abate inicial não sofreram modificações significativas com o decorrer dos abates seriados. Por esta razão não são relatadas as correlações entre características de carcaça durante o período experimental. Por outro lado, as características de carcaça correlacionadas com o peso vivo nos animais do grupo compensatório sofreram efeito do momento de abate ($P < 0,05$). As variáveis de deposição de gordura descrevem uma resposta crescente enquanto a proporção de osso uma resposta linear decrescente (Tabela 2).

A espessura de gordura de cobertura das carcaças do grupo compensatório apresentou média dentro dos limites considerados adequados pelos frigoríficos (3 a 6 mm) e aumentou com o incremento no peso de abate durante a realimentação. O inverso ocorreu com a participação percentual do osso na carcaça que diminuiu com relação ao aumento do tempo para abates, refletindo o aumento de tecido adiposo. Esse comportamento dos tecidos com o aumento do peso de abate dos animais já foi relatado por Gresham et al. (1986), em vacas de descarte.

Aumento na deposição de gordura subcutânea de vacas de descarte tem sido relatado por outros autores, variando em intensidade, principalmente em função do nível energético da dieta e do grupo genético (WOOTEN et al., 1979; MATULLIS et al., 1987; SCHNELL et al., 1997).

Com o incremento no peso de abate ocorreu um aumento na relação entre cobertura de gordura e área de olho do lombo, bem como na espessura de gordura subcutânea, percentagem de sebo e a relação entre sebo e musculabilidade. A melhoria da conformação foi correlacionada positivamente com o peso do traseiro e rendimento de carcaça. A conformação ainda apresentou correlação com a cobertura de gordura e área de olho do lombo, no entanto isso não refletiu positivamente no marmoreio das carcaças (Tabela 3). Portanto destacam-se o aumento de adiposidade e de tecidos conjuntivos (i.e., sebo) na composição da carcaça. Não foi verificada correlação entre distribuição da gordura de cobertura e momentos de abate seriado ($r=0,093$ $P>0,05$).

As respostas do efeito do peso de abate sobre o rendimento de carcaça de vacas de corte reportadas na literatura não são unânimes. Wooten et al. (1979) trabalhando com vacas abatidas em quatro momentos com pesos crescentes (385,7 a 530,3 kg), não verificaram diferença significativa no rendimento de carcaça, que oscilou entre 53,8 e 54,8%.

Tabela 2 – Parâmetros das equações de regressão de características quali-quantitativas em relação ao momento de abate para fêmeas nelore adultas com baixo escore corporal inicial submetidas a suplementação para promover ganho de reposição do peso

Características	Média	Intercepto	Coefficiente linear	R ²	Probabilidade
Peso de abate (Kg)	429,84	411,24	0,28	0,80	<0,0001
Peso de Carcaça Quente (Kg)	241,75	224,79	0,25	0,81	<0,0001
Peso costilhar (Kg)	18,59	17,57	0,01	0,61	0,0006
Peso traseiro (Kg)	75,79	70,40	0,08	0,74	<0,0001
Peso serrote (Kg)	57,19	52,83	0,06	0,72	<0,0001
Rendimento de carcaça (%)	56,00	54,71	0,02	0,44	0,0091
EGS (mm)	4,24	2,43	0,03	0,45	0,0083
AOL (cm ²)	58,32	54,25	0,06	0,36	0,0288
Proporção de Osso (%)	19,28	20,53	-0,02	0,25	0,0286
Proporção de Sebo (%)	4,44	3,48	0,01	0,69	<0,0001

Tabela 3 – Coeficiente de correlação entre as características da carne e da carcaça de vacas Nelore adultas com baixo escore corporal inicial submetidas a suplementação para promover ganho de reposição de peso

	Textura	MF ^d	Comp Carc ^e	Ptras ^f	AOL ^g	Cor	Marm ^h	mm/ cm ²ⁱ	AOL/ PCF ⁱ	Dist ^j	EG ^m	% sebo	% cortnb ⁿ	% osso	sebo/ musc ^o
PA ^a	-0,083	-0,170	-0,256	0,340	0,339	-0,459	0,118	0,476	0,052	0,213	0,364	0,565	-0,148	-0,289	0,566
#P	0,734	0,487	0,298	0,154	0,156	0,085	0,629	0,039	0,832	0,380	0,126	0,012	0,545	0,230	0,012
RC ^b	-0,370	-0,274	0,648	0,876	0,432	0,420	-0,332	0,257	-0,267	0,349	0,536	-0,373	0,022	-0,373	0,349
#P	0,119	0,256	0,003	<0,001	0,065	0,119	0,165	0,287	0,269	0,143	0,018	0,116	0,928	0,116	0,143
Conf ^e	0,024	-0,431	0,321	0,661	0,246	0,264	-0,430	0,493	-0,370	0,062	0,123	0,149	0,094	-0,191	0,114
#P	0,923	0,065	0,180	0,002	0,309	0,342	0,066	0,032	0,119	0,799	0,614	0,543	0,701	0,433	0,643

^apeso de abate; ^brendimento de carcaça; ^cconformação; ^dmaturidade fisiológica; ^ecomprimento de carcaça; ^fpeso de traseira; ^gárea de olho de lombo; ^hmarmoreio; ⁱmilímetro de gordura por cm² de área de olho de lombo; ^járea de lombo por peso de carcaça fria; ^kdistribuição; ^mespessura de gordura; ⁿporcentagem de cortes; ^orelação sebo/músculo; ^pprobabilidade

4.2 pH

Para a medida de pH e variáveis colorimétricas não houve efeito da interação entre manejo e momento do abate seriado ($P>0,05$), portanto foram feitas comparações entre os manejos.

Não foi encontrada diferença ($P>0,05$) para os tempos 1, 3, 6, 24 entre os diferentes manejos (Tabela 4). As carcaças apresentaram curva de queda de pH considerada normal para a espécie, sendo o pH final dentro dos limites aceitáveis (HONIKEL et al., 1981).

Tabela 4 – Médias para os valores de pH no músculo *Longissimus dorsi* de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo

Manejo	pH			
	1 hora	3 horas	6 horas	24 horas
Compensatório [*]	6.53	6.28	6.03	5.43
Manutenção [#]	6.65	6.20	6.00	5.45
Desvio padrão	0.23	0.21	0.35	0.21

Compensatório^{*}: restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal; Manutenção[#]: suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal

4.3 Coloração da Carne

Na análise colorimétrica avaliada de forma objetiva para os parâmetros de L^* , a^* , b^* , C^* e Hue da gordura subcutânea, não foram verificadas diferenças significativas ($P>0,05$) entre os dois manejos alimentares (Tabela 5).

Em trabalho realizado com vacas de descarte, o incremento no tempo de alimentação associado a altos níveis de energia da dieta, ocasionou em melhoras na coloração da carne (BOLEMAN et al., 2006). Neste trabalho para a análise de cor realizada no músculo *Longissimus dorsi* foi encontrado valor de L^* superior ($P<0,05$) nos animais pertencentes ao grupo manutenção, indicando carne mais clara (maior luminosidade) em relação ao grupo compensatório. A luminosidade nos animais provenientes do grupo manutenção pode ter sido influenciada pela quantidade de gordura, que pode influenciar a leitura obtida (CAÑEQUE et al., 2003).

O ângulo de tonalidade (Hue) foi maior para os animais do grupo manutenção ($P<0,05$). Segundo Hunt et al. (1991) e Insausti et al. (1999) o aumento nos valores

de hue (H*) não estão relacionados com o incremento na coloração vermelha da carne mas estariam relacionados com a prevalência de pigmentos amarelos. Neste trabalho mesmo não sendo observada diferença significativa, os valores de b* foram elevados para os animais do grupo manutenção. A prevalência do parâmetro b* pode estar relacionada à composição de carotenóides nas pastagens (PRIOLO; MICOL; AGABRIEL, 2001), e níveis altos de gordura na carne, condição observada nos animais do grupo manutenção.

Tabela 5 – Médias ajustadas para valores de L*, a*, b*, C*, Hue e cor subjetiva aferidos no músculo *longissimus dorsi* de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo

Manejo Alimentar				
Parâmetros	Compensatório [‡]	Manutenção [#]	Probabilidade	Desvio Padrão
Músculo				
L*	34,67	36,53	0,0209	2,53
a*	22,80	23,59	0,2004	2,14
b*	14,26	15,33	0,0933	2,12
C*	26,90	28,15	0,6228	2,90
Hue	31,84	32,94	0,0407	1,75
Cor ² subjetiva	3,97	4,40	0,0647	0,61
Gordura				
L*	72,38	71,11	0,2594	3,44
a*	19,74	19,44	0,8492	4,84
b*	30,81	32,03	0,2661	3,50
C*	36,80	37,56	0,1441	4,90
Hue	57,80	58,91	0,4946	5,00

Compensatório[‡]: restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal; Manutenção[#]: suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal; L* indica luminosidade; coordenada a* varia de -a*-----+a* vai de verde a vermelho e b* de -b*-----+b* que vai de azul a amarelo; Hue: ângulo de tonalidade; C*: grau de concentração ou pureza de uma cor

4.4 Proporção de vísceras

Para as variáveis de proporção de vísceras em relação ao peso vivo e o rendimento de cortes comerciais em relação ao traseiro serrote (Tabela 6 e 7,

respectivamente) não houve efeito da interação entre manejo e momento do abate seriado ($P>0,05$), portanto foram feitas comparações entre os manejos.

A proporção de peso do fígado em relação ao peso vivo foi superior para as vacas do grupo compensatório ($P<0,05$). Este órgão é afetado porque participa ativamente no metabolismo de nutrientes e, portanto, é responsivo à ingestão de alimento. Em animais submetidos a ganho compensatório existe um crescimento rápido do fígado e intestinos em resposta ao consumo de nutrientes (LAWRENCE; FOWLER, 1997), que precede o aumento de ganho de peso de componentes da carcaça.

As proporções de peso de coração e de pulmão não foram influenciadas pelos manejos ($P>0,05$). Estes órgãos têm sua integridade em grande parte preservada por terem prioridade na utilização de nutrientes, independente do nível de alimentação (PERON et al., 1993). Portanto as modificações em peso não apresentaram impacto suficiente para modificar a proporção em relação ao peso corporal do animal.

A gordura interna aumentou linearmente com o aumento do período de realimentação para animais submetidos ao manejo compensatório. Estes resultados são coerentes com o relato de Robelin e Geay (1984), demonstrando que o aumento no consumo de energia que ocorreu no período de realimentação, leva ao aumento na deposição de gordura no corpo do animal.

Tabela 6 – Proporção de subprodutos em relação ao peso vivo e à carcaça proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo

Características	Peso Vivo			Probabilidade
	Manejo Alimentar			
	C [‡]	M [#]	DP	
Cabeça (%)	2,81	2,46	0,48	0,0318
Baço (%)	0,31	0,21	0,29	0,2833
Fígado (%)	1,20	1,10	0,12	0,0112
Coração (%)	0,36	0,34	0,03	0,0672
Pulmão (%)	0,83	0,78	0,25	0,0907
Rim (%)	0,17	0,16	0,03	0,2785
Gord.Per ^a (%)	1,02	1,39	0,51	0,0139
Rabada (%)	0,27	0,29	0,04	0,1404
Língua (%)	0,28	0,26	0,04	0,0920

C[‡]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); M[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal); ^a Gord. Per: Gordura Perirrenal

4.5 Proporções de cortes

Para a característica proporção de cortes nobres (Tabela 7), somente foram encontrados resultados significativos para proporção de contrafilé, capa de filé e patinho em relação ao traseiro serrote. A proporção dos dois primeiros cortes foram superiores para o grupo manutenção, enquanto a proporção do músculo patinho apresentou resultado inverso. A maior proporção do contra-filé e capa do filé para o grupo manutenção pode estar ligado à gordura associada a estes cortes, que foi reduzida para os animais do grupo compensatório durante a restrição alimentar e início de realimentação. Por outro lado, o resultado do patinho pode ser um indicativo de que este músculo seria um dos grupos musculares de maior resistência à atrofia causada pela restrição alimentar.

Tabela 7 – Proporção de cortes nobres das carcaças de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo em relação ao traseiro serrote

Características	Manejo Alimentar			
	Compensatório [‡]	Manutenção [#]	Probabilidade	DP
Filé Mignon(%)	2,86	2,70	0,0810	0,26
Contrafilé (%)	11,73	12,34	0,0356	0,94
Capa do filé (%)	2,55	2,93	0,0262	0,93
Coxão Mole (%)	10,17	10,10	0,7517	0,67
Capa do Coxão (%)	3,68	3,70	0,9077	0,41
Coxão Duro (%)	7,85	8,17	0,1354	0,65
Lagarto (%)	5,77	5,56	0,1191	0,39
Patinho (%)	7,47	7,02	0,0532	0,81
Alcatra (%)	5,77	5,56	0,1191	0,39
Picanha (%)	3,12	3,31	0,1632	0,43
Maminha (%)	1,99	2,04	0,4836	0,23

Compensatório[‡]: restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal; Manutenção[#]: suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal

4.6 Composição Centesimal

Os animais do grupo de ganho compensatório apresentaram carne com porcentagem de umidade superior ($P < 0,05$) quando comparados ao grupo manutenção (Tabela 8). Esta distinção parece ser devida principalmente ao diferencial detectado entre os manejos para o músculo *Semitendinosus*.

De forma geral, ao compararmos os músculos *Semitendinosus* e *Longissimus dorsi* foram observados, para o primeiro em relação ao segundo, maior teor de cinzas e menor quantidade de gordura intramuscular independentemente do manejo. O músculo *Triceps brachii* apresentou valores que não diferiram dos valores observados para o *Longissimus dorsi*, exceto para porcentagem de umidade, que foi superior dentro do grupo de manejo para manutenção.

As diferenças observadas estão associadas à mudanças na composição que foram relevantes no terceiro abate (103 dias de experimento), onde foram verificadas menor proporção de gordura e maiores proporções de proteína e umidade para as amostras dos animais do manejo ganho compensatório quando comparado ao manejo para manutenção. Obviamente, os valores de proteína precisam ser considerados com certa precaução, pois referem-se à determinações de nitrogênio no músculo, portanto com valores certamente mais elevados que a quantidade de proteína propriamente dita.

Tabela 8 - Média dos valores de composição centesimal de três músculos de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo

	Composição Centesimal							
	Cinzas		Gordura		Proteína		Umidade	
	Com [‡]	Man [#]	Com	Man	Com	Man	Com	Man
Manejo (M)	1,06	1,07	2,91	3,56	23,92	23,27	73,25 ^a	72,13 ^B
Músculo (Musc)								
<i>Longissimus dorsi</i>	1,03 ^c	1,07 ^{bc}	3,24 ^{ab}	4,08 ^a	23,64	23,21	72,59 ^{bc}	71,53 ^c
<i>Semitendinosus</i>	1,11 ^{ab}	1,13 ^a	2,25 ^c	2,64 ^{bc}	24,14	23,37	73,72 ^a	72,20 ^{bc}
<i>Triceps brachii</i>	1,00 ^c	1,03 ^c	3,23 ^{ab}	3,96 ^a	23,97	23,23	73,42 ^{ab}	72,65 ^{ab}
Momentos de abate (A)								
1	1,03	1,09	2,47 ^{Xx}	3,27 ^{Xx}	24,53 ^{Xx}	23,51 ^{Xx}	74,22 ^a	72,63 ^{ab}
41	1,06	1,07	3,04 ^{Xx}	3,59 ^{Xx}	24,14 ^{Xx}	23,60 ^{Xx}	73,16 ^{ab}	71,86 ^{bc}
103	1,07	1,05	2,86 ^{Xx}	4,37 ^{Yx}	24,22 ^{Xx}	22,63 ^{Yx}	72,85 ^b	71,30 ^c
137	1,07	1,08	3,25 ^{Xx}	3,00 ^{Xx}	22,76 ^{Xy}	23,33 ^{Xx}	72,96 ^{ab}	72,71 ^{abc}
EPM	0,02	0,02	0,07	0,07	0,05	0,05	0,39	0,39
Efeitos								
M		ns		ns		ns		**
A		ns		*		*		**
Musc		**		**		ns		**
M*A		ns		*		**		ns
M*Musc		ns		Ns		ns		ns

** (P<0,01); * (P<0,05); ns: não significativo; ^{AB;XY}: Médias seguidas de letras maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{ab}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{xyz}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); Com[‡]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); Man[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal)

4.7 Índice de fragmentação miofibrilar (MFI)

A fragilização natural progressiva da estrutura miofibrilar durante o período de maturação dos músculos acarretou em melhorias para os atributos de maciez da carne ($P < 0,05$). De modo geral, foi observado um aumento nos valores para MFI relacionado ao aumento do tempo de maturação, assim como melhoria na força de cisalhamento. No entanto, não foram observados efeitos dos diferentes sistemas de manejo sobre o índice de fragmentação miofibrilar ($P > 0,05$).

Valores maiores do índice de fragmentação miofibrilar ($P < 0,05$) foram obtidos nas amostras dos músculos *Longissimus dorsi* e *Triceps brachii* submetidas ao tempo de maturação (Tabela 9). Estes resultados demonstram que houve maior degradação de miofibrilas nesses músculos quando submetidos à maturação, de acordo com o exposto por Crouse e Koohmaraie (1990). Não foi observado este efeito de fragilização de miofibrilas no músculo *Semitendinosus*, que reforça a falta de uniformidade no processo proteolítico entre músculos durante o processo de maturação (SHACKELFORD et al., 1994).

Segundo Hopkins, Littlefield e Thompson (2000) as miofibrilas submetidas ao processo de maturação tendem a apresentar maior proteólise quando comparadas com as que não sofreram este processo. Foram encontradas correlações significativas entre MFI T21 e força de cisalhamento T21, indicando que o aumento da fragilização proteica diminuiu a força de cisalhamento do *Longissimus dorsi* ($r = -0,561$; $P < 0,05$), *Triceps brachii* ($r = -0,617$; $P < 0,05$). No entanto os valores encontrados neste trabalho foram inferiores a 60, que segundo Culler et al. (1978) é um indicativo de comprometimento no processo de amaciamento.

Tabela 9 - Média dos valores do índice de fragmentação miofibrilar da carne proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo em função do tempo de maturação

Índice de fragmentação miofibrilar da carne (MFI)			
	LD	TB	ST
Manejo (M)			
Com [‡]	28,51	31,32	32,14
Man [#]	29,95	29,22	34,61
Maturação (Mat)			
0	23,48 ^a	24,53 ^a	30,92
21	34,99 ^b	36,01 ^b	35,83
EPM	0,28	0,34	0,22
Efeitos			
M	ns	ns	ns
Mat	**	**	ns
M*Mat	ns	ns	ns

** (P<0,01); * (P<0,05); ns: não significativo; ^{ab}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); Com[‡]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); Man[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal)

4.8 Força de cisalhamento, perdas por cocção e pH

Para força de cisalhamento não foi encontrado diferenças estatísticas para os diferentes manejos. Os valores médios de força de cisalhamento no dia 1, *post mortem* foram 9,63kgf±2,14 para o músculo *Longissimus dorsi*, 6,62kgf±0,76 para o *Triceps brachii* e 8,01kgf±1,05 para o músculo *Semitendinosus*.

A maturação contribuiu para a melhoria da maciez objetiva (P<0,05) nos músculos *Longissimus dorsi*, *Triceps brachii* e *Semitendinosus* (Figura 7 e Tabelas 10, 11 e 12, respectivamente), além de ter impactado o valor de pH (P<0,05). No entanto, o pH no músculo *Longissimus dorsi*, aos 7 dias de maturação, apresentou valores médios excepcionalmente baixos e devem ser considerados com certa precaução. As perdas por cocção foram significativamente diferentes (P<0,05) entre manejos no músculo *Longissimus dorsi*. Segundo Dransfield (1994), o tempo de maturação exerce influência sobre o pH assim como nas perdas por cocção da

carne. A perda de suco estaria relacionada com a velocidade da queda do pH, enquanto que as perdas por cocção ao pH final. Considerando que o pico da força de cisalhamento sofre maior efeito da fração miofibrilar, e ainda, conhecendo os efeitos da maturação podemos inferir que a maturação contribuiu para a melhoria da qualidade da carne desses músculos. No entanto os valores de força de cisalhamento apresentados neste trabalho ainda podem ser considerados altos e passíveis de serem identificados como carne dura.

Trabalho realizado com provadores não treinados, utilizando como classificação para o limite de força de cisalhamento 4,1 Kgf verificou diferença entre carne dura e macia, mesmo quando a faixa de textura apresentava baixa variação (DELGADO et al., 2006). Segundo Shackelford et al. (1991) carnes macias apresentam valores de força de cisalhamento abaixo de 4,5 Kgf e o limite de força de cisalhamento 6 kgf é o que separaria a carne dura de macia (KOOHMARAIE, 1994; WHEELER et al., 1994). Animais com proporção de genes *Bos indicus* superiores a 25% precisam de períodos extensos de maturação da carne, com tempo mínimo de 14 dias de maturação (SHACKELFORD et al., 1991; KOOHMARAIE et al., 2003). Mesmo nestas condições existem limitações na eficácia do processo de maturação (WHEELER et al., 1997). Neste trabalho, tratando-se de animais velhos, mesmo a maturação por 21 dias não foi suficiente para conferir à carne com valores de força de cisalhamento. De acordo com Tuma et al. (1963), a idade pode exercer grande influência sobre a maciez da carne.

Não obstante, o processo de maturação está relacionado diretamente à redução da força de cisalhamento (FRENCH et al., 2001; MONSÓN; SAÑUDO; SIERRA, 2004), sendo mais efetivo em carnes consideradas duras. Portanto, é uma alternativa eficiente para a resolução das diferenças individuais na maciez em animais de idade elevada, por proporcionar um produto mais homogêneo (MONSÓN; SAÑUDO; SIERRA, 2004). Outra alternativa para carnes de animais velhos zebuínos seria a melhorar a eficiência do processo proteolítico durante a maturação. Apesar das extensas evidências da ação das calpaínas no processo de amaciamento da carne durante o processo de maturação, existem dúvidas sobre a atuação da m-calpaína. A maioria da proteólise ocorre predominantemente entre 3-14 dias de maturação, quando a ativação de m-calpaína é muito baixa. O processo proteolítico parece ser mais efetivo quando existe inclusão de cálcio durante o processo de maturação, que tem sido relacionado com o recrutamento da m-

calpaína para participação na proteólise post-mortem (WHIPPLE et al., 1990; SANTOS et al., 2006).

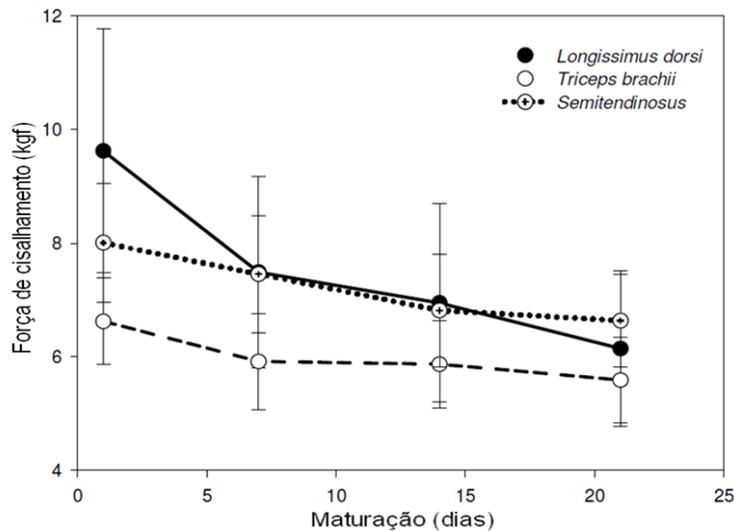


Figura 7 – Efeito da maturação na maciez da carne de músculos oriundos de fêmeas Nelore adultas

Alguns padrões diferenciados podem ser verificados nos três músculos quanto à força de cisalhamento. No músculo *Longissimus dorsi*, o processo de amaciamento parece ocorrer em uma taxa mais acelerada para os animais do grupo de ganho compensatório, sendo a força de cisalhamento aos 7 dias comparável aos valores obtidos aos 21 dias. No grupo manutenção, foram necessários 14 dias para atingir tal condição. Apesar disto, não foram verificadas diferenças na força de cisalhamento entre os grupos de manejo dentro dos tempos de maturação, bem como a extensão não foi alterada pelos manejos. Quanto ao momento de abate, o grupo de ganho compensatório apresentou menores valores de força de cisalhamento aos 41 e 103 dias, indicando um possível efeito do ritmo de crescimento compensatório sobre a proteólise muscular. A taxa de fragmentação pode ser incrementada pela realimentação (LEONARDO et al., 2008). Os outros músculos não apresentaram interação para a variável força de cisalhamento entre manejo e momento de abate, embora as mudanças de taxa de proteólise possam ser identificadas no *Semitendinosus*. Estas diferenças reforçam a idéia de impacto do processo de crescimento sobre os diferentes músculos.

Tabela 10 – Média dos valores da força de cisalhamento, pH e perdas por cocção (%) o músculo *Longissimus dorsi* proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejos, em função do tempo de maturação

	Força de cisalhamento LD (kgf)		pH		Perdas por cocção (%)	
	Com [‡]	Man [#]	Com	Man	Com	Man
Manejo (M)	7,36	7,80	5,49	5,45	33,64 ^A	31,01 ^B
Maturação (Mat)						
0	9,40 ^{ab}	9,91 ^a	5,71 ^a	5,68 ^a	33,26	32,58
7	6,86 ^{cd}	8,18 ^{bc}	5,12 ^c	5,04 ^c	32,19	30,53
14	6,91 ^{cd}	7,05 ^{cd}	5,66 ^a	5,67 ^a	32,66	30,72
21	6,28 ^{cd}	6,06 ^d	5,47 ^b	5,43 ^b	32,45	30,20
Momento de abate (A)						
1	7,86 ^{Xxy}	8,10 ^{Xx}	5,50 ^{Xxy}	5,57 ^{Xx}	33,71 ^{Xx}	30,25 ^{Yx}
41	6,52 ^{Xy}	8,32 ^{Yx}	5,49 ^{Xxy}	5,44 ^{Xy}	34,38 ^{Xx}	32,52 ^{Xx}
103	6,44 ^{Xy}	7,06 ^{Yx}	5,57 ^{Xx}	5,41 ^{Yy}	30,23 ^{Xy}	30,99 ^{Xx}
137	8,64 ^{Xx}	7,72 ^{Xx}	5,39 ^{Xy}	5,39 ^{Xy}	32,24 ^{Xxy}	30,29 ^{Xx}
EPM	0,18	0,18	0,01	0,01	0,35	0,35
Efeitos						
M	ns		ns		**	
M*A	**		**		*	
A	**		**		**	
M*Mat	ns		ns		ns	
Mat	**		**		ns	

** (P<0,01); * (P<0,05); ns: não significativo; ^{AB;XY}: Médias seguidas de letras maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{ab}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{xyz}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); Com[‡]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); Man[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal)

Tabela 11 – Média dos valores da força de cisalhamento, pH e perdas por cocção (%) o músculo *Triceps brachii* proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo, em função do tempo de maturação

	Força de cisalhamento (kgf)		pH		Perdas por cocção (%)	
	Com [‡]	Man [#]	Com	Man	Com	Man
Manejo (M)	5,99	6,04	5,55 ^A	5,49 ^B	34,68	34,69
Maturação (Mat)						
0	6,64 ^a	6,63 ^a	5,43 ^b	5,41 ^b	36,25 ^a	36,60 ^a
7	5,87 ^b	5,99 ^{ab}	5,78 ^a	5,73 ^a	35,20 ^a	33,93 ^{ab}
14	6,02 ^{ab}	5,75 ^b	5,47 ^b	5,35 ^b	35,39 ^a	34,68 ^{ab}
21	5,41 ^b	5,80 ^b	5,52 ^b	5,45 ^b	31,90 ^b	33,57 ^{ab}
Momentos de abate (A)						
1	6,03 ^{ab}	5,96 ^{ab}	5,62 ^{Xxy}	5,54 ^{Xxy}	37,11 ^{Xx}	35,40 ^{Xx}
41	6,35 ^a	6,07 ^{ab}	5,49 ^{Xyz}	5,63 ^{Xx}	33,29 ^{Xy}	33,08 ^{Xx}
103	5,47 ^b	5,54 ^b	5,70 ^{Xx}	5,37 ^{Yy}	32,92 ^{Xy}	35,57 ^{Xx}
137	6,09 ^{ab}	6,60 ^a	5,39 ^{Xz}	5,40 ^{Xy}	35,42 ^{Xxy}	34,72 ^{Xx}
EPM	0,08	0,08	0,02	0,02	0,37	0,37
Efeitos						
M	ns			*		ns
M*A	ns			**		*
A	**			**		**
M*Mat	ns		ns			ns
Mat	**		**			**

** (P<0,01); * (P<0,05); ns: não significativo; ^{AB;XY}: Médias seguidas de letras maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{ab}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{xyz}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); Com[‡]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); Man[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal)

Tabela 12 – Média dos valores da força de cisalhamento, pH e perdas por cocção (%) o músculo *Semitendinosus* proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo, em função do tempo de maturação

Manejo (M)	Força de cisalhamento (kgf)		Perdas por cocção (%)	
	Com [¥]	Man [#]	Com	Man
	7,22	7,28	36,07	35,43
Maturação (Mat)				
0	8,12 ^a	7,95 ^a	35,57	34,94
7	7,37 ^{abc}	7,58 ^{ab}	36,79	35,34
14	6,67 ^{bc}	7,00 ^{bc}	34,20	34,73
21	6,72 ^{bc}	5,60 ^c	37,74	36,70
Momentos de abate (A)				
1	6,96 ^{ab}	7,09 ^{ab}	38,31 ^{Xx}	36,21 ^{Xx}
41	7,53 ^{ab}	7,41 ^{ab}	36,98 ^{Xx}	34,83 ^{Xx}
103	6,80 ^b	6,76 ^b	31,75 ^{Yy}	36,17 ^{Xx}
137	7,60 ^{ab}	7,87 ^a	37,25 ^{Xx}	34,50 ^{Xx}
EPM	0,11	0,11	0,34	0,34
Efeitos				
M		ns		ns
M*A		ns		**
A		**		**
M*Mat		ns		ns
Mat		**		**

** (P<0,01); * (P<0,05); ns: não significativo; ^{AB;XY}: Médias seguidas de letras maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{ab}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{xyz}: Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); Com[¥]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); Man[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal)

4.9 Colágeno solúvel e total

O manejo nutricional teve efeito sobre colágeno solúvel ($P < 0,05$) somente no músculo *Triceps brachii* (Tabela 14). A renovação tecidual nos animais oriundos do grupo compensatório pode ter sido responsável pelo aumento da solubilidade neste músculo, especialmente devido a contribuição importante do tecido conjuntivo nos cortes dianteiros (BOOREN et al., 1981). Os resultados médios de colágeno total apresentados neste trabalho corroboram com Dransfield (1977) e Bendall (1967).

O conteúdo de colágeno total é relativamente constante nos animais nas diferentes idades, mas, com o aumento da idade, as ligações se tornam mais resistentes e estáveis, conferindo à carne maior resistência ao corte (CRANWELL et al., 1996). No entanto, quando ocorre acréscimo de proteína, como nos animais submetidos ao ganho compensatório, é necessária a formação adicional de colágeno, que é mais solúvel, resultando em carne mais macia. Estes mesmos autores observaram que vacas de descarte confinadas por 28 ou 56 dias apresentaram maior quantidade de colágeno solúvel e carne mais macia que as vacas não confinadas.

As médias de percentagem de colágeno total no músculo *Longissimus dorsi* para os abates 1, 2, 3 e 4 foram de 2,40%, 2,02%, 2,07% e 2,72%, respectivamente. O abate 4 diferiu dos demais, embora a diferença não tenha sido detectada nas médias quando separadas para os diferentes manejos.

A proporção de colágeno solúvel foi alterada durante o tempo de maturação somente no músculo *Longissimus dorsi* ($P < 0,05$). Stanton e Light (1988) encontraram evidências bioquímicas para a presença de danos proteolíticos da matriz de colágeno. Eles encontraram 3,4% de colágeno solubilizados após condicionamento de 14 dias a 4 °C. Apesar da percentagem ter sido baixa, a mesma pode ter efeitos sobre a contribuição de colágeno para alterações da textura na carne durante a maturação. O efeito da maturação na solubilidade do colágeno pode estar ligado a ação proteolítica das catepsinas, liberadas ao meio extracelular e que seriam capazes de clivar colágeno nativo insolúvel a fragmentos solúveis com este processo. No entanto o efeito das catepsinas no processo de maturação tem sido refutado (UYTTERHAEGEN; CLAEYS; DEMEYER, 1993).

De acordo com Gerrard et al. (1987) animais que apresentaram rápida taxa de ganho de peso, tem maior proporção de colágeno solúvel. BRUCE; BALL; MOWAT (1991) acrescentam que as novas moléculas de colágeno que são formadas diluem as velhas, resultando em músculos com colágeno de maior solubilidade e, conseqüentemente, em carne mais macia. No entanto Corte (1977) não encontrou resultados significativos com relação ao colágeno solúvel trabalhando com quatro diferentes regimes alimentares. O tipo de dieta também não afetou o colágeno total em estudo realizado por Cox et al. (2006) e Serrano et al. (2007).

As respostas da relação síntese de colágeno com alteração na taxa de crescimento e melhoria da maciez da carne ainda é um processo complexo, pois além dessa característica outras como: tipo de alimentação e composição da dieta, idade do animal, atividade física e o tipo de músculo exercem influência sobre a contribuição do tecido conjuntivo na maciez da carne (BAILEY; LIGHT, 1989).

O *Semitendinosus* apresentou maior conteúdo de colágeno total e menor colágeno solúvel quando comparado aos músculos *Triceps brachii* e *Longissimus dorsi*. De modo geral, tem sido relatado que o *Longissimus dorsi*, em relação ao *Semitendinosus*, tem uma menor quantidade de tecido conjuntivo intramuscular ("IMCT – intramuscular connective tissue") e valores mais elevados de colágeno solúvel (RHEE et al., 2004; STOLOWSKI et al., 2006). A quantidade maior de colágeno total e menor solubilidade no músculo *Semitendinosus* é, provavelmente, relacionado com a sua função locomotora (BAILEY; LIGHT, 1989; LI; ZHOU; XU, 2008). De acordo com Therkildsen, Houbak e Byrne (2008) o local e a função do músculo, podem ser responsáveis por diferentes respostas em relação ao tratamento de alimentação. Com relação ao músculo *Semitendinosus* nenhuma diferença na porcentagem de colágeno total e solúvel foi encontrada. Em trabalho realizado por Archile-Contreras, Mandel e Purslow (2010) também não foram encontradas resultados significativos para este músculo.

Embora tenham sido encontradas correlações significativas entre colágeno solúvel T0, colágeno total T0 e colágeno total T21 e força de cisalhamento do músculo *Semitendinosus* (Tabela 13) estes dados parecem ser fatos isolados por não apresentar um padrão de comportamento nos demais músculos e nas outras características de colágeno para o músculo *Semitendinosus*. Por esta razão, as correlações encontradas não podem apoiar a teoria de que a melhoria da maciez da

carne esta relacionada diretamente ao aumento de solubilidade de colágeno, devido as rápidas taxas de crescimento.

Tabela 13 – Correlações entre colágeno e força de cisalhamento de fêmeas Nelore adultas submetidas aos dois sistemas de manejo

	LD T0	LD T21	ST T0	ST T21	TB T0	TB T21
Colágeno Total T0	0,169	0,096	0,013	-0,311	0,196	0,024
#P	0,317	0,571	0,938	0,058	0,238	0,886
Colágeno Total T21	0,178	-0,009	0,095	-0,308	0,138	-0,068
P	0,293	0,958	0,569	0,060	0,438	0,703
Colágeno Solúvel T0	0,114	0,118	0,183	-0,314	0,133	0,024
P	0,504	0,487	0,278	0,059	0,433	0,890
Colágeno Solúvel T21	-0,146	-0,039	-0,027	0,110	-0,171	0,107
P	0,387	0,812	0,875	0,515	0,340	0,554

#P = Probabilidade

Tabela 14 – Média dos valores de colágeno de três músculos proveniente de fêmeas Nelore adultas submetidas a dois sistemas de manejo alimentar

	Colágeno Total e solúvel											
	Colágeno total		Colágeno solúvel		Colágeno total		Colágeno solúvel TB		Colágeno total		Colágeno solúvel	
	LD (%)	Man [#]	LD (%)	Man	TB (%)	Man	(%)	Man	ST (%)	Man	ST (%)	Man
Manejo (M)	2,28	2,37	16,52	17,40	3,18	3,36	14,95 ^A	11,40 ^B	3,65	3,68	8,85	8,81
Maturação (Mat)												
0	2,27	2,27	13,32 ^a	13,38 ^a	3,05	2,99	14,10	9,92	3,54	3,51	8,82	8,70
21	2,28	2,47	19,72 ^{ab}	21,43 ^b	3,31	3,74	15,80	12,88	3,77	3,84	8,87	8,93
Momento de abate (A)												
1	2,42	2,53	18,64	15,32	2,93	3,28	13,10 ^{ab}	10,26 ^b	4,31	3,73	7,64	8,24
41	1,98	2,05	16,41	18,25	3,32	3,47	10,85 ^b	8,90 ^b	3,69	3,43	8,60	7,48
103	2,05	2,08	15,56	17,76	3,81	3,13	14,14 ^{ab}	10,78 ^b	3,18	3,85	10,46	9,23
137	2,65	2,79	15,47	18,28	2,66	3,57	21,72 ^a	15,68 ^{ab}	3,42	3,69	8,70	11,30
EPM	0,11	0,11	1,36	1,40	0,32	0,35	1,07	1,03	0,15	0,15	0,59	0,59
Efeitos												
M	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
A	**	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
M*A	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M*Mat	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mat	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

** (P<0,01); * (P<0,05); ns: não significativo; ^{ab}: Médias seguidas de letras maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ^{ab}: Médias seguidas de letras minúsculas diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); Com[#]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); Man[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal)

4.10 Avaliação do tecido conjuntivo por microscopia de luz

A espessura média do perimísio não foi diferente ($P>0,05$) entre os manejos. Entretanto, o músculo *Semitendinosus* apresentou perimísio mais espesso que o *Longissimus dorsi* (Tabela 15). A diferença de espessura do perimísio encontrada entre músculos (Figura 8) pode ser explicada, pela variação da estrutura do perimísio de acordo com a função muscular. O tecido conjuntivo intramuscular apresenta-se organizado finamente em músculos de postura, enquanto em músculos responsáveis pela movimentação formam estrutura grossa com fascículos. Resultados similares foram relatados por Nishimura, Hattori e Takahashi (1999).

A interação tipo de músculo e classe de maciez foi significativa, indicando maior espessura do perimísio no músculo *Semitendinosus* da carne classificada pela força de cisalhamento como dura. No músculo *Longissimus dorsi* não houve diferença na espessura do perimísio entre carnes classificadas como duras ou macias. Os resultados encontrados no presente trabalho demonstram que a espessura do perimísio pode contribuir no valor de força de cisalhamento em músculo que apresenta uma contribuição elevada de tecido conjuntivo. Estes resultados corroboram com resultados encontrados na literatura, que descrevem o colágeno como um componente fibroso inflexível do tecido conjuntivo intramuscular que pode exercer influência sobre a textura da carne (CROSS; CARPENTER; SMITH, 1973).

Brooks e Savell (2004) avaliando diferentes músculos também verificaram que a espessura perimísio está correlacionada com força de cisalhamento. Estes resultados indicam que a espessura perimísio pode ser usada em conjunto com outros componentes miofibrilares para explicar a variação na força de cisalhamento em carne cozida. Outros trabalhos são necessários para elucidar se a espessura do perimísio avaliada em carne crua contribui para a resistência de carne cozida.

Tabela 15 – Espessura do perímio no tecido conjuntivo de fêmeas Nelore adultas submetidas aos dois sistemas de manejo

	Espessura do Perímio (μm)	Erro Padrão
Manejo (M)	0,59 ^c	
Com [‡]	41,04 ^a	2,36
Man [#]	38,8 ^a	3,56
Músculo (Músc)	<0,0001 [‡]	
LD	22,8 ^b	2,88
ST	57,1 ^a	2,88
Classes de Textura (CT) ^a	0,0037 [‡]	
Dura	47,2 ^a	2,52
Macia	32,4 ^b	3,44
Efeitos		
M	ns	-
Músc	**	-
CT	**	-
M*CT	*	-

** (P<0,01); * (P<0,05); ‡Valores de Probabilidade no lado do valor da variância; Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05); ns: não significativo; Com[‡]: compensatório (restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal); Man[#]: manutenção (suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal); LD: músculo *Longissimus dorsi* e ST: músculo *Semitendinosus*; ^acarnes com força de cisalhamento menor que 7,5 kgf (média de 5,40 kgf \pm 1,38) foram classificadas como macias e acima de 7,5 kgf (média de 10,66 \pm 2,38) foram classificadas duras

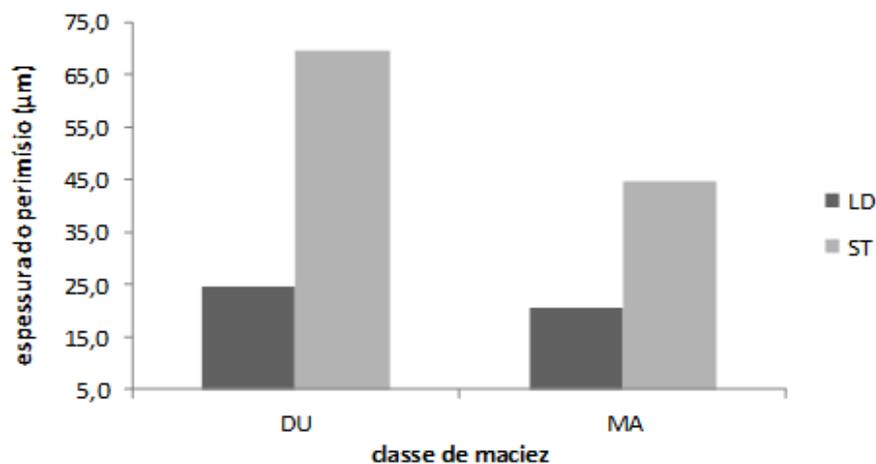


Figura 8 – Efeito da Interação classes de maciez versus tipo de músculo

As figuras representam as fibras do conjuntivo, coradas com PCS. Pode-se visualizar que a intensidade de birrefringência das fibras colágenas depende da sua espessura (Figura 9, 10, 11, 12).

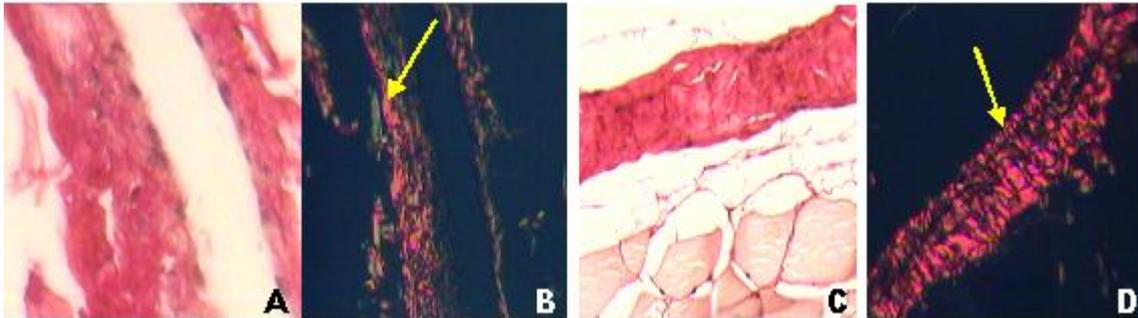


Figura 9 – Espessura do perimísio muscular oriundo de animais sob diferentes ritmos de crescimento. A,B) Grupo Ganho Compensatório – C,D) Grupo Manutenção. Análise do colágeno com coloração Picrosirius-hematoxilina visualizada em microscopia óptica (A e C) e polarizada (B e D) demonstrando a presença do colágeno tipo I (corado em vermelho) e III em menor concentração (corado em verde e amarelo). 400x

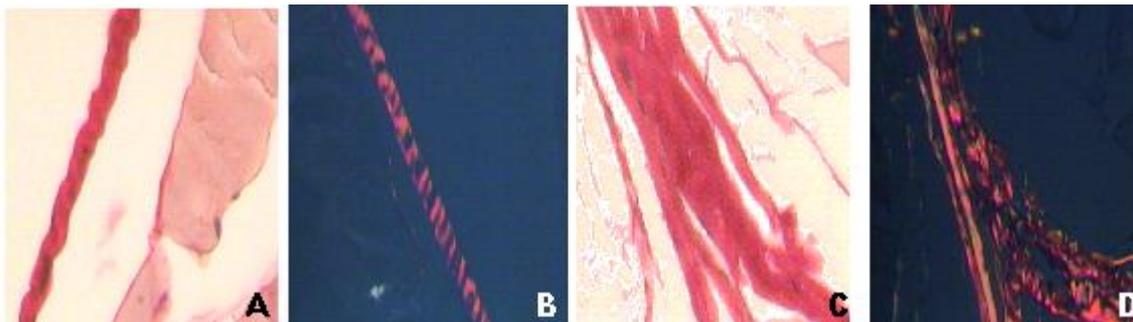


Figura 10 – Espessura do perimísio do músculo *Longissimus dorsi* e *Semitendinosus*. A, B) Grupo músculo LD; C, D) Grupo músculo ST. Análise do colágeno com coloração Picrosirius-hematoxilina visualizada em microscopia óptica (A e C) e polarizada (B e D) demonstrando a presença do B) colágeno tipo I (corado em vermelho - seta) e D) do colágeno tipo I intercalado com III (corado em verde e amarelo). 400x

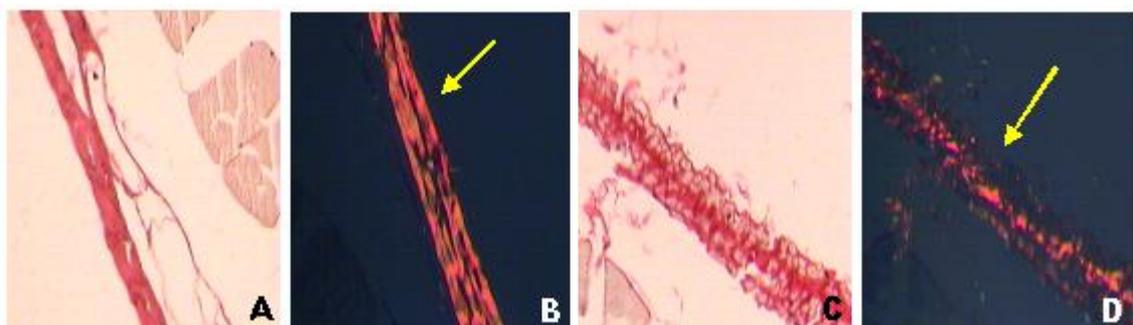


Figura 11 – Espessura do perimísio do músculo *Semitendinosus* de animais submetidos a diferentes ritmos de crescimento. A,B) Grupo ST Manutenção – C,D) Grupo ST Ganho Compensatório. Análise do colágeno com coloração Picrosirius-hematoxilina visualizada em microscopia óptica e polarizada demonstrando a presença do colágeno tipo I (corado em vermelho) e do tipo III (corado em verde e amarelo). 400x

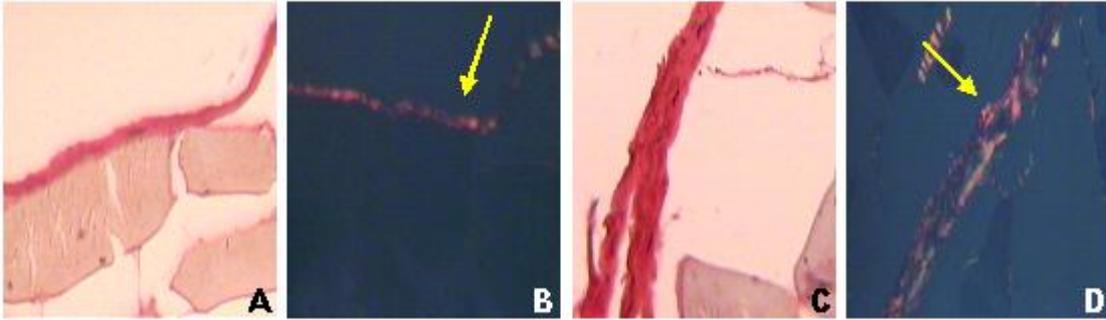


Figura 12 – Espessura do perímio muscular em relação a classe de maciez. A, B) Músculo *Longissimus dorsi* classe macia C, D) Músculo *Longissimus dorsi* classe dura. Análise do colágeno com coloração Picrosirius-hematoxilina visualizada em microscopia óptica (A, C) e polarizada (B, D) demonstrando a presença do colágeno tipo I (corado em vermelho) e do tipo I e III em menor concentração (corado em verde e amarelo). 400x

4.11 Efeitos do cozimento na tensão do tecido conjuntivo intramuscular

Os resultados apresentados na Tabela 16 são um dos poucos trabalhos a relatar diretamente às propriedades básicas da extensão mecânica até o ponto de ruptura do perímio. Estes são os primeiros resultados desta natureza comparando animais submetidos a diferentes manejos. O modelo proposto está de acordo ao apresentado por Carroll et al. (1978) e Purslow (1985) que afirmaram que a estrutura fibrosa de músculo *Semitendinosus* é mantida após carne ser submetida ao cozimento em banho-maria a 80 °C. Estudos anteriores sobre a estrutura mecânica de carne cozida (PURSLOW, 1985, 1989) demonstraram claramente que a separação do perímio do endomímio das fibras na superfície do fascículo é relativamente fácil em carne cozida. Ainda, que as camadas individuais do perímio são fortes e, portanto, aparecem como principal contribuinte para a resistência mecânica.

Não foi encontrado efeito para manejos e classes de maciez neste estudo ($P > 0,05$) para as variáveis de força de ruptura do perímio, extensão do perímio no ponto de ruptura e máxima rigidez. No entanto, esta técnica de modo geral foi importante para determinar como os manejos alterariam a resistência e as propriedades do componente de tecido conjuntivo. O cozimento pode ter removido diferenças em função dos diferentes manejos. Purslow (1999), testando diferentes tempos de cozimento sobre a estrutura do perímio verificou baixas correlações entre os valores de força de cisalhamento dos músculos cozidos a 80 °C com a espessura do perímio. Na figura 13 e 14 estão apresentadas a distribuição de força de cisalhamento e força de ruptura do perímio para o grupo de fêmeas submetidas ao tratamento compensatório e manutenção respectivamente.

Neste trabalho foi realizado o ajuste da análise de força de ruptura do perimísio com o resultado do peso do tecido analisado, após liofilização. Embora a FRPa não tenha sido diferente entre as classes dura e macia, que aponta para ausência de mudança em propriedades mecânicas dos componentes do tecido conjuntivo, ao levarmos em consideração a diferença verificada na espessura do perimísio para as classes de maciez, seria razoável esperar que possa haver impacto na FRPa do tecido conjuntivo intramuscular que seja refletida na maciez uma vez que a estruturação mais grosseira em carnes duras resultaria em FRP total mais elevada.

Tabela 16 – Tensão do perimísio no músculo *Semitendinosus* de fêmeas Nelore adultas submetidas aos dois sistemas de manejo

Tensão do perimísio				
Manejo (M)	FRP (g) ^a	FRPa ^b (g/mm)	EPR ^c (%)	RM (g/m) ^d
Compensatório	37,85±4,75	19,52±2,38	130,40±5,87	12,42±1,37
Manutenção	42,50±4,57	23,56±2,30	138,87±5,64	11,70±1,32
Classe de textura (CT) [#]				
Dura	40,30±6,1	21,63±2,81	134,68±5,80	13,09±1,35
Macia	39,93±6,48	21,45±3,06	134,60±5,51	11,02±1,29
Efeitos				
M	ns	ns	ns	ns
CT	ns	ns	ns	ns
M*CT	ns	ns	ns	ns

** (P<0,01); * (P<0,05); ^aFRP (g): força de ruptura do perimísio; ^bFRPa (g/mm): força de ruptura do perimísio ajustada; ERP(%)^c: extensão da ruptura do perimísio MR^d (g/m): rigidez máxima; ns: não significativo (0,05) significativamente pelo teste Tukey (P<0,05). [#]Carnes com shear force menor que 7,5 kgf foram classificadas como macias e acima de 7,5 kgf consideradas duras; Compensatório[‡]: restrição alimentar seguida de suplementação para promover ganho de reposição do peso de vacas com baixo escore corporal; Manutenção[#]: suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal

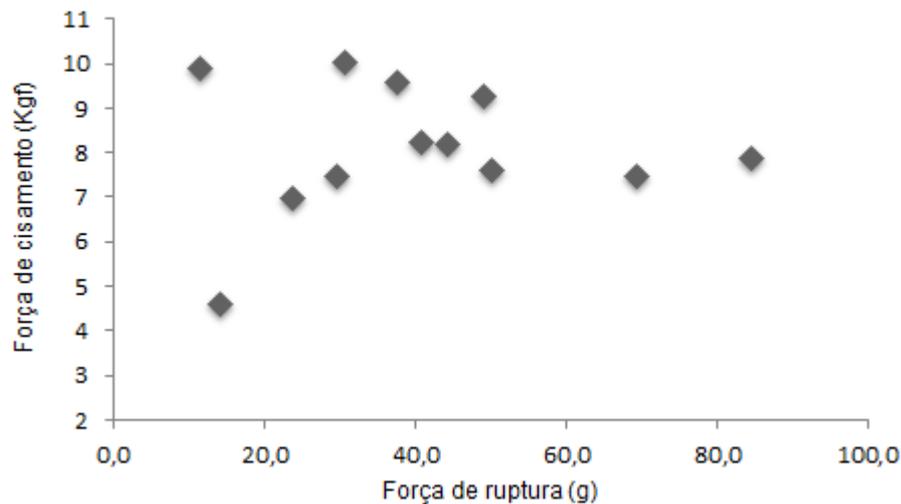


Figura 13 – Distribuição de força de cisalhamento e força de ruptura do perímio no músculo *Semitendinosus* para o grupo de fêmeas Nelore adultas com baixo escore corporal inicial

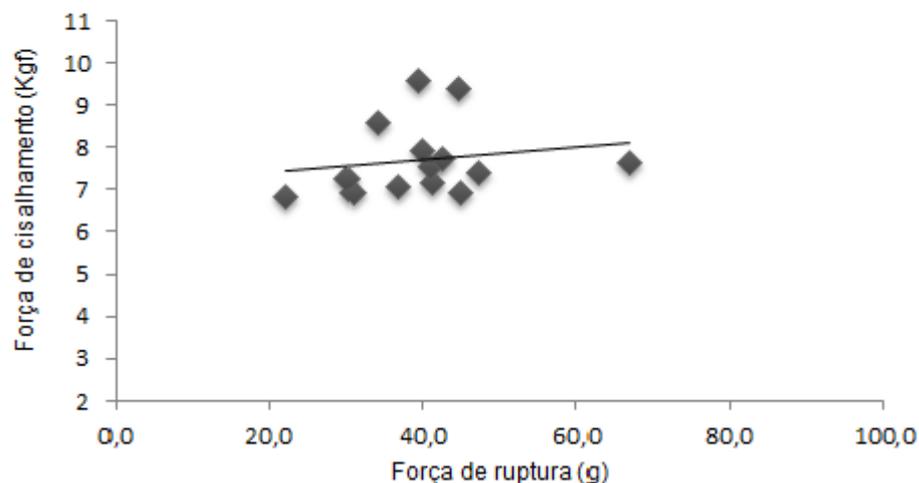


Figura 14 – Distribuição de força de cisalhamento e força de ruptura do perímio no perímio do músculo *Semitendinosus* para o grupo de fêmeas Nelore adultas submetidas a suplementação para promover manutenção do peso de vacas com alto escore corporal

Na figura 15 estão apresentados a distribuição da FRPa em função da idade do animal. Houve uma tendência de aumento da FRPa em função do aumento da idade. No entanto essa equação apresentou um coeficiente de determinação baixo ($R^2=0,31$), demonstrando haver uma grande variação da FRPa determinada por outras características além do aumento da idade. O perímio está organizado com uma hierarquia de segmentos interconectados que variam extensivamente devido ao tipo de músculo, espécie, idade do animal e região dentro de um músculo (PURSLOW, 2005). Conforme verificado neste trabalho, fatores isolados não

conseguem explicar a textura da carne em diferentes classes de maciez determinada objetivamente.

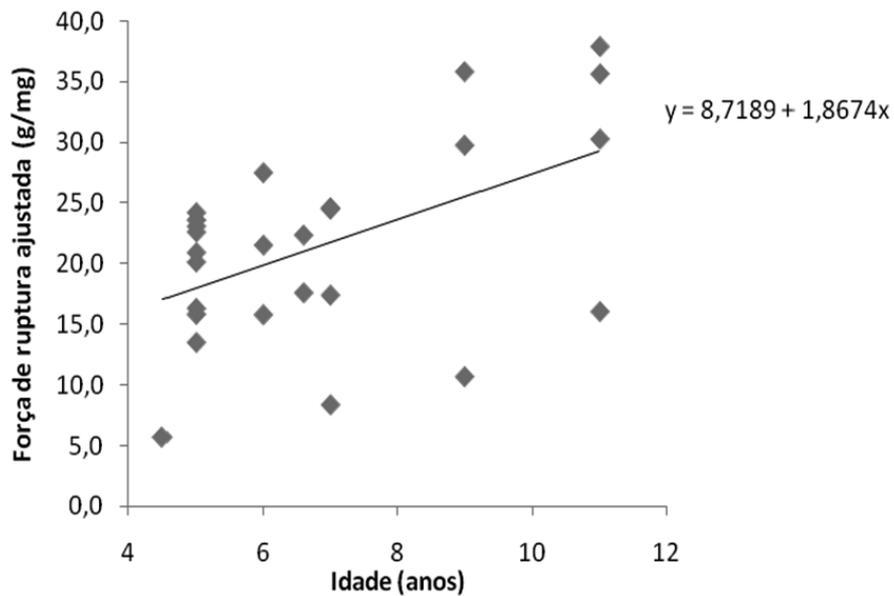


Figura 15 – Distribuição de força necessária para ruptura do perimísio no músculo *Semitendinosus* ajustada em função da idade do animal

5 CONCLUSÕES

Modificações na composição tecidual podem ser observadas em fêmeas Nelores de descarte submetidas ao ganho compensatório.

A solubilidade de colágeno do tecido conjuntivo intramuscular também pode ser modificada durante crescimento compensatório conforme o grupo muscular.

Carnes macias estão associadas à menor espessura do perimísio em músculo com grande presença do tecido conjuntivo intramuscular.

A maturação da carne de vacas adultas resultou no amaciamento da carne de vacas adultas.

O processo de amaciamento parece ter a taxa alterada pelo manejo de forma dependente do grupo muscular, embora a extensão não tenha sido alterada nos diferentes tratamentos.

REFERÊNCIAS

- ABERLE, E.D.; REEVES, E.S.; JUDGE, M.D.; HUNSLEY, R.E.; PERRY, T.W. Palatability and muscle characteristics of cattle with controlled weight gain: Time on a high energy diet. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 52, p. 757-763, 1981.
- ABERLE, E.D.; FORREST, J.C.; GERRARD, D.E.; HEDRICK E.W.; JUDGE, H.B.; MERKEL, R.A. **Principles of meat science**. 4th ed Iowa: Kendall/Hunt/Dubuque, 2001. 354 p.
- AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION. **Meat evaluation handbook**. Savoy, 1995. 161 p.
- ARCHILE-CONTRERAS, A.C.; MANDELL, I.B.; P.P. PURSLOW. Disparity of dietary effects on collagen characteristics and toughness between two beef muscles. **Meat Science**, Barking, v.86 p. 491–497, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Relatórios detalhados sobre as exportações de carne brasileira**. São Paulo: 2010. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/estatisticas_relatorios.asp>. Acesso em: 01 mar. 2011.
- AVERY, N.C.; BAILEY, A.J. The effects of the maillard reaction on the physical properties and cell interactions of collagens, **Pathologie Biologie**, Paris, v. 54, p.387–395, 2006.
- BAILEY A.J. Molecular mechanisms of ageing in connective tissues. **Mechanisms of Ageing and Development**. Limerick, v. 122, p. 735–755, 2001.
- BAILEY, A.J.; ETHERINGTON, D.J. Metabolism of collagen and elastin. In: FLORKIN M.; STOTZ, E.H. **Comprehensive biochemistry**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1980. chap.19 b, p. 299-432.
- BAILEY, A.J.; LIGHT, N.D. **The connective tissue of meat and meat products**. London: Elsevier, 1989. 356 p.
- BAILEY, A.J.; RESTALL, D.J.; SIMS, T.J.; DUANCE, V.C. Meat tenderness: immunofluorescentlocalisation of the isomorphic forms of collagen in bovine muscles of varying texture. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 30, n. 2, p. 203-210, 1979.
- BENDALL. R. The elastin content of various muscles of beef animals. **Journal of Science Food Agriculture**, London, v. 18, n. 12, p. 533-558, 1967.
- BERG, J.M.; TYMOCZKO, J.L.; STRYER, L. **Bioquímica**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 1114 p.

BERGMAN, I.; LOXLEY, R. TWO Improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 35, n. 12, p. 1961-1965, 1963.

BOLEMAN, S.J.; MILLER, R.K.; BUYCK, M.J.; CROSS, H.R.; SAVELL, J.W. Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, p. 2187-2194, 1996.

BOOREN, A.M.; MANDIGO, R.W.; OLSON, D.G.; JONES, K.W. Vacuum mixing influence on characteristics of sectioned and formed beef steaks. **Journal Food Science**, Chicago, v. 46, p.1673, 1981.

BOUTON, P.E.; HARRIS, P.V.; RATCLIFF, D. Effect of cooking temperature and time on the shear properties of meat. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, p. 1082-1087, 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 20**, de 21 de julho de 1999.

BROOKS, J.C.; SAVELL, J.W. Perimysium thickness as an indicator of beef tenderness, **Meat Science**, Barking, v. 67, p. 329–334, 2004.

BROWN, S.; WORSFOLD, M.; SHARP, C. Microplate assay for the measurement of hydroxyproline **Biotechniques**, New York, v. 30, n. 1, p. 38-41, 2001.

BRUCE, H.L.; BALL, R.O.; MOWAT, D.N. Effects of compensatory growth on protein metabolism and meat tenderness of beef steers. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.71, p. 659-668, 1991.

BURSON, D.E.; HUNT, M.C. Heat-induced changes in the proportion of types I and III collagen in Bovine *Longissimusdorsi*. **Meat Science**, Barking, v. 17, p. 153-160, 1986.

BYRNE, K.A.; WANG, Y.H.; LEHNERT, S.A.; HARPER, G.S.; MCWILLIAM, S.M.; BRUCE, H.L.A. Gene expression profiling of muscle tissue in Brahman steers during nutritional restriction. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, p. 1-12, 2005.

CAMPBELL, M.K.; FARRELL, S. O. **Bioquímica**. 5. ed. São Paulo: Thomson, 2006. 845 p.

CAÑEQUE, V.; VELASCO, S.; DÍAZ, M.T.; HUIDOBROB, F. R. Use of whole barley with a protein supplement to fatten lambs under different management systems and its effect on meat and carcass quality. **Animal Research**, Les Ulis, v. 52, p.271-285, 2003.

CARROLL, R.J.; ROVER, F.P.; JONES, S.B.; CAVANAUGH, J.R. Effect of tensile stress on the ultrastructure of bovine muscle. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 43, p. 1181-1187, 1978.

CHAMPLE, C.P.; HARVEY, R.A. **Bioquímica ilustrada**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1996. 446 p.

CORTE, O.O. **Collagen characteristics in beef from steers finished on four different nutritional regimes and for different lengths of time**. 1997. 53 p. Thesis (M.S.) - Kansas State University, New York, 1997.

COX, R.B.; KERTH, C.R.; GENTRY, J.G.; PREVATT, J.W.; BRADEN, K.W.; JONES, W.R. Determining acceptance of domestic forage- or grain-finished beef by consumers from three southeastern us states. **Journal of Food Science**, Westport, v. 71, p. 542-546, 2006.

CRANWELL, C.D.; UNRUH, J.A.; BRETHOUR, J.R.; SIMMS, D.D. Influence of steroid implants and concentrate feeding on carcass an Longissimus muscle sensory and collagen characteristics of cull beef cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, p. 1777-1783, 1996.

CROSS, H.R.; CARPENTER, Z.L.; SMITH, G.C. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 38, p. 998-1003, 1973.

CROUSE, J.D.; KOOHMARAIE, D.M. Effect of freezing of beef on subsequent postmortem aging and shear force. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 2, p. 573-574, 1990.

CULLER, R.D.; PARRISH JÚNIOR, F.C.; SMITH, G.C.; CROSS, H.R. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine *Longissimus* muscle. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 43, p. 1177-1180, 1978.

DAVEY, C.L.; NIEDERER, A.F.; GRAAFHUIS, A.E. Effects of ageing and cooking on the tenderness of beef muscle. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 27, p. 251-256, 1976.

DELGADO, E.F.; SANTOS, C.C. Maciez da carne em função das enzimas proteolíticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES, 4., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas, 2007. p. 33-40.

DELGADO, E.F.; AGUIARII, A.P.; ORTEGAI, E.M.M.S.; SPOTO, M.H.F.; CASTILLO, C.J.C. Brazilian consumers' perception of tenderness of beef steaks classified by shear force and taste. **Science Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 232-239, 2006.

DOUMIT, M.E; KOOHMARAIE, M. Immunoblot analysis of calpastatindegration: evidence for cleavage by calpain in postmortem muscle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 1467-1473, 1999.

DRANSFIELD, E.; BECHET, D.; OUALI, A. Origins of variability in meat texture: an introduction to the workshop proteolysis and meat. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 14, p. 369-381, 1994.

DRANSFIELD, E. Intramuscular composition and texture of beef muscles, **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 28, p. 833-842, 1977.

DUTSON, T.R. Relationship of pH and temperature to distribution of specific muscle proteins and activity of lysosomal proteinases. **Journal of Food Biochemistry**, Westport, v. 7, p. 223-245, 1983.

EGELANDSDAL, B.; DIGSTAD, G.; TOGERSEN, G.; LUNDBY, F.; LANGSRUD, O. Autofluorescence quantifies collagen in sausage batters with a large variation in myoglobin content. **Meat Science**, Barking, v. 69, p. 35-46, 2005.

FANG, S.H.; NISHIMURA, T.; TAKAHASHI, K. Relationship between development of intramuscular connective tissue and toughness of pork during growth of pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 120-130, 1999.

FIELD, R.; MCCORMICK, R.; BALASUBRAMANIAN, V.; SANSON, D.; WISE, J.; HIXON, D.; RILEY, M.; RUSSEL, W. Tenderness variation among loin steaks from A to C maturity carcasses of heifers similar in chronological age. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 693-699, 1997.

FISHELL, V.K.; ABERLE, E.D.; JUDGE, M.D.; PERRY, T.W. Palatability and muscle properties of beef as influenced by pre slaughter growth rate. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 61, p. 151-157, 1985.

FLINT, F.O.; PICKERING, K. Demonstration of collagen in meat products by an improved picro-sirius red polarization method. **The Analyst**, London, v. 109, p. 1505-1506, 1984.

FNP CONSULTORIA & COMERCIO. **Agriannual 2006**: anuário da pecuária brasileira. São Paulo, 2006. 504 p.

_____. **Agriannual 2010**: anuário da pecuária brasileira. São Paulo, 2010. 520 p.

FRENCH, P.; O'RIORDAN, E.G.; MONAHAN, F.J.; CAFFREY, P.J.; MOONEY, M.T.; TROY, D. J.; MOLONEY, A.P. The eating quality of meat from steers fed grass and/or concentrates. **Meat Science**, Barking, v. 57, p. 379-386, 2001.

GEESINK, G.H.; KOOHMARAIE, M. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by μ -calpain under postmortem conditions. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 2685-2692, 1999.

GERRARD, D.E.; JONES, S.J.; ABERLE, E.D.; LEMENAGER, R.P.; DIEKMAN, M.A.; JUDGE, M.D. Collagen stability, testosterone secretion and meat tenderness in growing bulls and steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 65, n. 5, p. 1236-1242, 1987.

GOLL, D.E.; HOEKSTRA, W.G.; BRAY, R.W. Age-associated changes in bovine muscle connective tissue. II. Exposure to increasing temperature. **Journal Food Science**, Champaign, v. 29, p. 615, 1964.

GOLL, D.E.; NETI, G.; MARES, S.W.; THOMPSON, V.F. Myfibrillar protein turnover: the proteasome and the calpains, **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, suppl. E, p. E19–E35, 2007.

GOLL, D.E.; THOMPSON, V.F.; LI, H.Q.; WEI, W.; CONG, J.Y. The calpain system. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 83, p. 731-801, 2003.

GRESHAM, J.D.; HOLLOWAY, J.W.; BUTTS, W.T.; MCCURLEY, J.R. Prediction of mature cow carcass composition from live animal measurements. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, p. 1041-1048, 1986.

HILL, F. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 31, p. 161-166, 1966.

HONIKEL, K.O.; FISCHER, C.; HAMID, A.; HAMM, R. Influence of post mortem changes in bovine muscle on the water-holding capacity of beef: post mortem storage of muscle at 20°C. **Journal of Food Science**, Champaign, v. 46, n. 1, p. 1-7, 1981.

HOPKINS, D.L.; LITTLEFIELD, P.J.; THOMPSON, J.M. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. **Meat Science**, Barking, v. 56, p. 19-22, 2000.

HUNT, M.C.; ACTON, J.C.; BENEDICT, R.C.; CALKINS, C.R.; CORNFORTH, D.P.; JEREMIAH, L.E.; OLSON, D.G.; SALM, C.P.; SAVELL, J.W.; SHIVAS, S.D. Guidelines for meat color evaluation. In: ANNUAL RECIPROCAL MEAT CONFERENCE, 44., 1991, Manhattan. **Proceedings...** Manhattan: Kansas State University, 1991. p. 17.

INSAUSTI, K.; BARIAN, M.J.; PURROY, A.; ALBERTI, P.; LIZASO, L.; HERNANDEZ, B. Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. **Meat Science**, Barking, v. 53, p. 241–249, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Pesquisa da pecuária**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica>>. Acesso em: 15 maio 2011.

JUNQUEIRA, C.L.; CARNEIRO, J. **Histologia básica**. 10. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. 488 p.

JUNQUEIRA, L.C.U.; BIGNOLAS, G.; BRENTANI, R.R. Picrosirius staining plus polarization microscopy, a specific method for collagen detection in tissue sections. **The Histochemical Journal**, Baltimore, v. 11, p. 447-455, 1979.

KOOHMARAIE, M. The role of Ca²⁺-dependent proteinases (calpains) in post mortem proteolysis and meat tenderness. **Biochimie**, Paris, v. 74, p. 2935-2942, 1992.

_____. Muscle proteinases and meat ageing. **Meat Science**, Barking, v. 36, n. 1, p. 93-104, 1994.

_____. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. **Meat Science**, Barking, v. 43, suppl. 1, p. S193-S201, 1996.

KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G.H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. **Meat Science**, Barking, v. 74, p. 34-43, 2006.

KOOHMARAIE, M.; VEISETH, E.; KENT, M.P.; SHACKELFORD, S.D. Understanding and managing variation in meat tenderness. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. p. 40.

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. Compensatory growth. In: _____. **Growth of farm animals**. Iowa: CAB International, 1997. p. 219-246.

LAWRIE, R.A. **Ciência de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1977. 455 p.

LEHMAN, K.B. Studies of the causes for toughness in meats. **Archiv fur Hygiene**, Minich, v. 63, p. 134-179, 1907.

LEONARDO, E.F.; DELGADO, E.F.; BAGALDO, A.R.; LANNA, D.P.D.; PAZ, C.C.P. Differential growth retardation and myofibrillar fragmentation in rats submitted to feed restriction and realimentation. **Sciencia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 2, p. 122-129, 2008.

LEPETIT, J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. **Meat Science**, Barking, v. 76, p. 147-159, 2007.

LEWIS, G.J.; PURSLOW, P.P. The strength and stiffness of perimysial connective tissue isolated from cooked beef muscle. **Meat Science**, Barking, v. 26, p. 255-269, 1989.

LEWIS, G.J.; PURSLOW, P.P.; RICE, A.E. The effect of conditioning on the strength of perimysial connective tissue dissected from cooked meat. **Meat Science**, Barking, v. 30, p. 1-12, 1991.

LI, C.; ZHOU, G.; XU, X. Changes of meat quality characteristics and intramuscular connective tissue of beef semitendinosus muscle during postmortem aging for Chinese Yellow bulls. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 43, p. 838-845, 2008.

LIGHT, N.; CHAMPION, A.E. Characterization of muscle epimysium, perimysium and endomysium collagens. **Journal of Food Chemistry**, Westport, v. 219, p. 1017-1026, 1984.

LISTRAT, A.; HOCQUETTE J.F. Analytical limits of total and insoluble collagen content measurements and of type I and III collagens analysis by electrophoresis in bovine muscles. **Meat Science**, Barking, v. 68, p. 127-136, 2004.

LISTRAT, A.; PICARD, B.; GEAY, Y. Age-related changes and location of type I, III, IV, V and VI collagens during development of four foetal skeletal muscles of double-muscling and normal bovine animals. **Tissue and Cell**, Harlow, v. 31, n. 1, p. 17–27, 1999.

LISTRAT, A.; LETHIAS, C.; HOCQUETTE, J.F.; RENAND, G.; MENISSIER, F.; GEAY, Y.; PICARD, B. Age-related changes and location of types I, III, XII and XIV collagen during development of skeletal muscles from genetically different animals **The Histochemical Journal**, Baltimore, v. 32, p. 349-356, 2000.

MCCRAE, S.E.; PAUL, P.C. Rate of heating as it affects the solubilization of beef muscle collagen. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, p. 18-21, 1974.

MACDOUGALL, D.B. Colour meat – its basis and importance. In: PEARSON, A.M.; DUTSON, T.R. (Ed.). **Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish product**. New York: Black Academic & Professional, 1994. chap. 2, p. 34 – 78. (Advances in Meat Research Series, 9).

MATULLIS, R.J.; McKEITH, F.K.; FAULKNER, D.B.; BERGER, L.L.; GEORGE, P. Growth and carcass characteristics of cull cows after different times-on-feed. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 65, p. 669-674, 1987.

MAYS, P.K.; BISHOP J.E.; LAURENT, G.J. Age-related changes in the proportion of types I and III collagen. **Mechanisms of Ageing and Development**, Ireland, v. 45, p. 203-212, 1988.

MILLER, M.F.; CROSS, H.R.; CROUSE, J.D.; JENKINS, T.G. Effect of feed energy intake on collagen characteristics and muscle quality of mature cows. **Meat Science**, Barking, v. 21, p. 287–294, 1987.

MONSÓN, F.; SAÑUDO, C.; SIERRA, I. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. **Meat Science**, Barking, v. 68, p. 595-602, 2004.

MULLER, L. **Normas para avaliação de carcaças e concurso de carcaças de novilhos**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 1987. 31 p.

NAGASE, H.; WOESSNER JR., J. F. Matrix Metalloproteinases – minireview. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 274, n. 3, p. 21491-21494, 1999.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press. 1996. 242 p.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger: princípios de bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006. 1202 p.

NEKLYUDOV, A.D. Nutritive fibers of animal origin: collagen and its fractions as essential components of new and useful food products. **Applied biochemistry and microbiology**, New York, v. 39, n. 3, p. 261-272, 2003.

NEUMAN, R.E; LOGAN, M.A. The determination of hydroxyproline. **Journal of Biology Chemistry**, Baltimore, v. 184, p. 299-306, 1950.

NISHIMURA, T.; HATTORI, A.; TAKAHASHI, K. Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese black cattle: effect of marbling on beef tenderization. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 1, p. 93-104, 1999.

NISHIMURA, T.; OJIMA, K.; LIU, A.; HATTORI, A.; TAKAHASHI, K. Structural changes in the intramuscular connective tissue during development of bovine semitendinosus muscle. **Tissue and Cell**, Harlow, v. 28, p. 527-536, 1996.

PALKA, K. Changes in intramuscular connective tissue and collagen solubility of bovine m. semitendinosus during retorting. **Meat Science**, Barking, v. 55, p.189-194, 1999.

_____. The influence of post-mortem ageing and roasting on the microstructure, texture and collagen solubility of bovine semitendinosus muscle. **Meat Science**, Barking, v. 64 p. 191-198, 2003.

PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. 2. ed. Goiânia: UFG, 2001. 1110 p.

PERÓN, A.J.; FONTES, C.A.A.; LANA, R.P.; SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C.; PAULINO, M.F. Tamanho dos órgãos internos e distribuição da gordura corporal em novilhos de cinco grupos genéticos, submetidos à alimentação restrita e ad libitum". **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 22, n. 5, p. 813-819, 1993.

PRIOLO, A.; MICOL, D.; AGABRIEL, J. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour: a review. **Animal Research**, Les Ulis, v. 50, p.185-200, 2001.

PURSLOW, P.P. The physical basis of meat texture: observations on the fracture behaviour of cooked bovine M. *Semitendinosus*. **Meat Science**, Barking, v. 12, n. 1, p. 39-60, 1985.

_____. Strain-induced reorientation of an intramuscular connective tissue network: implications for passive muscle elasticity. **Journal of Biomechanical**, New York, v. 22, p. 21-31, 1989.

_____. The intramuscular connective tissue matrix and cell/matrix interactions in relation to meat toughness. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE TECHNOLOGY, 45., 1999. **Proceedings ...** Yokohama, 1999. p. 201-219.

_____. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. **Meat Science**, Barking, v. 70, p. 435-447, 2005.

PURSLOW, P.P.; DUANCE, V.C. The structure and function of intramuscular connective tissue. In: HUKINS, D.W.L. (Ed.). **Connective tissue matrix**. New York: MacMillan, 1990. v. 2, p. 127-166.

PURSLOW, P.P.; TROTTER, J.A. The morphology and mechanical properties of endomysium in series-fibred muscles; variations with muscle length. **Journal of Muscle Research and Cell Motility**, London, v. 15, p. 299-304, 1994.

REISER, K.M.; AMIGABLE, M.A.; LAST, J.A. Non-enzymatic glycosylation of type I collagen. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 267, p. 24207-24216, 1992.

RENAND, G.; BERGE, P.; PICARD, B.; ROBELIN, J.; GEAY, Y.; KRAUSS, D.; MÉNISSIER, F. Genetic parameters of beef production and meat quality traits of young Charolais bulls progeny of divergently selected sires. In: **WORLD CONGRESS IN GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION**, 5. 1994, Guelph. **Proceedings...** Guelph: University of Guelph. 1994. v. 19, p. 446-449.

RHEE, M.S.; WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 82, n. 2, p. 534-550, 2004.

RILEY, D.G.; JOHNSON, D.D.; CHASE Jr., C.C.; WEST, R.L.; COLEMAN, S.W. OLSON, T.A.; HAMMOND, A.C. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. **Meat Science**, Barking, v. 70, p. 347-356, 2007.

ROBELIN, J.; GEAY, Y. Body composition of cattle as affected by physiological status, breed, sex and diet. In: GILCHRIST, F.M.C., MACKIE, R.I. (Ed.). **Herbage nutrition in the subtropics and tropics**. Johannesburg: Science Press, 1984. p. 525-547.

ROBERTSON, J.; RATCLIFF, D.; BOUTON, P.E.; HARRIS, P.V.; SHORTHOSE, W.R. Effect of cooking temperature and animal age on the shear properties of beef and buffalo meat. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 4, p. 1163-1166, 1984.

ROSE, P.I. Gelatin. In: MARK, H.F. **Encyclopedia of polymer science and engineering**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1987. p. 488-513.

ROWE, R.W.D. Morphology of perimysial and endomysial connective tissue in skeletal muscle. **Tissue and Cell**, Harlow, v. 13, p. 681-690, 1981.

SANTOS, P.R. dos; SANTOS, C. de C.; LEONARDO, E.F.; STELLA, I.L.; DELGADO, E.F. Correlação entre Maciez Instrumental e o Índice de Fragmentação Miofibrilar (MFI) em Carne Bovina Cozida e Crua. **Anais 14 Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP/SIICUSP**, 2006.

SCHNELL, T.D. BELK, K.E.; TATUM, J.D.; MILLER, R.K. SMITH, G.C. Performance, carcass, and palatability traits for cull cows fed high-energy concentrate diets for 0, 14, 28, 42 or 56 days. **Journal Animal Science**, Champaign, v.75, n.5, p.1195-1202, 1997.

SERRANO, E.; PRADEL, P.; JAILLER, R.; DUBROEUCQ, H.; BAUCHART, D.; HOCQUETTE J.-F. Young Salers suckled bull production: effect of diet on performance, carcass and muscle characteristics and meat quality. **Animal**, Saint-Gene`s-Champanell, v. 1, p. 1068–1079, 2007.

SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; WHEELER, T.L. Effects of slaughter age on meat tenderness and USDA carcass maturity scores of beef females. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 3304-3309, 1995.

SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E.; ROHRER, G.A.; SAWELL, J.W. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine post-rigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. **Journal of Animal Science**, Champaign, v 72, p. 857–863, 1994.

SHACKELFORD, S.D.; MORGAN, J.B.; CROSS, H.R.; SAVELL, J.W. Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. **Journal of Muscle Food**, Trumbull, v. 2, p. 89–296, 1991.

SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; MILLER, M.F.; CROUSE, J.D.; REAGAN, J.O. An evaluation of tenderness of the longissimus muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 69, p. 171-177, 1991.

SPITZER, J.C. **Influences of nutrition on reproduction in beef cattle**. 2nded. Philadelphia: Saunders, 1986. 234 p.

STANTON, C.; LIGHT, N. The effects of conditioning on meat collagen: Part 2: Direct biochemical evidence for proteolytic damage in insoluble perimysium collagen after conditioning. **Meat Science**, Barking, v. 23, p. 179, 1988.

STATISTICS ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE. **User's guide**. Cary, 2002.

STOLOWSKI, G.D.; BAIRD, B.E.; MILLER, R.K.; SAVELL, J.W.; SAMS, A.R.; TAYLOR, J.F.; SANDERS, J.O.; SMITH, B. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. **Meat Science**, Barking, v. 73, p. 475-483, 2006.

SYLVESTRE, M.N.; BALCERZAK, D.; FEIDT, C.; BARACOS, V.E.; BRUN BELLUT, J. Elevated rate of collagen solubilization and postmortem degradation in muscles of lambs with high growth rates: Possible relationship with activity of matrix metalloproteinases. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, p. 1817-1878, 2002.

- TAYLOR, R.G.; KOOHMARAIE, M. Effects of post mortem storage on the ultrastructure of the endomysium and myofibrils in normal and callipygelongissimus. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.76, p. 2811-2817, 1998.
- THERKILDSEN, M.; HOUBAK, M.B.; BYRNE, D.V. Feeding strategy for improving tenderness has opposite effects in two different muscles. **Meat Science**, Barking, v. 80, p. 1037–1045, 2008.
- TORNBERG, E. Biophysical aspects of meat tenderness. **Meat Science**, Barking, v. 43, p. 175-191, 1996.
- TORRESCANO, G.; SÁNCHEZ-ESCALANTE, A.; GIMÉNEZ, B.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J.A. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. **Meat Science**, Barking, v. 64, p. 85-91, 2003.
- TROTTER, J.A.; RICHMOND, F.J.R.; PURSLOW, P.P. Functional morphology and motor control of series fibred muscles. In: HOLLOSZY, J.O. (Ed.). **Exercise and sports sciences reviews**. Baltimore: Williams and Watkins, 1995. p. 167-213.
- TUMA, H.J.; HENRICKSON, R.L.; ODELL, R.L.; STEPHENS, D.F. Variation in the physical and chemical characteristics of the *Longissimus dorsi* from animals differing in age. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 22, p. 354, 1963.
- UYTTERHAEGEN, L.; CLAEYS, E.; DEMEYER, D. Effects of exogenous protease effectors on beef tenderness development and myofibrillar degradation and solubility. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, p. 1209-1223, 1994.
- VAN der REST, M.; GARRONE, R. Collagen family of proteins. **FASEB Journal**, Bethesda, v. 5, p. 2814-2823, 1991.
- VELLEMAN, S. The role of the extracellular matrix in skeletal muscle development. **Poultry Science**, Ithaca, v. 78, p. 778-784, 1999.
- VOET D, VOET JG, PRATT CW. **Fundamentos da bioquímica: A vida em nível molecular**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 1264 p.
- WARRIS, P.D. **Meat science: an introductory text**. Wallingford: CABI Publ., 2000. 310 p.
- WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M.; CUNDIFF, L.V.; DIKEMAMAN, M.E. Effects of cooking and shearing methodology on variation in Warner-Bratzler shear force values in beef. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, p. 2325-2330, 1994.
- WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D.; JOHNSON, L.P.; MILLER, M.F.; MILLER, R.K.; KOOHMARAIE, M. A comparison of Warner-Bratzler shear force assessment within and among institutions. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 2423–2432, 1997.
- WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.E.; CROUSE, J.D.; HUNT, M.; KLEMM, R.D. Evaluation of attributes that affect *Longissimus muscle* tenderness in

Boss taurus and *Boss indicus* cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, p. 2716-2728, 1990.

WOESSNER JUNIOR, J.F. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this amino acid. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 93, p. 440-447, 1961.

WOOTEN, R.A.; ROUBICEK, C.B.; MARCHELLO, J.A.; DRYDEN, F.D.; SWINGLE, R.S. Realimentation of cull range cows. 2. Changes in carcass traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 48, p. 823, 1979.