

Universidade Federal de Minas Gerais

Lara Macêdo Bonfim

**CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA E DA CARNE DE ANIMAIS ZEBUÍNOS
TRATADOS COM VITAMINAS D₃**

Belo Horizonte

2008

Lara Macêdo Bonfim

**CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA E DA CARNE DE ANIMAIS ZEBUÍNOS
TRATADOS COM VITAMINAS D₃**

Tese apresentada à Escola de Veterinária da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal
Orientador: Prof. Dr. Venício José de Andrade

Belo Horizonte
Escola de Veterinária da UFMG
2008

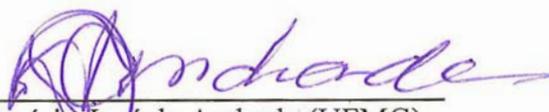
713c Bonfim, Lara Macêdo, 1976-
Características de carcaça e da carne de animais zebuínos tratados com vitaminas
D₃ / Lara Macêdo Bonfim. – 2008.
72 p. : il.

Orientador: Venício José de Andrade
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária.
Inclui bibliografia

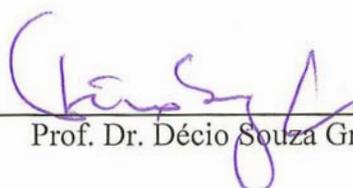
1. Zebu – Carcaças – Qualidade – Teses. 2. Carne – Qualidade – Teses. 3. Vitamina
D₃ – Teses. 3. Produção animal – Teses. I. Andrade, Venício José de.
II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 664.9

Tese defendida e aprovada em 19 de maio de 2008, pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:



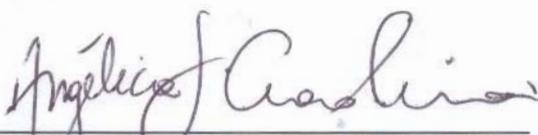
Prof. Dr. Venício José de Andrade (UFMG)
(Orientador)



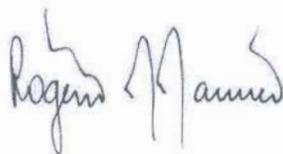
Prof. Dr. Décio Souza Graça (UFMG)



Prof.ª Dr.ª Silvana Vasconcelos Cançado (UFMG)



Prof.ª Dr.ª Angélica Simone Cravo Pereira (USP)



Prof. Dr. Rogério Martins Maurício (PUC Minas)

***A DEUS,
por ter me feito renascer.***

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque d'Ele, por Ele e para Ele são todas as coisas e por ter me sustentado em todos os momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Afonso de Liguori Oliveira, pelas excelentes orientações, conselhos e acompanhamento durante a realização desse trabalho, e pela amizade e confiança.

Ao Prof. Dr. Venício José de Andrade, pela orientação, apoio, amizade e paciência.

Ao Prof. Dr. Iran Borges pela colaboração e incentivo constantes e pela presteza e boa vontade a mim sempre dispensados.

Aos Professores dos Departamentos de Zootecnia e Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais pela convivência e ensinamentos transmitidos durante o curso.

A Faculdade de Farmácia da UFMG e em especial ao Laboratório de Bioquímica e à Prof^a. Maria Beatriz Abreu Glória, por ter permitido a utilização de equipamentos para análises experimentais.

A QUERENÇA Empresa Rural Ltda. pela cessão dos animais e instalações para a realização desse trabalho.

Ao Médico Veterinário e Gerente de Pecuária da Fazenda QUERENÇA, Moisés Fernandes Campos, responsável pelo projeto inicial, por ter aberto as portas para a realização desse trabalho e pelo apoio prestado durante o trabalho de campo, coleta dos dados e realização do experimento.

A todos os funcionários da QUERENÇA Empresa Rural S.A. pelo auxílio no manejo dos animais e na coleta de dados durante a fase experimental.

Ao Frigorífico Frigobet, por ter permitido a realização desse experimento, disponibilizando seus funcionários e facilitando a coleta dos dados durante o abate e processamento das carcaças.

À BASF, especialmente ao Sr. Daniel Gomes pela cessão da vitamina D utilizada no experimento.

Aos ex-alunos e colegas Flávio Bonfante, Kelly Cristina Gayer, Fabíola Lopes Dias, Henrique Vieira da Rocha, Morgana Márcia de Assis Faria e Fabiane Pickbrenner.

À Cristiana Moreira da Silva pela realização do exame macroscópico das vísceras durante ao abate.

À Dr^a Andréa Melo Garcia Oliveira, pela presteza na realização das análises laboratoriais.

Ao colega Pedro Henrique Salgado Bueno pela colaboração e auxílio durante a execução da parte experimental no Laboratório e pelo agradável convívio.

A colega Letícia Gomes Magnago Caldeira, pelos conselhos, sugestões e críticas sinceras durante a redação da tese e ainda pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

À colega e amiga Flávia Fernandes Teodoro Caixeta pela ajuda durante a redação da tese, sem a qual não teria sido possível a conclusão desse trabalho, e pela amizade sincera, em todos os momentos.

À amiga Daniela Salomão pelo apoio durante a redação da tese.

À Heloísa Silva, da Pós-Graduação em Zootecnia, pelas palavras de incentivo e pelo apoio e carinho na fase final da redação.

À Prof^a Mayra Stradiotto, da PUC Minas em Betim, pelo apoio na realização das análises estatísticas.

Aos meus pais, Carlos e Kátia Bonfim, exemplos de capacidade de trabalho, simplicidade, coragem, humildade, por terem me ensinado a acreditar em nossos sonhos e por sempre me apoiarem, em todos os momentos.

Aos meus irmãos e principalmente às minhas irmãs Carla e Milena, pela amizade e alegrias de todos os dias e pelo apoio em todos os momentos.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Metabolismo da vitamina D no organismo animal	17
2.2 Requerimentos de vitamina D para bovinos de corte.....	20
2.3 Metabolismo do cálcio e fósforo em bovinos de corte.....	21
2.4 Importância do cálcio no amaciamento da carne	23
2.5 O amaciamento <i>post mortem</i> da carne	23
2.6 Vitamina D ₃ e maciez da carne	26
2.7 Resíduos de vitamina D ₃ na carne de animais tratados e saúde humana	32
2.8 Características de qualidade da carne.....	33
2.8.1 Maciez Objetiva - WBSF (<i>Warner-Bratzler Shear Force</i>).....	33
2.8.2 Cor da carne	36
2.8.3 Temperatura e pH.....	37
2.8.4 Perdas durante o processamento	39
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 Animais	40
3.2 Tratamentos.....	40
3.3 Abate	41
3.4 Desossa.....	42
3.5 Análise da Cor.....	43
3.6 Processamento.....	43
3.6.1 Avaliação das perdas à cocção	43
3.6.2 Avaliação da maciez.....	44
3.7 Delineamento estatístico	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Desempenho	45
4.2 Características Quantitativas das Carcaças	46
4.2.1 Itens Não Carcaça	46
4.2.2 Rendimento de Carcaça.....	47
4.2.3 Rendimento em Cortes Cárneos	49
4.3 Concentração de minerais no plasma, no músculo e no fígado	51
4.4 Características Qualitativas das Carnes.....	54
4.4.1 Temperatura	54
4.4.2 pH.....	55
4.4.3 Cor.....	57
4.4.4 Maciez Objetiva (WBSF: <i>Warner-Bratzler Shear Force</i>)	58
4.5 Perdas durante o processamento	60
5. CONCLUSÕES.....	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Médias e desvios-padrão do peso vivo de entrada (PVE), idade (IA) e peso ao abate (PVA) e ganhos de pesos total (GPT) e médio diário (GPMD) durante a fase experimental para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) com vitamina D ₃ por 10 dias antes do abate.....	45
Tabela 2	Médias e desvios-padrão dos pesos de carcaça quente (PCQ), mocotós, cabeça e língua, fígado, coração, pulmões e traquéia, rins, gordura perirrenal e couro, de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	46
Tabela 3	Médias e desvios-padrão dos rendimentos de carcaça quente (RCQ), mocotós, cabeça e língua, fígado, coração, pulmões e traquéia, rins, gordura perirrenal e couro, de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	47
Tabela 4	Médias e desvios-padrão dos pesos (PCQ) e rendimentos de carcaça quente (RCQ) e fria (PCF, RCF) em função do peso vivo (PV) e dos rendimentos de dianteiro, ponta de agulha e traseiro especial em função do peso de meia carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	48
Tabela 5	Médias e desvios-padrão dos rendimentos em cortes cárneos e ossos do dianteiro em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	49
Tabela 6	Médias e desvios-padrão dos rendimentos em carne, ossos e aparas do dianteiro em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	49
Tabela 7	Médias e desvios-padrão dos rendimentos para os cortes cárneos do traseiro especial em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	50
Tabela 8	Médias e desvios-padrão dos rendimentos em carne, ossos e aparas do traseiro especial em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	50

Tabela 9	Médias e desvios-padrão das concentrações plasmáticas de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) dos novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate	51
Tabela 10	Médias e desvios-padrão das concentrações musculares de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) dos novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate	53
Tabela 11	Médias e desvios-padrão das concentrações hepáticas de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) dos novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate	53
Tabela 12	Médias e desvios-padrão dos valores de temperatura do músculo <i>Longissimus dorsi</i> , na altura da 12 ^a vértebra torácica, na 3 ^a hora após entrada da câmara fria e na 10 ^a e 24 ^a hora <i>post mortem</i> para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate	54
Tabela 13	Médias e desvios-padrão dos valores de temperatura do músculo <i>Semimembranosus</i> , no forame obturador, na 10 ^a hora após entrada da câmara fria e na 24 ^a hora <i>post mortem</i> para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate	54
Tabela 14	Médias e desvios-padrão dos valores de pH do músculo <i>Longissimus dorsi</i> , na altura da 12 ^a vértebra torácica, na 3 ^a hora após a entrada da câmara fria e na 10 ^a e 24 ^a hora <i>post mortem</i> para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate	56
Tabela 15	Médias e desvios-padrão das avaliações instrumentais de cor (parâmetros L*, a* e b*) para o músculo <i>Longissimus dorsi</i> , na altura da 12 ^a vértebra torácica, em amostras de carne fresca (24 horas <i>post mortem</i>), para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate	57
Tabela 16	Médias e desvios-padrão da força de cisalhamento (FC) em amostras de músculo <i>Longissimus dorsi</i> à altura da 12 ^a vértebra torácica, em função do período de maturação de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate e à maturação em embalagem a vácuo por 1, 14 e 28 dias após o abate	58

Tabela 17	Médias e desvios-padrão das porcentagens de perdas por exsudação (purga), evaporação (PE), gotejamento (PG) e perdas totais na cocção (PC) para amostras de carne fresca (<i>Longissimus dorsi</i> , à altura da 12 ^a vértebra torácica), de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate.....	61
Tabela 18	Médias e desvios-padrão das porcentagens de perdas por exsudação (purga), evaporação (PE), gotejamento (PG) e perdas totais na cocção (PC) para amostras de carne (<i>Longissimus dorsi</i> , à altura da 12 ^a vértebra torácica), de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate e à maturação em embalagem à vácuo por 14 dias.....	61
Tabela 19	Médias e desvios-padrão das porcentagens de perdas por exsudação (purga), evaporação (PE), gotejamento (PG) e perdas totais na cocção (PC) para amostras de carne (<i>Longissimus dorsi</i> , à altura da 12 ^a vértebra torácica), de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D ₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10 ⁶ UI) por 10 dias antes do abate e à maturação em embalagem à vácuo por 28 dias.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mecanismo de ação da vitamina D no organismo.....	20
----------	---	----

LISTA DE SIGLAS

AA – Acém aparado
AMSA – *American Meat Science Association*
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BOD: *Biological Oxygen Demand*
Ca – Cálcio
CaCO₃ - Carbonato de cálcio
CIE – *Commission Internationale de l'Éclairage*
CMP – Complexo multicatalítico de proteases
CRA – Capacidade de retenção de água
DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
DFD – *Dark, Firm, Dry*
dL - Decilitro
EDTA – *Ethylenediamine tetraacetic acid* (Ácido etilenodiamino tetra-acético)
FC – Força de cisalhamento
g - Gramas
GPMD – Ganho de peso médio diário
GPT – Ganho de peso total
IA - Idade ao abate
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA – Instituto Mineiro de Agropecuária
kDa - Quilodáltons
Kg – Quilograma
Km – Quilômetros
L* - Luminosidade
MCP - *Multicatalitic Complex Proteases*
meq - Miliequivalentes
mg – Miligrama
Mg – Magnésio
mL - Mililitro
MP – Maça de peito
NRC – *National Research Council*
P - Fósforo
PA - Peso ao abate
PC – Pá completa
PC – Perda por cocção
PCF – Peso de carcaça fria
PCQ – Peso de carcaça quente
PE – Perda por evaporação
PG – Perda por gotejamento
pH – Potencial hidrogênio aniônico
PIB – Produto Interno Bruto

PM – Peso molecular
PTH – Paratormônio
PVA- Peso vivo ao abate
PVE – Peso vivo de entrada
RCF - Rendimento de carcaça fria
RCQ – Rendimento de carcaça quente
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UI – Unidades Internacionais
UV – Ultravioleta
UVB – Raios ultravioleta B
WBSF – *Warner Bratzler Shear Force*
1,25(OH)₂D₃- 1,25 dihidroxivitamina D₃
25(OH)D₃ - 25-hidroxivitamina D₃
µg – Microgramas
% - Porcentagem
°C – Graus Celsius

RESUMO

Foram avaliados 20 novilhos machos castrados Brahman criados a pasto e submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por via oral durante dez dias antes do abate, com o objetivo de verificar os efeitos dos tratamentos sobre o ganho de peso, as características de carcaça (rendimentos de carcaça, dos itens não carcaça e de cortes cárneos) e a qualidade da carne (pH, cor, maciez objetiva e perdas durante o processamento). Ao abate os animais apresentavam idade e peso vivo médios de 30 meses e 592 kg. Durante a fase experimental os animais foram pesados a cada dois dias, permitindo o cálculo do ganho de peso médio diário (GPMD). Durante o abate foram avaliadas as características das carcaças e coletadas amostras para análises da concentração de cálcio, fósforo e magnésio no sangue, músculo e fígado. Após o abate, foram mensuradas a temperatura e pH das carcaças na 3^a, 10^a e 24^a hora, e coletadas amostras de *Longissimus dorsi* para avaliação das características de qualidade (cor, maciez objetiva e perdas durante o processamento). Estas amostras foram submetidas a maturação por 1, 14 e 28 dias. Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre os tratamentos para ganho de peso e características quantitativas das carcaças, bem como quanto ao pH, cor e perdas durante o processamento. Com relação à maciez, o fornecimento de vitamina D₃ não foi efetivo para promover o amaciamento da carne, em nenhum dos tempos de maturação estudados.

Palavras-chave: Brahman, carne x qualidade, maciez, vitamina D₃.

ABSTRACT

Twenty Brahman steers grass fed were submitted to four treatments with oral vitamin D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) during ten days pre slaughter, to verify the effects of treatment on weight gain, carcass characteristics (dressing percent, percent of other components of carcass and lean cuts) and meat quality (pH, color, objective tenderness and cooking losses). At slaughter the steers aged 30 months and has 592 Kg. During the experimental period, the steers were weighted every two days, to obtain the average daily weight gain (ADWG). During slaughter carcass traits were measured and blood, muscle and liver samples were collected to analyze calcium, magnesium and phosphorus concentrations. After slaughter, temperature and pH of carcasses were measured on 3^a, 10^a e 24^a hour and Longissimus dorsi samples were collected to evaluate meat quality characteristics (color, objective tenderness and cooking losses). These samples were aged for 1, 14 and 28 days. There were no differences (P>0,05) between treatments for weight gain, quantitative carcass characteristics and pH, color and cook losses. Concerning to tenderness, providing vitamin D₃ was not effective to improve meat tenderness, in any of the studied times of aging.

Key words: Brahman, meat x quality, tenderness, vitamin D₃.

1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da carne bovina constitui-se em uma atividade econômica extremamente importante para o Brasil, ocupando vasta área do território nacional e respondendo pela geração de empregos e renda de milhões de brasileiros. O Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo e teve, em 2006, uma participação de 27% no comércio mundial de carne bovina (IBGE, 2008).

De acordo com o último censo agropecuário realizado pelo IBGE em 2006, o rebanho bovino nacional era constituído por 169.900.049 cabeças, distribuídas em mais de cinco milhões de estabelecimentos agropecuários ao longo de aproximadamente 354 milhões de hectares de pastagens, empregando cerca de 16 milhões de pessoas. Segundo estudo realizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), para cada dez milhões de reais de acréscimo na produção agropecuária, 1.193 empregos são criados, sendo 620 diretos, 186 indiretos e 387 empregos efeito-renda – provenientes do aumento do consumo devido ao crescimento da renda (IBGE, 2008).

As dimensões territoriais brasileiras e os impressionantes números do rebanho brasileiro tornam-se ainda mais evidentes quando se considera o potencial sócio-econômico da cadeia produtiva da carne bovina. Segundo o IBGE (2008), ao longo de 2007 foram abatidos 30,5 milhões de bovinos, um aumento de 0,6% com relação a 2006. Estima-se que o número de frigoríficos com inspeção hoje no Brasil seja em torno de 1.660, o de entrepostos frigoríficos, de 124, enquanto o número de açougues e supermercados que comercializam a carne bovina seja de aproximadamente 124.000, além de 100 indústrias de armazenagem, 560 curtumes e 4.150 indústrias de calçados. A matéria-prima “boi” movimenta mais de 30 bilhões de dólares por ano. No *agribusiness* brasileiro, estes números mostram que o sistema agro-industrial da carne é o de maior impacto no PIB (Pineda, 2000).

O Brasil, mesmo possuindo o maior rebanho comercial e sendo o maior exportador de carne bovina do mundo, deixa de participar de importantes mercados, como Japão e Estados Unidos, por não atender aos requisitos sanitários e padrões de qualidade da carne, sobretudo no que se refere à maciez. Assim, as oportunidades de expansão e conquista de novos mercados estão intimamente associadas à capacidade competitiva do setor produtivo e, nesse aspecto, a qualidade é ponto fundamental. Portanto, grandes dificuldades devem ser superadas para que o país possa aproveitar satisfatoriamente a perspectiva positiva para o crescimento econômico mundial e as alternativas para inserção da carne bovina no mercado internacional (Luchiari Filho, 2000b).

A pecuária de corte brasileira se caracteriza pela criação extensiva de animais tipicamente azebuados, em que aproximadamente 80% dos animais têm participação da raça Nelore, e tendem a chegar ao abate com idade em torno de 24-36 meses. A associação dessas

características (participação de sangue zebuíno, com manejo a pasto e elevada idade ao abate), adicionada à determinação de muitos criadores brasileiros de, preferencialmente, só produzirem e entregarem ao abate machos inteiros - jovens ou não - resulta na produção de carne considerada pouco macia e com acabamento e marmorização deficientes (Oliveira, 2000a). Apesar dos animais *Bos indicus* serem bastante adequados à realidade dos sistemas de criação brasileiros, por possuírem maior resistência e adaptação ao calor e às extensas áreas de pastagens, inúmeros trabalhos de pesquisa consideram a carne de animais zebuínos ligeiramente menos macia, quando comparadas às carnes oriundas de raças taurinas (Josakhian, 2000).

Por ser muito valorizada, a maciez tem sido objeto de muitos estudos ao longo das últimas décadas e, mais recentemente, os trabalhos de pesquisa têm buscado novas técnicas *ante* e *post mortem* visando à melhoria da maciez. Nesse sentido, manipular ou promover mudanças significativas na qualidade da carne, por meio de estratégias alimentares, pode ser uma opção diante do desafio de obter carnes mais macias (Pereira, 2007).

Dentre as estratégias utilizadas para melhoria da maciez da carne está a maturação *post mortem*, considerada uma das técnicas que apresenta melhores resultados e ganhos em maciez, por causar proteólise miofibrilar, decorrente da ação das proteases cálcio-dependentes (μ e m-calpaínas). Devido a essa dependência de cálcio para ativação, elevadas concentrações desse íon desempenham um importante papel no processo de maturação. Assim, tecnologias que aumentem a disponibilidade de cálcio intracelular, como injeção de cloreto de cálcio nas carcaças e/ou carnes no período *post mortem* resultariam em carnes mais macias, pela maior ativação das proteases cálcio-dependentes (μ e m-calpaínas), responsáveis pelo amaciamento (Lawrie, 2005).

O uso de vitamina D₃ com o intuito de amaciar carnes é uma tecnologia recente e consiste no fornecimento de médios a altos níveis dessa vitamina por via oral nos últimos dias da vida do animal, antes de serem enviados ao frigorífico, o que aumentaria a mobilização e disponibilização do cálcio em quantidades suficientes para ativar as proteases cálcio-dependentes (μ e m-calpaínas) e acelerar o processo de amaciamento da carne (Luchiarri Filho, 2000b; Pedreira, 2002; 2003; Pereira, 2007).

Esse trabalho teve por objetivo verificar o efeito do tratamento com quatro dosagens de vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) durante dez dias antes do abate sobre as características de qualidade da carcaça e da carne de animais zebuínos, especialmente a maciez.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Metabolismo da vitamina D no organismo animal

As vitaminas são substâncias de natureza orgânica, requeridas em pequenas quantidades pelo organismo para manutenção dos sistemas vitais. São consideradas indispensáveis à vida dos seres superiores, uma vez que o organismo animal não pode sintetizá-las. Sua deficiência causa distúrbios característicos, geralmente mortais, e sua ação é específica, de maneira que não podem ser substituídas por outras substâncias (Andriguetto *et al.*, 1981).

Apesar de serem consideradas essenciais na dieta, pois são responsáveis pela ação catalítica nos processos celulares, as vitaminas são obtidas pela ingestão de alimentos e as quantidades diárias necessárias são muito pequenas, sendo classificadas segundo a solubilidade, em hidrossolúveis (vitaminas do complexo B e C) e lipossolúveis (vitaminas A, D, E e K) (Andriguetto *et al.*, 1981; McDowell, 1989; NRC, 1996).

Nos animais, a vitamina D é essencial por suas ações no intestino, rins, ossos e glândulas paratireóides, atuando como hormônio fundamental na homeostase do cálcio e desenvolvimento do esqueleto, sendo, portanto, essencial para absorção de cálcio da dieta, uma vez que esse mineral aparece rapidamente no sangue quando o colecalciferol está presente na dieta. No organismo, além de ser fundamental para a absorção de cálcio e fósforo, normal mineralização dos ossos, mobilização do cálcio dos ossos e imunidade, receptores desse hormônio podem ser encontrados em quase todos os tecidos e diversas ações têm sido relacionadas a ele. Porém, a principal função da vitamina D é aumentar os níveis de cálcio e fósforo plasmáticos por supersaturação, estimulando a absorção intestinal do cálcio e fósforo, a mobilização dos ossos já formados e melhorando a reabsorção renal (Andriguetto *et al.*, 1981; NRC, 1996; Pedreira, 2002).

A vitamina D está intimamente relacionada com o paratormônio, responsável pela regulação do nível sanguíneo do cálcio e metabolismo de fosfatos. O paratormônio provoca a liberação de fosfatos dos ossos para o plasma, bem como envolve a reabsorção do fosfato dos túbulos renais, onde necessita da vitamina D. O paratormônio exerce ação sobre o metabolismo do cálcio somente na presença de vitamina D (Pedrosa e Castro, 2005).

A vitamina D é encontrada sob várias formas, sendo duas as mais freqüentes: ergocalciferol (vitamina D₂), também chamado de calciferol e o colecalciferol (vitamina D₃). A vitamina D₂ também é conhecida como a forma sintética da vitamina, oriunda da síntese por radiação ultravioleta a partir do esteróide ergosterol, presente nos vegetais, fungos e leveduras. A vitamina D₃ é conhecida como a forma natural, derivada do

precursor 7-dehidrocolesterol, sendo encontrada somente em tecidos ou produtos de origem animal (NRC, 1996). Tanto uma forma como a outra se origina por irradiação das pró-vitaminas D (esteróis). A partir da exposição aos raios ultravioleta B (UVB), o 7-dehidrocolesterol presente na derme e epiderme é transformado em vitamina D₃. Essa forma não metabolicamente ativa é transportada pela corrente sanguínea até o fígado, onde sofre uma hidroxilação no carbono 25, tornando-se a 25-hidroxivitamina D₃ [25(OH)D₃] ou calcidiol, que é a principal forma circulante. A maioria da 25(OH)D₃ produzida é depositada no tecido gorduroso, seu principal reservatório (Pedrosa e Castro, 2005). Este metabólito é precursor do 1,25 dihidroxivitamina D, o metabólito ativo que é produzido quase exclusivamente nos rins, e que atua com o paratormônio para regular a concentração plasmática do cálcio e do fósforo (Pedrosa e Castro, 2005).

Para animais pouco expostos à luz, ou criados em ambientes com pouca insolação em determinadas épocas do ano, como alguns países da Europa, ocorre um aumento das necessidades de suplementação com vitamina D. Já em países como o Brasil, com bastante insolação, cerca de 45 minutos de exposição aos raios solares por dia são suficientes para uma adequada síntese vitamínica (Feldman, 1997). A taxa de formação do colecalciferol é alta, mas não atende necessariamente a exigência do bovino. A necessidade de vacas leiteiras é atendida quando há período de pastejo de seis a oito horas por dia. No entanto, a síntese da vitamina, apesar de alta, é inadequada quando o pastejo ocorre em estações frias ou durante curtos períodos (McDowell, 1992; Martin, 1993).

Para o organismo animal, as fontes alimentares contribuem com uma pequena quantidade das necessidades diárias, de maneira que a maior fonte de vitamina D do organismo é sintetizada sob a pele, catalisada pela irradiação ultravioleta, principalmente o UVB sobre o 7-dehidrocolesterol presente na derme e epiderme, que se transforma em pré-vitamina D₃ (Pedrosa e Castro, 2005). Segundo Roche (2000), sua presença na ração animal é dispensável, já que a exposição dos animais a luz solar faz com que os fótons de alta energia UV penetrem na epiderme e transformem o 7-dehidrocolesterol (pró-vitamina D₃) a pré-vitamina D₃.

A vitamina D de origem alimentar é absorvida no aparelho digestivo em associação com gorduras, como todas as vitaminas lipossolúveis, necessitando da presença de sais biliares. O colecalciferol ingerido é absorvido primeiramente no duodeno. Após ser absorvida no intestino, a vitamina D chega ao sangue e é transferida para a maioria dos tecidos do organismo, em especial, o fígado. A produção da 25(OH)D₃ no fígado, além de rápida, sofre pouca regulação, de modo que seus níveis plasmáticos refletem a reserva corporal de vitamina D. A formação de 25(OH)D₃ é controlada no fígado, evitando-se uma possível formação excessiva de vitamina D. Assim, a conversão controlada de vitamina D permite conservá-la para sua utilização posterior, já que a vitamina D, mas não seus derivados, pode ser armazenada em todos os tecidos ricos em lipídios do organismo (Pedreira, 2002).

A $[25(\text{OH})\text{D}_3]$ é biologicamente inerte em concentrações fisiológicas e não atua diretamente nos tecidos de destino. Para ser ativada, deve ser modificada novamente, sendo então transportada até o rim onde é hidroxilada a $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, a principal forma biologicamente ativa da vitamina D. Esta última hidroxilação (na posição 1) ocorre nas mitocôndrias dos túbulos contornados proximais do rim, sob ação da enzima $1-\alpha$ hidroxilase, transformando-se em $1,25$ dihidroxivitamina D_3 [$1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$] ou calcitriol. Essa é a forma fisiologicamente ativa da vitamina D, apresentando cinco vezes mais atividade do que a 25 -hidroxivitamina D_3 (NRC, 1996). A produção de $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ é regulada pelos níveis de paratormônio (PTH) e de fosfato sérico. O principal local de atividade da $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ é o intestino, onde aumenta a absorção de cálcio (Feldman, 1997; Grüdtner, 1997).

Esta passagem renal, ao contrário da hepática, é estreitamente regulada por vários fatores. A elevação plasmática do paratormônio (PTH) e a diminuição do fosfato estimulam a atividade da $1-\alpha$ hidroxilase. A $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ retro-regula sua produção, inibindo a atividade da $1-\alpha$ hidroxilase, o mesmo ocorrendo com a redução do PTH e a elevação do fosfato. O calcitriol é um hormônio bastante potente que circula em concentrações cerca de 1000 vezes inferiores ao seu precursor, o calcidiol (Pedrosa e Castro, 2005). A $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ é considerada a forma hormonal da vitamina D, uma vez que atende às especificações adotadas para os hormônios, ou seja, é produzida em um local (rim) e irá atuar em outro lugar (intestino, ossos e dentes, como tecido de destino), sendo a sua produção regulada por um mecanismo de retroalimentação (Feldman, 1997; Pedreira, 2002).

A forma circulante no plasma [$25(\text{OH})\text{D}_3$] não é regulada pelos níveis de cálcio e fósforo do soro sanguíneo, entretanto, o ritmo da formação do metabólito $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ está relacionado com as concentrações de cálcio e fósforo do soro. Para aumentar a calcemia são necessárias maiores quantidades de $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$. Altos níveis de cálcio reduzem a formação de $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ e os baixos níveis a estimulam. Ainda, a deficiência de cálcio determina a secreção do hormônio da paratireóide que, por sua vez, estimula a conversão enzimática de $25(\text{OH})\text{D}_3$ em $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$. Por outro lado, o hormônio da paratireóide estimula diretamente a absorção do cálcio para a formação dos ossos (Feldman, 1997).

A Figura 1 sumariza a seqüência de eventos envolvidos na síntese da $1,25$ dihidroxivitamina D_3 .

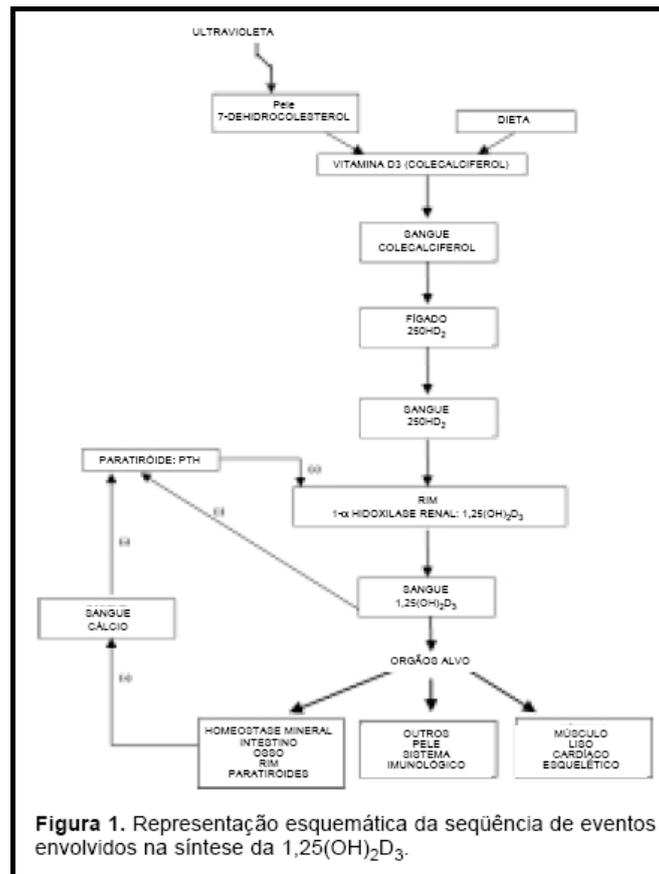


Figura 1 – Mecanismo de ação da vitamina D no organismo (Pedrosa e Castro, 2005).

2.2 Requerimentos de vitamina D para bovinos de corte

O requerimento de vitamina D para bovinos de corte, de acordo com o NRC (1996) é de 275 UI/Kg/matéria seca, sendo a UI estabelecida como 0,025 μg de colecalciferol ou seu equivalente.

Segundo o NRC (1996), requerimento é a quantidade de nutriente necessária para manter o animal em estado saudável, permitindo sua reprodução, produção de leite e ganho de peso quando o animal é criado em condições ambientais específicas. Recomendação é a quantidade de um nutriente que irá atingir os requerimentos para animais em condições ambientais menos definidas e irá incluir uma margem de segurança para as variações na ingestão, produção e disponibilidade do nutriente. A recomendação deve considerar ainda os custos e o seu potencial para toxicidade.

A deficiência de vitamina D causa o raquitismo em animais jovens e a osteomalácia em adultos, e ainda dietas pobres em cálcio ou fósforo ou mal balanceadas também causam esses problemas (Andriguetto *et al.*, 1981).

Quando doses excessivas são ingeridas ocorre uma hipercalcemia, podendo determinar a calcificação dos tecidos moles, como rins e paredes arteriais. O excesso de vitamina D está associado à diminuição na performance, letargia, calcificação de tecidos moles, parada cardíaca, fadiga, problemas intestinais, enfraquecimento muscular, perda de apetite e excessiva micção (Roche, 2000).

2.3 Metabolismo do cálcio e fósforo em bovinos de corte

O cálcio e o fósforo constituem cerca de 70% do total dos minerais encontrados no corpo. O cálcio é um elemento fundamental ao organismo, somente adquirido pela ingestão diária de alimentos que o contém e é o mineral mais abundante do corpo, correspondendo de 1 a 2% do peso corporal, ocorrendo numa percentagem de 39% em relação aos outros minerais. Do total de cálcio do organismo, 99% encontram-se presentes nos ossos e dentes e apenas 1% em tecidos moles, com alta concentração no plasma sanguíneo. Suas funções são: formação do esqueleto, coagulação normal do sangue, ação sobre o ritmo cardíaco e excitabilidade neuromuscular, permeabilização da membrana, secreção de hormônios, moderação do equilíbrio iônico entre sódio e potássio, secreção normal do leite, ganho de peso e eficiência alimentar. É necessário para formação e manutenção da matriz óssea, estabilização de membranas de células excitáveis como músculos e nervos, participação no processo de coagulação e na atividade de diversas enzimas, além de ser fundamental para o crescimento e desenvolvimento dos ossos e dentes. A concentração de cálcio nos tecidos é variável, sendo encontrado, na célula, principalmente no retículo sarcoplasmático e mitocôndrias (Martin, 1993; Grüttdner, 1997).

O mecanismo de absorção do cálcio é complexo e ocorre em três etapas: intraluminal, intracelular e plasmática, que são dependentes de vários fatores, como vitamina D, ATPase, fosfatase alcalina intestinal, fatores que aumentam ou diminuem sua solubilidade, proteína ligadora de cálcio no enterócito (*calbindin*), proteína ligadora de cálcio no plasma e outros. A concentração normal de cálcio no plasma é da ordem de 8,8 a 10,4 mg/dL, sendo que aproximadamente 40% do cálcio sanguíneo total se encontra ligado às proteínas plasmáticas, sendo que 80% ligam-se a albumina e 20% a globulina. Os 60% restantes incluem o cálcio ionizado (forma iônica) e o cálcio complexado ao citrato, fosfato e sulfato. O cálcio total (representado pela soma do cálcio ligado à proteína, mais o complexado e o ionizado) é determinado por análises clínicas laboratoriais do cálcio plasmático. O cálcio ionizado e o livre podem ser determinados, desde que estejam fisiologicamente na forma ativa do cálcio no plasma (McDowell, 1992; Grüttdner, 1997).

O paratormônio e a calcitonina regulam o nível de cálcio sérico. A redução do nível do cálcio leva a um aumento do paratormônio, que estimula a síntese de vitamina D, ocasionando aumento da reabsorção óssea do cálcio. Porém, se houver aumento do cálcio sérico, há liberação de calcitonina, inibindo a síntese da vitamina D, resultando em menor

absorção intestinal do cálcio e reabsorção óssea. O fósforo sofre a mesma influência, porém de maneira inversa (Martin, 1993). Quando as concentrações séricas de cálcio estão baixas, a $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ aumenta a absorção intestinal do cálcio e do fósforo e, associado com o PTH, mobiliza o cálcio e o fósforo armazenados no osso para manter níveis adequados de cálcio sérico e de fósforo para funções metabólicas e neuromusculares (Grütdner, 1997).

O trabalho de Swanek *et al.* (1999b) demonstrou que o nível de cálcio no plasma é controlado rigorosamente pela homeostase, cujo valor se limita de 8 a 12 mg/dL no bovino. Isso dificulta a elevação da concentração de cálcio no músculo por meio de suplementação dietética ou infusão de cloreto de cálcio em animais vivos. A vitamina D_3 aumenta a concentração plasmática de cálcio por estimular sua absorção intestinal, pela mobilização do cálcio dos ossos e por meio da $1,25$ -dihidroxitamina D_3 , que aumenta a reabsorção renal do cálcio. Além da mobilização do cálcio, a vitamina D_3 estimula a entrada de cálcio nas células musculares.

O fósforo é o segundo elemento mais abundante no organismo do animal e cerca de 80% dele se encontra nos ossos e dentes, sendo o restante distribuído em tecidos moles, particularmente células sanguíneas, músculos e nervos. As funções do fósforo são: formação essencial do esqueleto, manutenção da pressão osmótica e equilíbrio ácido-básico, transmissão genética e controle do metabolismo celular (como componente dos ácidos nucleicos), secreção normal do leite, ganho de peso e eficiência alimentar (Martin, 1993).

A utilização e o metabolismo do cálcio e fósforo são influenciados por diversos fatores, entre os quais: fornecimento adequado na dieta, nível de vitamina D, atuação do paratormônio e calcitonina e idade do animal. Com relação ao fornecimento e dieta, o excesso ou a deficiência de um elemento pode interferir na utilização do outro, sendo a relação Ca:P de suma importância. Além disso, altos níveis de cálcio na dieta podem comprometer a utilização de outros nutrientes como magnésio, zinco e manganês. Nas dietas deficientes em vitamina D, a absorção e a utilização do cálcio são reduzidas. O cálcio é absorvido por um mecanismo de transporte ativo no qual a vitamina D se combina a uma proteína a ele ligada. A vitamina D estimula a deposição e atua na mobilização mineral do osso, bem como a do fósforo, causando uma inibição da eliminação do mesmo na urina (Martin, 1993; Grütdner, 1997).

O aumento da absorção do fósforo no intestino, causado pela vitamina D, é considerado um processo secundário, ou seja, ocorre devido à maior absorção de cálcio. No entanto, alguns trabalhos sugerem que a absorção do cálcio e do fósforo são processos independentes e controlados pela vitamina D (McDowell, 1992).

2.4 Importância do cálcio no amaciamento da carne

O íon cálcio é um agente regulador do sistema contrátil fundamental no processo de amaciamento da carne durante a maturação *post mortem*, causando o enfraquecimento e/ou degradação do disco Z do sarcômero, unidade contrátil da fibra muscular (Koohmaraie, 1994).

O primeiro trabalho que descreveu o papel do cálcio no enfraquecimento do disco Z foi realizado por Davey & Gilbert (1969), utilizando EDTA (ácido etilenodiamino tetraacético), um composto orgânico que age como agente quelante, formando complexos estáveis com diversos íons metálicos, inclusive cálcio. No referido trabalho, os autores constataram que a adição de EDTA inibiu o enfraquecimento e o desaparecimento do disco Z, atuando provavelmente como um quelante do cálcio. Em seguida, Busch *et al.* (1972) também demonstraram que a fragmentação das miofibrilas foi induzida pelo cálcio, mas inibida após a adição de EDTA. Koohmaraie *et al.* (1988) relataram que todas as mudanças *post mortem* se completavam dentro de um período de 24 horas quando fragmentos de músculos eram incubados em uma solução contendo cloreto de cálcio, enquanto nenhuma mudança ocorria se fosse adicionado EDTA à solução, ao invés do cloreto de cálcio.

O principal mecanismo responsável pela maciez final das carnes é ativado pelas enzimas endógenas (naturalmente presentes), que atuam no amaciamento das carnes no período *post mortem*. A indústria utiliza processos como a maturação em embalagens a vácuo para criar condições favoráveis à atividade dessas enzimas. As principais enzimas responsáveis pelo amaciamento das carnes são as calpaínas (μ -calpaína e *m*-calpaína), que são ativadas pelo cálcio sarcoplasmático e inibidas por outra enzima, a calpastatina. A aplicação de cálcio, por marinação ou injeção, no período *post mortem*, proporciona a ativação dessas enzimas, levando a obtenção de melhoria na maciez das carnes (Lawrie, 2005).

2.5 O amaciamento *post mortem* da carne

As características sensoriais são de especial interesse do consumidor, e são influenciadas pelas diversas etapas do processo de produção da carne, desde o nascimento do animal ao processamento pós-abate da carcaça. Dentre essas características, a maciez é a que mais interfere no apelo de consumo por parte dos consumidores, determinando a aceitação ou rejeição das carnes (Whipple *et al.*, 1990).

A maturação consiste na manutenção de cortes cárneos embalados a vácuo sob temperaturas entre 0 e 21°C por determinado período de tempo, que pode variar entre três e 90 dias (Dabés, 2000). Entretanto, por razões de segurança alimentar, temperaturas acima de 10°C não são recomendadas, por favorecerem o crescimento microbiano e a

deterioração da carne. A tecnologia de maturação em embalagem a vácuo é praticada há muitos anos pela indústria frigorífica e amplamente utilizada nos dias atuais, de forma isolada ou como complemento de outras técnicas, promovendo melhoria da qualidade organoléptica da carne e agregando valor ao produto, pelo aumento da maciez, proporcionado pela manutenção de condições adequadas à atividade das proteases endógenas (Koohmaraie *et al.*, 1990; Whipple *et al.*, 1990).

O aumento da maciez da carne durante a estocagem das carcaças em temperaturas de refrigeração (maturação) é conhecido desde o século passado. No entanto, o mecanismo pelo qual ocorrem as modificações continua sendo motivo de controvérsias. Como os consumidores consideram a maciez como a característica organoléptica mais importante da carne, é essencial o conhecimento do processo de amaciamento, bastante complexo e influenciado por diversas variáveis (Lawrie, 2005).

Durante a maturação o tempo e a temperatura são as únicas variáveis que podem ser controladas e que irão determinar a velocidade de ação enzimática natural da carne. Maiores temperaturas e tempo tendem a acelerar o processo de amaciamento, embora possam comprometer a segurança higiênico-sanitária dessas carnes. Também tem sido proposto que a maturação mais efetiva da carne ocorre nos primeiros dias, ou mesmo nas primeiras horas após o abate (Dabés, 2000). Koohmaraie *et al.* (1988) observaram valores de força de cisalhamento após um dia de abate de 8,25Kg para o músculo *Longissimus dorsi* de novilhas abatidas comercialmente, enquanto que após 14 dias de maturação foi observado valor de 4,97Kg.

O amaciamento *post mortem* aumenta com o tempo, o que é evidenciado pela diminuição da Força de cisalhamento ou Força de Warner Bratzler (*WBSF - Warner Bratzler Shear Force*). Esse aumento na maciez está associado com a degradação de proteínas miofibrilares e citoesqueléticas, como consequência da ativação das proteases endógenas. As proteases são, em última análise, as responsáveis pela maciez final das carnes, por provocarem degradação das miofibrilas (Whipple *et al.*, 1990). Essas enzimas são divididas em três grupos: as calpaínas, as catépsinas, e o complexo multicatalítico de proteases (*MCP- Multicatalitic Complex Proteases*) (Judge *et al.*, 1989; Kinsman *et al.*, 1994).

As calpaínas são consideradas pelos pesquisadores as principais enzimas relacionadas ao amaciamento *post mortem* das carnes (Koohmaraie, 1994; Pringle *et al.*, 1997). Essas enzimas são tioproteases armazenadas no sarcoplasma, estando localizadas principalmente no disco Z, e são ativadas somente com a efetiva participação do cálcio (Judge *et al.*, 1989; Kinsman *et al.*, 1994; Oliveira, 2000b). O sistema calpaína é formado por três componentes:

- As μ -calpaínas ou calpaínas tipo I são enzimas que requerem baixos níveis de cálcio (micromoles) para serem ativadas e são efetivas em amaciar a carne logo após o abate (seis a dez horas), quando as concentrações de cálcio no sarcoplasma

se elevam de 10^{-7} moles/litro para $10^{-6}/10^{-5}$ e o pH cai de 6,8 para 5,7. Segundo Koohmaraie (1994) 66% da μ -calpaínas estão localizadas no disco Z, 20% na banda I e 14% na banda A.

- As m-calpaína ou calpaínas tipo II são enzimas que requerem níveis mais elevados de cálcio (milimoles) e são ativadas quando o pH está em torno de 5,7, sendo responsáveis pela continuidade do processo de amaciamento, estando ativas 16 horas *post mortem* e assim permanecendo por longos períodos.
- A calpastatina é o terceiro componente do sistema e tem a função de modular/inibir a ação das calpaínas.

Assim, o amaciamento natural da carne que ocorre durante a estocagem *post mortem* se deve ao envolvimento cientificamente comprovado das calpaínas, responsáveis pela degradação dos componentes do sarcômero, como a linha Z e proteínas estruturais (titina, nebulina e desmina). Segundo Koohmaraie *et al.* (1994), as calpaínas podem ser encontradas na carne em diferentes formas:

- Inativadas ou ativadas: as calpaínas inativas são inertes e precisam ser ativadas pelo aumento da concentração de íons cálcio quando, então, entram no sistema de amaciamento.
- Ligadas à calpastatina: as calpaínas ativadas tornam-se inativas quando ligadas à calpastatina. O equilíbrio entre calpaínas ativadas livres e calpaínas ligadas à calpastatinas determina o nível de calpaínas ativadas livres, que aumenta com o declínio do pH.

Durante a maturação, modificações químicas e estruturais ocorrem no componente miofibrilar, conforme a seguinte seqüência, descrita por Koohmaraie (1994):

1. Enfraquecimento e/ou degradação do disco Z.
2. Degradação da proteína desmina, provavelmente devido à ruptura de pontes entre as miofibrilas.
3. Degradação da proteína titina, que liga filamentos de miosina, no sentido longitudinal das miofibrilas.
4. Degradação da proteína nebulina (ligações transversais na banda I dos sarcômeros).
5. Desaparecimento da troponina T e aparecimento simultâneo de polipeptídeos com peso molecular entre 28 e 32 kDa.
6. Aparecimento de um polipeptídeo com PM de 95 kDa.
7. As proteínas contráteis miosina e actina não são afetadas.

Estudos sugerem grande variabilidade genética existente entre os animais com relação ao sistema enzimático calpaínas-calpastatina. A atividade desse complexo enzimático presente na carne depende principalmente do genótipo animal, diferindo entre zebuínos e taurinos. Esse sistema pode ser lento em algumas raças, em especial nos animais com maior participação de genes de *Bos indicus* em comparação com *Bos taurus*, o que compromete consideravelmente a maciez. Os bovinos *Bos indicus* e seus cruzamentos

apresentam baixos níveis de μ -calpaína e níveis mais elevados de calpastatina (Sherbeck *et al.* 1995).

O segundo sistema enzimático que atua no amaciamento *post mortem* da carne são as catepsinas, que são tioproteases encontradas no interior dos lisossomos. Existem 15 a 20 catepsinas envolvidas na proteólise do músculo, sendo as mais importantes as catepsinas B, S, L, D, atuando sempre em pH baixo (<6,0) (Lawrie, 2005).

Diversos autores sugerem que o papel das catepsinas é discreto no amaciamento da carne durante a maturação, sendo essa afirmativa sustentada pela ausência de produtos de degradação de miosina e actina, principais substratos dessas enzimas, em carnes maturadas entre 2 - 4°C. Evidências experimentais sugerem que as catepsinas não desempenham papel significativo na proteólise *post mortem*, pois, por estarem dentro dos lisossomas, precisam ser liberadas para terem acesso às miofibrilas. Embora seja relatado que durante a estocagem *post mortem* os lisossomas são rompidos, liberando as catepsinas no sarcoplasma, não há evidências experimentais que comprovem essa hipótese. Pelo contrário, o experimento realizado para verificar essa hipótese indicou que mesmo após estimulação elétrica e 28 dias de maturação a 4°C, as catepsinas ainda se encontravam dentro dos lisossomas (Koohmaraie, 1994).

A plena atividade das catepsinas em baixas faixas de pH, diferentemente do que ocorre com as calpaínas, que estão inativas em pH 5,5, também justifica sua importância no amaciamento da carne no período *post mortem* tardio. Além de sua ação sobre proteínas miofibrilares, é também conhecida a ação das catepsinas sobre proteínas do tecido conjuntivo, como o colágeno (Felício, 1999; Oliveira, 2000a).

O último sistema enzimático presente na carne é o complexo multicatalítico de proteases que desempenha máxima atividade proteolítica em pH de 7,5 a 8,0 e à temperatura próxima de 45°C, enquanto a 5°C tem apenas 2% de atividade. Por essa razão, esse sistema é pouco importante no processo de amaciamento da carne. (Koohmaraie, 1994; Oliveira, 2000a).

2.6 Vitamina D₃ e maciez da carne

A utilização de suplementos vitamínicos na produção animal é justificável do ponto de vista econômico, pela melhoria do desenvolvimento do animal, bem como aumento da sua resistência a doenças (McDowell, 1989). Além dos benefícios diretos aos animais, concernentes ao desempenho produtivo e zootécnico, as vitaminas, quando suplementadas adequadamente, produzem efeitos desejáveis na qualidade da carne, como aumento da maciez (Montgomery *et al.*, 2002).

O uso de vitamina D₃ para o amaciamento da carne é uma tecnologia recente, e consiste no fornecimento de médios a altos níveis a vitamina D₃ por via oral por um período de cinco a dez dias antes do abate. Dentre as diversas funções atribuídas à vitamina D₃ no organismo animal, está a de atuar como agente regulador do sistema de contração muscular e promover uma maior absorção de cálcio, fundamental na ativação das proteases dependentes de cálcio livre, as calpaínas, e interferindo, dessa forma, na qualidade da carne. Altos níveis de cálcio depositados próximos da linha Z são responsáveis pela ativação precoce das μ e m-calpaínas que hidrolisam a troponina-T presente no complexo actomiosina, levando ao amaciamento das carnes (Swanek *et al.* 1999b; Lawrie, 2005). Nos trabalhos realizados por Swanek (1999a) e Karges *et al.* (2001), os autores forneceram altas dosagens de vitamina D₃ para novilhos e observaram o aumento da concentração de cálcio e fósforo plasmático, e aumento na maciez do músculo *Longissimus*, sem alteração na atividade de calpastatina. Porém, Kabeya (2007), trabalhando com 18 bovinos machos inteiros Nelore terminados em confinamento e suplementados com $0,5 \times 10^6$ UI de vitamina D₃ por sete dias antes do abate, não observou aumento na concentração muscular de cálcio, nem melhoria na maciez da carne dos animais tratados.

Swanek *et al.* (1997) realizaram dois experimentos para avaliar os efeitos da suplementação com vitamina D₃ sobre a maciez da carne. No primeiro, 118 novilhos foram suplementados com zero e 5×10^6 UI de vitamina D₃, por um período de cinco dias antes do abate, enquanto no segundo foram utilizadas as doses de zero e $7,5 \times 10^6$ UI de vitamina D₃, por um período de dez dias. Todas as carnes foram submetidas a 7, 14 ou 21 dias de maturação. As carnes dos animais tratados com 5 e $7,5 \times 10^6$ UI de vitamina D₃ apresentaram redução na força de cisalhamento de 6,6% e 18%, respectivamente, após sete dias de maturação. Segundo os autores, a melhoria da maciez se deveu ao aumento da atividade das calpaínas durante a maturação, uma vez que houve elevação do cálcio plasmático (10,39 mg/dL x 9,23 mg/dL) e redução do magnésio plasmático (1,88 meq/dL x 1,46 meq/dL).

Em trabalho conduzido por Beitz *et al.* (1997), a carne de animais tratados com vitamina D₃ apresentou menores valores de força de cisalhamento, sugerindo que a suplementação com vitamina D₃ melhora a maciez em todos os tempos de maturação. Os autores constataram que as carnes dos animais tratados com 5×10^6 UI de vitamina D₃ e maturadas por 14 dias tiveram uma degradação protéica significativamente maior que os animais não tratados, evidenciado pelo maior conteúdo do peptídeo 30 kDa, resultado da maior degradação da troponina-T pela calpaína, característica correlacionada com a maior maciez da carne.

Montgomery *et al.* (1998) mostraram que a suplementação com vitamina D₃ (5 ou $7,5 \times 10^6$ UI de vitamina D₃ por um período de nove dias antes do abate) aumentou a concentração de cálcio plasmático e cálcio muscular e melhorou a maciez da carne, sobretudo quando submetida à maturação por um período de 14 dias.

Swanek *et al.* (1999a,b) realizaram três experimentos para avaliar a influência de diferentes doses de vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 7,5 x 10⁶ de UI) por sete ou dez dias antes do abate em animais mestiços Angus, Hereford, Charolês, e Brangus. Os autores demonstraram que houve aumento na concentração de cálcio plasmático em todos os animais tratados, sendo que a dose de 7,5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ foi responsável por um aumento de 30 a 50% no cálcio plasmático. Ademais, houve melhoria significativa na maciez das carnes de todos os animais tratados. Com esses experimentos, concluiu-se que a elevação da concentração de cálcio muscular, resultante da suplementação com vitamina D₃, pareceu ser o responsável pelo amaciamento da carne provavelmente devido à ativação das proteases cálcio-dependentes (calpaínas).

Vargas *et al.* (1999a,b) trataram 119 novilhos de diferentes origens com quatro combinações de vitamina D₃ e E por seis e 54 dias, respectivamente. Os autores verificaram que as carnes dos animais tratados com vitamina D₃ apresentaram, após sete dias de maturação, menores valores de força de cisalhamento do que as carnes dos animais tratados com a vitamina E e com a combinação das duas, necessitando de menores tempos de maturação para que fosse considerada muito macia (com força de cisalhamento inferior a 3,86Kg).

Em contrapartida, Vargas *et al.* (1999c) verificaram que animais tratados com vitamina D₃ antes do abate tiveram redução da ingestão de matéria seca e diminuíram o ganho de peso diário e, em discordância com o descrito anteriormente, apresentaram carne menos macia, devido a hipercalcemia (elevação dos níveis de cálcio sérico) provocada pela suplementação com a vitamina. Essa redução do consumo de alimentos pode ser considerada como um início de toxidade por fornecimento de níveis supranutricionais de vitamina D₃.

Novilhos *Bos indicus* e *Bos taurus* tratados com doses de 0; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 ou 7,5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por um período de oito dias antes do abate tiveram aumento na concentração de cálcio plasmático, havendo correlação positiva entre a dose e a concentração plasmática. Dosagens a partir de 1 x 10⁶ UI aumentaram a concentração de vitamina D₃ no fígado e no contra filé, o que poderia prejudicar a saúde. O fornecimento de 5 x 10⁶ UI resultou no maior aumento nas concentrações de vitamina D₃, tanto no fígado (quatro vezes maior) como no contra filé (sete vezes maior). Todos os tratamentos reduziram significativamente a força de cisalhamento da carne sem afetar as características de qualidade da carcaça (Montgomery *et al.*, 1999a,b).

Karges *et al.* (1999 a,b,c,d), ao suplementar novilhos com altos níveis de vitamina D₃ (0; 5; 7,5; 15 e 75 x 10⁶ UI) observaram redução no peso vivo dos animais e no peso da carcaça (em decorrência da redução na ingestão de matéria seca); aumento nas concentrações plasmáticas de cálcio e fósforo e redução na concentração de magnésio; aumento do pH muscular e aumento da maciez. Os autores concluíram que a associação entre o aumento

do pH muscular e a concentração de cálcio deve ter influenciado o processo de amaciamento pós-morte.

Montgomery *et al.* (2000) utilizaram 30 novilhos cruzados de raças continentais para verificar os efeitos da vitamina D₃ sobre as características de qualidades da carcaça e da carne. Ao fornecerem 5 ou 7,5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por nove dias antes do abate, constataram aumento da concentração de cálcio plasmático de 150 a 170 vezes e da concentração de vitamina D₃ no fígado (71 - 114 vezes) e rim (24 - 27 vezes). A suplementação com vitamina D₃ melhorou a maciez da carne (reduziu a força de cisalhamento). No mesmo experimento foi observado ainda maior aparecimento do componente 30 kDa, como resultado da degradação da troponina-T pela calpaína. Também foi observada redução do ganho médio diário (pela diminuição da ingestão de alimentos), quando os animais foram tratados com 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃.

Com a hipótese que a vitamina D₃ aumentaria o amaciamento da carne, pela elevação dos níveis de cálcio e ativação das calpaínas, Berry *et al.* (2000) trataram novilhos com zero e 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por um período de cinco dias antes do abate, acrescidos de dois dias com fornecimento adicional de cálcio. Como resultado, foi observada significativa redução na ingestão de matéria seca e no ganho diário nos animais tratados com a vitamina D₃, não sendo constatado nenhum efeito sobre a maciez da carne, diferindo dos trabalhos anteriores. Todavia, é possível que a depleção severa do consumo durante os sete dias pré-abate, observada por Berry *et al.* (2000) tenha reduzido os estoques de cálcio no organismo dos animais. Isso foi concluído devido à redução do consumo em novilhos alimentados com vitamina D₃, que consumiram aproximadamente 4,8 UI/cabeça/dia de vitamina D₃, em relação ao formulado 6 UI/cabeça/dia.

Karges *et al.* (2001) utilizaram 24 novilhos cruzados Angus x Hereford para avaliar os efeitos da suplementação com vitamina D₃ sobre a ingestão de matéria seca, a concentração de minerais no plasma, as características de carcaça, os atributos sensoriais, as características musculares e a maciez dos músculos *Longissimus dorsi*, *Gluteus medius* e *Biceps femoris*. Os animais foram distribuídos em três tratamentos: sem suplementação com vitamina D₃, 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por quatro dias pré-abate e 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por seis dias pré-abate. Com relação à ingestão de matéria seca, os autores verificaram diminuição da mesma em 11,7% e 13,9%, respectivamente, para os animais que receberam a vitamina D₃ por quatro e seis dias pré-abate. Quanto às características de carcaça, os animais que foram suplementados com vitamina D₃ apresentaram peso vivo e pesos de carcaça quente (PCQ) menores do que os animais do grupo controle. Os mesmos autores, em trabalhos anteriores (Karges *et al.*, 1999a,b,c,d) já haviam encontrado resultados semelhantes, sugerindo que a ingestão de matéria seca é reduzida significativamente quando altos níveis de vitamina D₃ são fornecidos aos animais na fase pré-abate.

Scanga *et al.* (2001) trataram 192 novilhas Charolês x Hereford com 1; 2; 3; 4 e 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ e 2 e 4 x 10⁶ UI de vitamina D₃ associada ao carbonato de cálcio durante dois, quatro, seis ou oito dias antes do abate. A suplementação apenas com a vitamina D₃ por dois ou mais dias aumentou a concentração de cálcio plasmático nos animais tratados, quando comparados com o grupo controle. Já os animais que receberam vitamina D₃ associada ao cálcio, tiveram menores concentrações de cálcio plasmático. Os autores relataram ainda que, apesar do aumento da concentração de cálcio plasmático, a suplementação com vitamina D₃ (isolada ou combinada com cálcio) não diminuiu a força de cisalhamento dos cortes cárneos estudados. No referido trabalho, os animais tratados com a combinação de vitamina D₃ e carbonato de cálcio (CaCO₃) tiveram redução no peso vivo, no ganho de peso diário e na ingestão de alimentos, indicando toxicidade pelos níveis supranutricionais de vitamina D₃ fornecidos.

No estudo feito por Montgomery *et al.* (2001) novilhos *Bos indicus* e *Bos taurus* foram tratados com 0; 0,5; 1 ou 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃, por um período de oito dias pré-abate. Houve redução do ganho de peso médio diário e da ingestão da matéria seca apenas para os animais tratados com 5 x 10⁶ UI. Contudo, as características de qualidade e rendimento de carcaças não foram afetadas. Também foi constatado aumento das concentrações plasmáticas de cálcio e fósforo quando fornecidas concentrações de 1 e 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ e diminuição da força de cisalhamento em todos os cortes estudados. Os autores não encontraram diferenças nos resultados entre os animais zebuínos e taurinos, de maneira que a suplementação com vitamina D₃ promoveu melhoria na maciez das carnes dos animais tratados independentemente do grupo genético. Os mesmos concluíram que o melhor tratamento foi de 0,5 x 10⁶ UI de vitamina D₃, por melhorar a maciez sem interferir no desempenho dos animais.

Foote *et al.* (2001), ao tratarem animais com vitamina D₃ e seus metabólitos (25(OH)D₃ e 1,25(OH)₂D₃) relataram que a vitamina D₃ foi a mais eficaz na elevação da concentração desses compostos na carne. Todavia, a administração dos metabólitos foi responsável pelo maior aumento da concentração desses compostos no plasma. Com relação à maciez, os animais tratados com a vitamina D₃ e a 25(OH)D₃ produziram carnes com menores valores de força de cisalhamento.

No experimento conduzido por Karges *et al.* (2001) 24 novilhos Angus x Hereford foram tratados com zero e 6 x 10⁶ de UI vitamina D₃ por quatro e seis dias antes do abate. Quando a dosagem de 6 x 10⁶ de UI foi utilizada, em ambos os períodos, ocorreu aumento da concentração de cálcio plasmático e melhoria significativa da maciez. Entretanto, os autores verificaram diminuição da ingestão de matéria seca, do peso vivo e do peso da carcaça.

Em trabalho realizado por Montgomery *et al.* (2002), 167 novilhos foram tratados com seis diferentes doses (0; 0,5; 1; 2,5; 5 e 7,5 x 10⁶ UI) de vitamina D₃ por nove dias antes do abate. A vitamina D₃ nas doses de 2,5; 5 e 7,5 x 10⁶ UI diminuiu o ganho médio diário e a

ingestão de matéria seca. Com relação à concentração de cálcio plasmático e muscular, houve um aumento linear em todas as doses fornecidas e a atividade de calpaínas e calpastatina não foi influenciada pelo tratamento. Da mesma forma, a suplementação com vitamina D₃ não interferiu nas características de qualidade e rendimento das carcaças, mas melhorou significativamente a maciez e as características sensoriais. Os autores concluíram que a administração de vitamina D₃ melhorou efetivamente a maciez da carne daqueles animais com tendência a ter carne mais dura, enquanto não exerceu nenhum efeito em animais com tendência a ter carne mais macia. No referido trabalho, os melhores resultados de maciez foram com a dose de $0,5 \times 10^6$ UI/dia, por não influenciar as características da carcaça e o nível de resíduos nos tecidos.

Segundo Pedreira *et al.* (2003), os melhores resultados obtidos foram com a dose 3×10^6 UI/animal/dia para as características sensoriais de maciez e sabor da carne, no estudo com 36 machos castrados da raça Nelore suplementados via oral com quatro doses (0; 3; 6 e 9×10^6 UI de vitamina D₃/animal/dia) por um período de dez dias antes do abate. Concordando com os resultados de Swanek *et al.* (1999a, b, c) os autores concluíram que os altos níveis de suplementação de vitamina D₃ não melhoraram as características de qualidade do músculo *Longissimus dorsi* de animais *Bos indicus*. Montgomery *et al.* (2000) e Karges *et al.* (2001) não detectaram o efeito positivo da suplementação na análise sensorial na carne dos animais tratados.

Feed *et al.* (2003), ao utilizarem 80 vacas Hereford suplementadas com 10×10^6 UI por oito dias antes do abate para verificar os efeitos do tratamento sobre as concentrações plasmáticas de cálcio e maciez da carne, observaram melhoria significativa na maciez da carne de animais tratados com vitamina D₃ e submetidas à maturação por sete dias.

Em uma seqüência de trabalhos, Montgomery *et al.* (2004a,b,c,d) relataram aumento nas concentrações plasmáticas e musculares de cálcio e ainda melhoria significativa na maciez das carnes dos animais tratados com vitamina D₃. Montgomery *et al.* (2004a,b) suplementaram novilhos com 0; 0,5; 1 e 5×10^6 UI de vitamina D₃ por sete e oito dias antes do abate e concluíram que o melhor tratamento foi o de $0,5 \times 10^6$ UI de vitamina D₃ por um período de oito dias, por resultar na melhoria da maciez sem afetar a performance dos animais e o acúmulo de resíduos no fígado. A melhoria da maciez foi associada a maior proteólise miofibrilar pela mobilização e aumento da concentração de cálcio próximo do disco Z e das bandas A e I no sarcômero, e pela ativação do sistema calpaína.

2.7 Resíduos de vitamina D₃ na carne de animais tratados e saúde humana

Apesar da vitamina D₃ produzir resultados positivos no amaciamento da carne, a ingestão de quantidades elevadas por longos períodos pode ocasionar efeitos negativos como redução da ingestão de alimentos e da taxa de crescimento dos bovinos, toxicidade, hipercalcemia prolongada, perda de apetite, perda de peso, diminuição na ingestão de matéria seca e até mesmo morte dos animais. Por ser lipossolúvel, a vitamina D₃ e seus metabólitos se depositam nos tecidos, oferecendo riscos toxicológicos. Em humanos, o consumo de carne, fígado e rins de animais suplementados com altos níveis de vitamina D₃ pode causar distúrbios no metabolismo do cálcio, podendo ser prejudicial à saúde (Montgomery *et al.*, 2004a,b).

Montgomery *et al.* (2004b,d) encontraram resíduos de vitamina D₃ no músculo, rins, fígado e plasma de animais tratados 0,5; 1 e 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por oito dias antes do abate. A dosagem de 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ resultou em aumento de 75, 33 e 8 vezes na concentração de vitamina D₃ no fígado, rins e músculo, respectivamente.

No trabalho de Foote *et al.* (2001), animais tratados com a vitamina D₃ e seus metabólitos (25(OH)D₃ e 1,25(OH)₂D₃) apresentaram uma quantidade substancial de resíduo de vitamina D₃ e 25(OH)D₃ nos cortes cárneos estudados (acém, contra filé e chã de dentro).

A quantidade de vitamina D que uma pessoa adulta precisa, varia de acordo com a idade. O Comitê de Alimentação e Nutrição do Conselho Nacional de Investigação Americano recomenda ingestão diária de 5mg (200 UI) para adultos, 7,5mg (300 UI) para bebês com menos de 6 meses e 10mg (400 UI) para crianças com mais de 6 meses, grávidas e mães a amamentar. Considerando a dose diária recomendada de vitamina D para um adulto normal de 200UI/dia ou 5µg, seria necessário ingerir 110g de carne, 12g de rim ou 5g de fígado de animais tratados com 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ para atender aos seus requerimentos diários.

Em humanos, os efeitos do colecalciferol podem durar mais de 2 meses após a suspensão da ingestão. Os sinais iniciais de toxicidade por vitamina D associada com hipercalcemia incluem náuseas ou vômitos, normalmente mais frequentes em crianças e adolescentes, diarreia, secura da boca, dor de cabeça contínua, sede intensa, perda de apetite, gosto metálico, cansaço ou debilidade não habitual. Podem ocorrer sinais tardios de toxicidade por vitamina D associada à hipercalcemia, como urina turva, hipertensão arterial, aumento da irritação ou fotossensibilidade nos olhos, poliúria, sobretudo noturna, arritmias cardíacas, ardência na pele, alterações no estado de ânimo ou mental, dores musculares, náuseas ou vômitos e dor de estômago, crises convulsivas, perda de peso (Combs, 1992).

A superdosagem de vitamina D, durante períodos prolongados, pode provocar hipercalcemia com conseqüente calcificação vascular generalizada, nefrocalcitose e

calcificação de outros tecidos moles que podem resultar em hipertensão e insuficiência renal. Estes efeitos têm mais tendência a serem produzidos quando a hipercalcemia está acompanhada de hiperfosfatemia. Pode ocorrer morte, como resultado da insuficiência renal ou cardiovascular, causada pela toxicidade da vitamina D. A dosagem necessária para se produzir toxicidade varia com a sensibilidade individual, mas 50.000 unidades de colecalciferol ao dia por mais de seis meses podem causar toxicidade em indivíduos normais (Feldman, 1997; Roche, 2000).

Em função do risco toxicológico, são necessários mais estudos para determinar a dosagem e o tempo de administração da vitamina D₃ adequados para a melhoria das características de qualidade da carne, já que a dosagem de 1×10^6 UI de vitamina D₃ tem sido associada a uma grande deposição de resíduos na carne, fígado e rins de animais tratados (Montgomery *et al.*, 2002; 2004b,d).

2.8 Características de qualidade da carne

2.8.1 Maciez Objetiva - WBSF (*Warner Bratzler Shear Force*)

Suculência, sabor e maciez são os três principais atributos sensoriais que afetam a percepção de qualidade e satisfação dos consumidores de carne. Dessas, a maciez é considerada a característica organoléptica que apresenta maior variabilidade e de maior impacto na aceitação da carne por parte dos consumidores (Montgomery *et al.*, 2000). Trabalhos conduzidos na América do Norte (*National Beef Quality Audit*) indicaram a maciez inadequada como o principal problema de qualidade da carne bovina, sendo, portanto, limitante para o desenvolvimento do segmento (Luchiari Filho, 2000b). Ademais, a maciez foi apontada pelo mercado consumidor como uma característica altamente variável, ou seja, sem consistência ou padrão (Smith *et al.*, 1995). Estima-se que a perda econômica anual associada à dureza da carne seja equivalente a US\$ 7,64 por animal, ou US\$ 217 milhões para a indústria de carne bovina norte-americana (Smith, 2001).

Os consumidores consideram a maciez como a característica mais importante e determinante da qualidade da carne (Karges *et al.*, 2001) e a propriedade mais importante que o consumidor espera encontrar, principalmente quando a carne é consumida na forma de bifes (Marsh *et al.*, 1978). Smith *et al.* (1995) estimaram que a falta de maciez nos cortes cárneos bovinos representa perdas anuais de US\$ 250 milhões para a indústria frigorífica americana. Os consumidores são capazes de discernir as diversas categorias de maciez e estão dispostos a pagar mais caro pelas carnes sabidamente macias, ou de maciez reconhecida. Dessa forma, há um incentivo econômico para se buscar a produção de carnes mais macias. Recentemente, cientistas e pesquisadores têm focado seus estudos no desenvolvimento de tecnologias, inclusive programas nutricionais, para aumentar a maciez da carne (Karges *et al.*, 2001).

Vários são os fatores que influenciam a maciez como o genótipo, sexo e idade, manejo, tipo de alimentação e, principalmente, a maturidade fisiológica, são enquadrados como fatores relativos à condição do animal a ser abatido que influenciam a maciez da carne. Outras causas de variação da maciez são decorrentes dos tratamentos aplicados à carcaça ou aos cortes no período que se segue ao abate, como a taxa de glicólise post mortem, estimulação elétrica das carcaças, maturação em embalagem a vácuo e ainda relacionados ao músculo, como quantidade e solubilidade do colágeno, comprimento do sarcômero, força iônica e degradação das proteínas miofibrilares. Contudo, independentemente do tipo de influência considerada, a explicação das variações na maciez está sempre ligada à condição dos componentes protéicos do músculo, ou mais especificamente, as proteínas miofibrilares e do tecido conjuntivo (Kastner & Felício, 1980). A proteólise das proteínas miofibrilares é o principal determinante para o aumento da maciez da carne durante a estocagem post mortem (Koohmaraie, 1994).

Considerando os fatores *ante-mortem*, a raça ou genótipo exerce influência direta na maciez da carne, de forma que a presença das raças zebuínas tende a afetar de modo decisivo, sobretudo a maciez, que tende a diminuir à medida que o *Bos indicus* tem maior participação no genótipo do bovino de corte (Herring *et al.*, 1996). A hipótese atualmente mais aceita entre os pesquisadores é a que foi relatada por Whipple *et al.* (1990) que observaram uma maior atividade da calpastatina nos músculos de animais zebuínos e correlacionaram esse fato com a ocorrência de variações de até 44% na maciez da carne entre grupos de animais *Bos indicus* e *Bos taurus*. Assim, a elevada atividade da calpastatina tem sido proposta como a principal causa dos problemas de maciez da carne de zebuínos, por inibir a ação das proteases (calpaínas), bloqueando, dessa forma, o processo de amaciamento natural *post mortem* (Whipple *et al.*, 1990; Shackelford *et al.*, 1991). Shackelford *et al.* (1994b) reiteraram essas observações quando concluíram que existe alta correlação genética entre o nível de calpastatina e a resistência das fibras musculares ao corte ($r=0,58$), sendo os níveis desta enzima de alta herdabilidade ($h=0,65$).

Sherbeck *et al.* (1995) concluíram que a maciez e a suculência da carne diminuíram e que os valores de força de cisalhamento aumentaram na medida em que a porcentagem de sangue Brahman aumentou (0, 25 e 50%). Pringle *et al.* (1997) utilizaram 69 novilhos com porcentagens variadas de sangue Brahman (0, 25, 37, 50, 75 e 100%) para estudar a relação entre características de carcaça e a maciez da carne dos animais cruzados Brahman. A atividade de calpastatina aumentou linearmente ($P<0,01$) com o aumento da porcentagem de sangue Brahman, de forma que houve um aumento de 31% na atividade de calpastatina com o aumento da porcentagem de sangue Brahman de 0 para 100%.

A maciez pode ser avaliada subjetivamente, com auxílio de painéis sensoriais, ou objetivamente, pela avaliação da força de cisalhamento (FC) que tem um protocolo determinado pela *American Meat Science Association* - AMSA (1978). Diante da

dificuldade de se formar equipes de análise sensorial, muitos pesquisadores têm optado pela avaliação objetiva, já que experimentos apontam correlação média a alta para os resultados obtidos na avaliação física de amostras e por painéis de avaliação sensorial (Felício, 1997). Além disso, as características sensoriais, quando avaliadas subjetivamente, podem ser influenciadas por hábitos regionais ou temporais de consumo alimentar.

Na prática, inúmeros são os métodos instrumentais utilizados nas instituições de pesquisa que avaliam a textura da carne. Esses métodos podem ser agrupados em três categorias: métodos sensoriais, que são fundamentalmente subjetivos, envolvendo consumidores e equipe de provadores treinados e ambos avaliam as características, a expectativa de consumo e o tempo de vida de prateleira do produto; os métodos instrumentais, conhecidos como métodos objetivos, em geral, visam obter alta correlação com os valores obtidos em análise sensorial e os métodos indiretos, exemplificados pela determinação do conteúdo de colágeno, índice de fragmentação miofibrilar, atividades de algumas proteases e análise histológica com microscópio eletrônico (Lawrie, 2005).

Diferenças encontradas em correlações obtidas entre os experimentos de mensuração objetiva e subjetiva podem ser devido a vários fatores que incluem desde o uso de diferentes tipos de provadores na análise sensorial (provadores treinados e não treinados), métodos de cocção diferenciados, que incluem as variações na temperatura da câmara cocção, tempo de cozimento e temperatura final, forma de preparo das amostras e uso de grupamentos musculares diferentes quanto à raça, categoria animal, localização anatômica, função fisiológica e período de maturação (Kabeya, 2007). O método de cocção é o principal fator que afeta os valores de repetibilidade da força de cisalhamento e da análise sensorial segundo Wheeler, Shackelford e Kohmaraie (2001).

Entre os métodos mecânicos utilizados para avaliar a maciez da carne quantitativamente, o instrumento mais amplamente utilizado tem sido o aparelho de Warner-Bratzler, pela alta correlação com a satisfação dos consumidores e provadores treinados. Esse método mede a força de cisalhamento, ou seja, a força máxima requerida para romper/cisalhar uma amostra de carne fixa, em ângulo reto em relação à direção das fibras musculares (Moller, 1981). A sigla WBSF significa *Warner Bratzler Shear Force*, em homenagem aos pesquisadores K. F. Warner (1928) e L. J. Bratzler (1932), que desenvolveram o equipamento de corte para avaliar a maciez da carne.

Diversos autores (McKeith *et al.*, 1985; Griffin *et al.*, 1985; Johnson *et al.*, 1988 e Knapp *et al.*, 1989) sugerem como adequados valores de 4,5Kg de força de cisalhamento, medida através de uma célula Warner-Bratzler, em amostras cilíndricas de meia polegada de diâmetro, ou seja, valores inferiores a 4,5Kg caracterizam bifos macios, e acima desse valor os bifos são considerados duros.

Utilizando dados de um total de 3.435 carcaças de novilhos, novilhas e touros de 11 a 14 meses de idade por um período de 10 anos, Jeremiah *et al.* (1991) classificaram as carcaças

em grupos de acordo com a maciez, e consideraram as carnes com valores de força de cisalhamento $> 6,0\text{Kg}$ como sendo duras, enquanto abaixo desse valor as mesmas foram consideradas macias.

2.8.2 Cor da carne

A cor é a característica visual mais importante da carne, sendo um dos principais fatores relacionados à aceitação ou rejeição de carnes pelos consumidores, exercendo uma forte influência na decisão de compra (Gasperlin *et al.*, 2000).

A preferência dos consumidores é pela carne bovina de cor vermelho-brilhante ou vermelho-cereja, associada ao frescor do produto. A cor da carne é medida em valores relativos de reflexão de luz (L^* = Luminosidade; 0= preto; 100= branco), sendo inversamente proporcional à porcentagem do pigmento mioglobina presente no tecido muscular. Assim, uma vez que a cor da carne fresca é determinada pelas proporções relativas e distribuição da oximioglobina e metamioglobina, quanto maior o teor de mioglobina na carne, menor o valor L^* (Felicio, 1997). Fatores diversos como espécie, raça, sexo, idade e dieta do animal; localização anatômica do músculo, exercício físico; manejo pré-abate (nível de estresse no animal), insensibilização, sangria; condições de resfriamento (umidade relativa, evaporação da água), presença de antioxidantes, contaminação bacteriana; tempo de maturação e temperatura; embalagem e distribuição influenciam a cor da carne (Insausti *et al.*, 1999).

A cor é ainda afetada diretamente pelo declínio do pH do músculo e seu valor final, de maneira que a carne reflete menos luz a cada incremento de pH (Insausti *et al.*, 1999). Dessa forma, tendo-se em conta que a carne de touro tem maior concentração de mioglobina e maior incidência de $\text{pH}_{24} > 5,4$ em relação à carne de novilho, é natural que a carne de touro seja sempre mais escura do que a de novilho de mesma raça e maturidade (Felicio, 1997). Um dos problemas observados em carnes com $\text{pH} > 6,0$ são as alterações do tipo DFD (*Dark*: escura; *Firm*: firme e *Dry*: seca), cuja incidência é fortemente dependente do sexo do animal, ocorrendo mais em machos inteiros (11-15%) do que em vacas (6-10%) ou novilhas (1-5%), sendo esse problema associado ao estresse e excitação dos animais no período pré-abate (Norman, 1982; Puollane, 1988; Sanz *et al.*, 1996). A ocorrência de alterações do tipo DFD ou alto pH final da carne é determinada pela redução nos níveis de glicogênio antes do abate, resultando em menor produção de ácido na carne (Dransfield, 1994).

Os cortes de carne sob refrigeração mantêm a cor atrativa por aproximadamente 72 horas, dependendo do tipo de embalagem, composição dos gases da atmosfera que envolve a carne, fonte de iluminação e temperatura de conservação (Judge *et al.*, 1989). Isso pode ser explicado pelo ciclo da cor, que é dinâmico e pode ser reversível. Os principais pigmentos responsáveis pela cor característica da carne são a mioglobina e hemoglobina, sendo que

outros elementos, como o citocromo e enzima catalase contribuem de maneira menos significativa na cor da carne. Os cortes cárneos diferem quanto à cor, sendo mais claros ou escuros, dependendo da concentração e do estado físico-químico da mioglobina na superfície do músculo.

À medida que a carne é exposta à atmosfera, os pigmentos reagem com o oxigênio e a mioglobina assume a forma de oximioglobina, um pigmento de cor vermelho-cereja em aproximadamente 30-40 minutos, característica em carnes frescas, de aspecto atrativo aos consumidores (Lawrie, 2005). Com o decorrer do tempo, na ausência ou diminuição do oxigênio, esse pigmento é oxidado, formando a metamioglobina, de cor marrom não atrativa. A discriminação da cor marrom está relacionada à associação dessa cor com um longo período de armazenamento. A formação de 20% de metamioglobina na superfície da carne provoca sua rejeição no varejo, tornando-se inaceitável para o consumidor quando houver 50% de conversão de oximioglobina e metamioglobina (Felício, 1999).

Um dos principais sistemas de mensuração da cor é o proposto pela *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), denominado espaço $L^* a^* b^*$, também chamado de CIELAB, que foi desenvolvido em 1976. Nesse espaço de cores, o L^* indica o estímulo luminoso, variando de branco (100) a preto (0). Os valores de a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade, que demonstram as proporções de vermelho, sendo (+ a^*) vermelho e (- a^*) verde. O parâmetro b^* indica as alterações da cor amarela, refletido ou transmitido pelo objeto, e varia de amarelo (+ b^*) ao azul (- b^*) (Felício, 1999).

Diversos autores têm utilizado a avaliação objetiva da cor como indicador de parâmetros de qualidade da carne bovina. Objetivando caracterizar a cor, a textura e a firmeza do músculo *Longissimus dorsi*, Shackelford *et al.* (1994a) observaram que a carne dos animais das raças Brahman e Nelore obtiveram as menores pontuações para cor, ou seja, carne mais clara.

Estudando as características de qualidade da carne de touros jovens da raça Nelore, Abularach *et al.* (1998) obtiveram valores L^* , a^* , b^* , para amostras do músculo *Longissimus dorsi* de 34,85; 18,08 e 6,12, indicando carne clara.

2.8.3 Temperatura e pH

Acredita-se que o pH e a temperatura *post mortem* têm grande efeito nas propriedades musculares e na maciez final da carne (Yu & Lee, 1986). Por muitos anos acreditou-se que somente dois fatores poderiam ser controlados para melhorar a maciez da carne: abater o animal enquanto jovem ou fazer a maturação da carne às temperaturas de 0 a 5⁰C. Está amplamente comprovado que as condições de resfriamento impostas às carcaças durante as primeiras doze horas após a morte do animal têm grande influência na maciez da carne,

devido ao risco de ocorrência do encurtamento pelo frio (Kastner & Felício, 1980; Judge *et al.*, 1989). Este problema ocorre devido ao encurtamento dos músculos da carcaça bovina quando esta é exposta à temperatura de resfriamento na fase pré-rigidez, tornando a carne dura. O grau de encurtamento, bem como o conseqüente endurecimento, vai depender da intensidade do resfriamento e do tempo pós morte .

O período de tempo para que a temperatura atinja valores inferiores a 16° C no centro do músculo *Longissimus dorsi* é uma medida adequada para avaliar as possibilidades de encurtamento pelo frio. Se este período for superior a 10 horas pode-se considerar que a possibilidade de ocorrência do encurtamento pelo frio e, conseqüentemente, uma carne dura, será evitada. Entretanto, se o tempo for menor do que 10 horas, provavelmente serão proporcionadas condições para ocorrência do encurtamento, que será mais intenso quanto menor o intervalo de tempo considerado (Judge *et al.*, 1989).

No período *post mortem*, o glicogênio muscular é convertido em lactato e H⁺, resultando em uma queda no pH da carne, de forma que o nível de glicogênio no momento do abate está inversamente relacionado ao pH final (Vestegaard *et al.*, 2000). Carnes com pH final elevado, normalmente estão relacionadas a depleção do glicogênio muscular antes do abate, o que está associado com diferentes fatores estressantes como tempo e tipo de transporte dos animais da fazenda ao matadouro, período de jejum prolongado, mistura de animais de diferentes lotes e fatores genéticos que promovem uma substancial depleção do glicogênio muscular e um alto pH final da carne, principalmente se o animal é abatido antes de repor as reservas musculares de glicogênio (Tarrant & Sherington, 1980; Tarrant, 1981).

O pH muscular logo após o abate afeta significativamente a maciez da carne. A rápida queda de pH do músculo *post mortem* influencia de maneira benéfica a maciez da carne, sendo sua capacidade de melhorar a qualidade atribuída à prevenção do encurtamento pelo frio, à liberação de enzimas lisossomais e à ativação de catepsinas. Uma vez que o pH, logo após o abate, é de fato um determinante da maciez, uma grande variação na taxa glicolítica pode ser uma importante causa da variabilidade da maciez, tanto entre como dentro do músculo *Longissimus dorsi* (Marsh *et al.*, 1981).

Geralmente, músculos com pH final baixo têm menor capacidade de retenção de água, são pálidos e moles. Por outro lado, músculos com pH final alto têm alta capacidade de retenção de água, são escuros e firmes. A Síndrome DFD (*Dark*: escura; *Firm*: firme/dura; *Dry*: seca) se manifesta em carnes com pH $\geq 6,0$ e tem sido associada com estresse pré-abate, sendo que touros jovens são mais susceptíveis ao estresse do que os castrados e as fêmeas (Norman, 1982; Puollane, 1988; Sanz *et al.*, 1996).

2.8.4 Perdas durante o processamento

A capacidade de retenção de água (CRA) é definida como a habilidade da carne para reter parcial ou totalmente a água nela contida. A aplicação de calor durante a cocção dos bifes promove a desnaturação das proteínas da carne, alterando a capacidade de retenção de água (CRA) (Lawrie, 2005). Assim, a mensuração das perdas de peso durante o cozimento (gotejamento e evaporação) permite estimar a suculência dessas carnes quando já processadas.

A importância de avaliar as perdas de líquidos durante a cocção é a associação desses valores com a suculência da carne durante a degustação. Costa *et al.* (2002), avaliando características qualitativas de carnes de novilhos Red Angus superprecoce terminados em confinamento com diferentes pesos, observaram correlação negativa entre perdas de líquidos e suculência, indicando que uma maior perda de líquidos resulta em menores valores de suculência durante a degustação. Nesse experimento as perdas por cocção variaram entre 20,13% e 25,58% do menor para o maior peso e a suculência avaliada subjetivamente variou entre 6,8 e 6,4 (1= muito seca; 9= muito suculenta) também do menor para o maior peso.

Já Puga *et al.* (1999) observaram em cortes de dianteiro maturados por 9 e 14 dias correlação positiva ($r=0,539$; $p<0,05$) entre FC e perdas ao cozimento, demonstrando que, quanto maiores foram as perdas, maiores foram as FC. Nesse trabalho as amostras maturadas por nove dias apresentaram FC igual a 7,04Kg e perdas ao cozimento igual a 39,44%. Já as amostras maturadas por 14 dias apresentaram FC igual a 5,83Kg e perdas ao cozimento igual a 36,02%.

As perdas de líquidos nas carnes se dividem em perdas por cocção e por purga. As perdas por purga ocorrem devido à exsudação de líquidos durante o processo de maturação. A exsudação é decorrente da desnaturação protéica causada pelas proteases, de modo que as carnes maturadas tendem a apresentar, dentro das embalagens, uma certa quantidade de líquido denominado “purga”. As perdas por cocção se dividem em perdas por gotejamento, que ocorrem com o desprendimento da água e da gordura fundida durante a cocção, e perdas por evaporação, devido à volatilização da água que se desprende durante a cocção (Santos Filho, 2003).

Assim como a maciez, as perdas de líquidos são influenciadas por diversos fatores, inerentes ao animal, como raça, ou resultantes do processamento pós-abate, como maturação e injeção de cálcio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Animais

Foram utilizados 20 bovinos, machos, castrados, da raça Brahman com idade variando entre 27 e 31 meses, mantidos em regime exclusivo a pasto, para verificação dos efeitos da vitamina D₃ sobre as características de carcaça e da carne.

O experimento foi realizado na Fazenda Querença, localizada no município de Inhaúma, 90 Km de Belo Horizonte-MG no mês de junho de 2004. Todos os animais foram criados na referida fazenda, em pastos de *Brachiaria brizantha* ou *Brachiaria decumbens*, do nascimento à desmama (em torno de sete a oito meses), sem receber nenhum tipo de suplementação, apenas sal mineral e água à vontade. Os animais receberam três doses de vermífugo (Ivermectina na dose de 1mL/50Kg) e foram vacinados contra carbúnculo sintomático (duas doses), febre aftosa (duas doses) e raiva nas épocas apropriadas.

Os animais tiveram seu ganho de peso acompanhado e registrado em planilha específica para este fim, desde o nascimento até o dia do abate.

3.2 Tratamentos

Dez dias antes do abate, os animais receberam, por via oral, quatro diferentes níveis de vitamina D₃. Os 20 animais foram divididos em quatro grupos de acordo com a dosagem (milhões de UI) de vitamina D₃ a receber diariamente:

Tratamento 1: 0 x 10⁶ UI de vitamina D₃ (placebo)

Tratamento 2: 2,5 x 10⁶ de UI de vitamina D₃

Tratamento 3: 5 x 10⁶ de UI de vitamina D₃

Tratamento 4: 10 x 10⁶ de UI de vitamina D₃

A vitamina D₃ utilizada no experimento foi a Lutavit D₃ 500S da BASF[®]. A administração foi feita por via oral, diluída em água, de forma que os tratamentos 2, 3 e 4 receberam, respectivamente, 33, 66 e 132 mL de solução contendo a vitamina D₃ diluída. Os animais eram trazidos diariamente ao curral e colocados no tronco para receberem a solução, que era administrada com pistola do tipo vermifugadora. Após a realização desse manejo, os animais eram novamente levados ao pasto.

3.3 Abate

Antes do embarque para o matadouro-frigorífico, todos os 20 animais foram pesados após jejum de 18 horas (jejum e dieta hídrica). Logo após, os animais foram enviados ao frigorífico em “caminhão boiadeiro”, tipo “truque”, com capacidade de carga média de 20 animais, onde foram abatidos no dia seguinte. Foram tomados os devidos cuidados na fazenda, durante o embarque, e ainda durante o transporte dos animais, para minimizar o estresse e evitar perdas econômicas decorrentes de lesões como contusões e hematomas nas carcaças, e o conseqüente comprometimento da qualidade da carne.

No 11^o dia do experimento os animais foram abatidos em Frigorífico sob Inspeção Federal (Frigobet, em Betim-MG), após jejum e descanso regulamentar, de acordo com os padrões e normas exigidos pelo Serviço de Inspeção Federal.

Ao iniciar o abate, todos os animais foram numerados por ordem de entrada no boxe de atordoamento e as respectivas carcaças foram carimbadas com esse número, de forma a se fazer a correspondência entre o número de identificação do animal (brinco na orelha) com a ordem de entrada no abate e numeração da carcaça.

Durante o abate, foram realizadas as avaliações de pesagens e medições nas carcaças, como pesagem dos órgãos e vísceras (componentes não pertencentes à carcaça), rendimento de carcaça, temperatura e pH. Amostras de sangue e fígado dos animais foram coletadas e submetidas a análises laboratoriais para dosagem dos teores de cálcio, fósforo e magnésio, por colorimetria.

No decorrer do abate, foram pesados em balança eletrônica digital Filizola com divisão de 5 em 5g, o couro, os mocotós, o conjunto cabeça + língua, a rabada, o fígado, o coração, os pulmões + traquéia e os rins de cada animal, para posterior avaliação da pesagem dos componentes não pertencentes à carcaça.

Após a evisceração e divisão longitudinal das carcaças ao meio, as meias-carcaças foram pesadas para a obtenção do peso da carcaça quente (PCQ), utilizando balança Filizola com divisão de 500 em 500g, lavadas e conduzidas a uma câmara fria. Todas as carcaças permaneceram na câmara fria por um período de 24 horas, na temperatura de + 2°C a -1°C.

Após o abate, na 3^a, 10^a, e 24^a horas *post mortem* foram tomadas medidas de temperatura e de pH, na altura da 12^a vértebra torácica no músculo *Longissimus dorsi* (do lado esquerdo). Para medida do pH utilizou-se um pHmetro modelo 420A da marca Orion com eletrodo de perfuração específico para carnes (tipo DME-CF1) e para a medida da temperatura utilizou-se um termômetro digital, modelo GULterm 180 com sonda de penetração específica para carnes.

3.4 Desossa

Após 24 horas de resfriamento na câmara fria, as carcaças foram encaminhadas ao Entrepasto de Carnes e Derivados (sob Inspeção Federal) para realização da desossa e apuração dos rendimentos em cortes cárneos, ossos e gordura. As duas meias-carcaças foram divididas entre a 5^a e 6^a vértebras torácicas em quarto dianteiro e traseiro. Do quarto traseiro foi separado o traseiro serrote ou especial, fazendo-se a serragem das costelas torácicas a uma distância de, aproximadamente, 18 cm da linha média e, seguindo-se em linha reta, até atingir os músculos abdominais, que também foram incisados, separando-se, assim, a ponta de agulha. Todas essas porções (traseiro serrote, dianteiro e ponta de agulha) foram pesadas individualmente em balança eletrônica digital Filizola com divisão de 100 em 100g, tendo seus pesos registrados em planilha específica.

Seqüencialmente, essas porções foram desossadas nos seguintes cortes comerciais: a) dianteiro: acém, paleta, maçã de peito e músculo; b) traseiro especial: alcatra, contra filé, filé mignon, coxão mole, coxão duro, lagarto, patinho e músculo; c) ponta de agulha: porção cárnea. Foram ainda pesados o cupim e a capa de filé. De cada porção foram apurados pesos dos ossos, retalhos magros e as aparas de gordura. Todos os cortes foram pesados em balança eletrônica digital Filizola com divisão de 5 em 5g, sendo esses dados registrados em planilhas específicas.

Os músculos *Longissimus dorsi* foram então desossados, sendo retiradas três amostras de contra filé de cada animal, na altura da 12^a e 13^a vértebra torácica em direção às vértebras lombares (contra filé de lombo), para realização das análises de maciez, cor, e perdas no processamento e verificação dos efeitos do tratamento. As três amostras retiradas foram submetidas a diferentes períodos de maturação (Tempo 1: carne fresca; Tempo 2: 14 dias e Tempo 3: 28 dias). As amostras do Tempo 1 de maturação foram destinadas à avaliação direta da textura objetiva e as demais foram submetidas à maturação em embalagem a vácuo por 14 e 28 dias (carne maturada), armazenadas em estufa BOD regulada para temperatura de -2°C.

As amostras de contra filé foram retiradas em bifes de 2,54 cm de espessura, sendo utilizada uma régua graduada, com precisão de 1mm, para padronizar a espessura. As amostras foram embaladas individualmente a vácuo e etiquetadas com a identificação dos animais e respectivo tratamento (1 - carne fresca - 14 e 28 dias de maturação). Ainda durante a desossa, foi coletada uma amostra de capa de filé de cada animal, para verificação dos teores de cálcio, fósforo e magnésio.

3.5 Análise da Cor

As análises de cor das amostras de carne fresca foram realizadas no Laboratório de Alimentos da Faculdade de Farmácia da UFMG.

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* foram determinados com o auxílio de um colorímetro portátil da marca Colortec Version II, que foi “disparado” sobre a superfície de corte da amostra, após a mesma ter sido aberta e submetida a 30 minutos de exposição a atmosfera de refrigeração (4°C). As leituras foram registradas em planilha específica.

Após a leitura da cor, as amostras de contra filé foram levadas para o Laboratório de Tecnologia de Carnes do Departamento de Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal da UFMG, onde foram acondicionadas em uma estufa BOD 347 CD pré-resfriada a uma temperatura de -2°C . As amostras permaneceram na estufa em temperatura de -2°C até o momento de serem processadas, o que ocorreu no mesmo dia para as amostras de carne fresca.

3.6 Processamento

As amostras de contra filé foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Carnes da EV-UFMG e acondicionadas em estufa de refrigeração regulada a -2°C , até o processamento das análises, exceto as amostras de carne fresca, que foram analisadas imediatamente. Para as amostras maturadas, após decorrido o tempo de maturação, as mesmas foram congeladas para avaliação subsequente.

3.6.1 Avaliação das perdas à cocção

As amostras, após serem retiradas da estufa, eram pesadas isoladamente e embaladas, assim como os conjuntos de grelhas e bandejas, para cálculo das perdas por gotejamento, evaporação, cocção e perdas totais.

Para a avaliação das perdas de peso à cocção, inicialmente foram pesadas as amostras cruas (bife) e conjunto bandeja mais grelha separadamente, e então submetidos ao processamento em forno elétrico. As amostras foram processadas em forno elétrico de aquecimento superior/inferior, previamente aquecido a 170°C . Todos os bifes tiveram suas temperaturas monitoradas durante o cozimento, por meio de sensores (um sensor para cada amostra) acoplados a um termômetro digital modelo TH 1000 da Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda, e, quando atingiam uma temperatura de 70°C em seu centro geométrico,

os mesmos foram retirados do forno e deixados à temperatura ambiente por 2 horas para que esfriassem (AMSA, 1978). Ao final do cozimento os conjuntos contendo as amostras foram retirados do forno, deixados esfriar a temperatura ambiente e em seguida pesados, obtendo assim o peso ao final do cozimento. Retirou-se então a amostra que foi pesada procedendo-se o mesmo com a bandeja e grelha.

As perdas por evaporação foram avaliadas pela diferença entre peso do conjunto grelha mais amostra antes e após a cocção. As perdas por gotejamento foram feitas pela diferença entre o peso da grelha antes e após a cocção. As perdas totais à cocção foram obtidas pela diferença entre amostra crua e cozida.

3.6.2 Avaliação da maciez

Após o resfriamento foram retirados oito cilindros de 1,27 cm de diâmetro, paralelos a orientação das fibras musculares, que foram submetidos à avaliação objetiva de maciez (Força de Cisalhamento ou *Warner Bratzler Shear Force* – WBSF). Dos oito cilindros analisados, os resultados de seis foram considerados, após eliminação dos extremos. Para realização dessa análise, foi utilizado o texturômetro TA-XT2 (*Stable Micro Systems*) acoplado à célula e lâmina Warner-Bratzler, sendo a média das seis repetições o valor de WBSF para cada bife. O aparelho foi calibrado a cada bateria de amostras. As amostras de carne maturadas por 14 e 28 dias foram congeladas após o referido período de maturação para as análises posteriores.

3.7 Delineamento estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, envolvendo quatro tratamentos (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) de vitamina D₃ e cinco repetições, totalizando 20 animais. Os dados obtidos foram analisados por análise de variância com nível de significância de 5% (ANOVA), procurando identificar o efeito do tratamento sobre as diversas características pesquisadas (rendimento de carcaça, dos componentes não pertencentes à carcaça e de cortes cárneos, pH, cor, maciez objetiva, tempo de maturação e perdas durante o processamento). Todos os dados foram analisados pelo software estatístico MiniTab.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho

Como apresentado na tabela 1, não foram encontradas diferenças ($P>0,05$) para as características de peso vivo ao início (PVE) e final (PVA) do experimento. Os resultados encontrados são semelhantes aos relatados por Kabeya (2007), Feed *et al.* (2003), Pedreira (2002) e Montgomery *et al.* (2001), nos quais os tratamentos não interferiram nos parâmetros de peso.

Porém, com relação ao ganho de peso total (GPT) e ao ganho de peso médio diário (GPMD), os animais tratados com a dose mais elevada de vitamina D₃ (tratamento T₄) apresentaram perda de peso no final do tratamento, possivelmente decorrente do efeito cumulativo vitamina D₃ sobre a ingestão de alimentos, reduzindo a mesma. Além disso, alguns animais do referido tratamento apresentaram diarreia nos últimos dias de experimento, justificando a perda de peso. Os resultados corroboram os achados os descritos por Montgomery *et al.* (2002), Scanga *et al.* (2001), Berry *et al.* (2000), Karges *et al.* (1999a, b, c, d) e Vargas *et al.* (1999a), em que o fornecimento de altas doses de vitamina D₃ fez com que os animais tivessem menor peso vivo final e menor ganho de peso diário devido à redução da ingestão de alimentos, o que pode ter sido um indicativo de intoxicação por vitamina D₃.

Tabela 1 – Médias e desvios-padrão do peso vivo de entrada (PVE), idade (IA) e peso ao abate (PVA) e ganhos de pesos total (GPT) e médio diário (GPMD) durante a fase experimental para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) com vitamina D₃ por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão				
	PVE (kg)	IA (meses)	PVA (kg)	GPT (kg)	GPMD (kg/dia)
1	587,60 ^a ± 53,73	31	592,40 ^a ± 58,23	4,80 ^a	0,48 ^a ± 0,03
2	600,40 ^a ± 46,76	30	605,20 ^a ± 47,47	4,80 ^a	0,48 ^a ± 0,04
3	590,40 ^a ± 24,27	30	596,80 ^a ± 24,52	6,40 ^a	0,64 ^a ± 0,02
4	586,00 ^a ± 84,63	30	573,20 ^a ± 94,98	-12,80 ^b	-1,280 ^b ± 0,10

Médias com diferentes letras sobrescritas na mesma coluna indicam haver diferença estatística ($P<0,05$). T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Segundo Montgomery (2004a), o fornecimento de 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por dia durante oito dias antes do abate diminuiu a ingestão de alimentos durante o tratamento. Nos trabalhos de Karges *et al.* (1999a, 2001) o fornecimento de 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por quatro ou seis dias antes do abate foi responsável por uma diminuição na ingestão de matéria seca em 11,7% e 13,9%, respectivamente. Os mesmos autores, em outro

experimento (Karges *et al.*, 1999b), verificaram que a diminuição na ingestão de matéria seca em animais tratados com vitamina D₃ foi dependente da dose administrada, assim como pode ser observado na tabela 1, referente aos animais do tratamento quatro (T₄). Em animais tratados com 7,5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ houve significativa diminuição de ingestão de matéria seca no segundo dia de tratamento, enquanto esse mesmo efeito foi observado nos dias quatro, cinco e seis para os animais que receberam 15; 7,5 e 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃, respectivamente. Como resultado, os animais tiveram menor ganho de peso médio diário e menores pesos ao abate.

4.2 Características Quantitativas das Carcaças

4.2.1 Itens Não Carcaça

Nas tabelas 2 e 3 estão apresentados os resultados referentes aos pesos e rendimentos em função do peso vivo de abate da carcaça quente e dos diversos itens “não carcaça”.

Como pode ser observado nas tabelas 2 e 3, não foram observadas diferenças (P>0,05) nos pesos e rendimentos de carcaça quente, e ainda nos pesos das vísceras estudadas, inclusive fígado e rins, o que corrobora com os achados de diversos autores (Kabeya, 2007; Montgomery *et al.*, 2004a; Montgomery *et al.*, 2002; Pedreira, 2002 e Swanek *et al.*, 1997). Os resultados encontrados são compatíveis com o tipo racial (zebuínos), além de se tratar de lote semelhante com relação ao peso vivo, idade de abate e castrados. Entretanto, quando considerado somente o rendimento, o fígado e rins tenderam a ser mais pesados nos animais tratados com vitamina D₃, possivelmente por serem os órgãos de metabolização dessa vitamina.

Tabela 2 – Médias e desvios-padrão dos pesos de carcaça quente (PCQ), mocotós, cabeça e língua, fígado, coração, pulmões e traquéia, rins, gordura perirrenal e couro, de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Item	Médias e Desvios-padrão - Peso (kg)			
	Tratamento 1 (T ₁)	Tratamento 2 (T ₂)	Tratamento 3 (T ₃)	Tratamento 4 (T ₄)
PCQ (Kg)	321,00 ^a ± 35,62	324,40 ^a ± 19,62	316,20 ^a ± 17,14	303,80 ^a ± 44,92
Mocotós	11,89 ^a ± 0,69	11,30 ^a ± 1,53	11,14 ^a ± 0,40	10,82 ^a ± 1,83
Cabeça + Língua	15,04 ^a ± 0,88	15,32 ^a ± 1,22	15,16 ^a ± 0,83	14,70 ^a ± 1,81
Fígado	5,86 ^a ± 0,80	6,68 ^a ± 0,78	6,37 ^a ± 0,23	5,80 ^a ± 0,90
Coração	1,88 ^a ± 1,10	1,83 ^a ± 0,20	1,74 ^a ± 1,5	1,80 ^a ± 0,30
Pulmões + Traquéia	7,05 ^a ± 1,15	7,12 ^a ± 1,13	6,60 ^a ± 0,28	6,66 ^a ± 1,56
Rins	1,03 ^a ± 0,14	0,95 ^a ± 0,14	0,89 ^a ± 0,06	1,03 ^a ± 0,13
Gordura perirrenal	2,05 ^a ± 0,61	2,03 ^a ± 0,25	2,27 ^a ± 0,68	2,05 ^a ± 0,56
Couro	58,20 ^a ± 5,26	58,60 ^a ± 8,73	54,80 ^a ± 7,12	58,60 ^a ± 8,65

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma linha indicam não haver diferença estatística (P>0,05). T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Tabela 3 – Médias e desvios-padrão dos rendimentos de carcaça quente (RCQ), mocotós, cabeça e língua, fígado, coração, pulmões e traquéia, rins, gordura perirrenal e couro, de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Item	Médias e Desvios-padrão – Rendimento (%)			
	Tratamento 1 (T ₁)	Tratamento 2 (T ₂)	Tratamento 3 (T ₃)	Tratamento 4 (T ₄)
RCQ (%)	54,15 ^a ± 1,90	53,67 ^a ± 1,23	52,97 ^a ± 1,28	53,11 ^a ± 1,41
Mocotós	2,02 ^a ± 0,13	1,86 ^a ± 0,11	1,87 ^a ± 0,05	1,89 ^a ± 0,11
Cabeça + Língua	2,5 ^a ± 0,14	2,53 ^a ± 0,04	2,54 ^a ± 0,12	2,58 ^a ± 0,12
Fígado	0,99 ^a ± 0,07	1,10 ^b ± 0,06	1,07 ^{a,b} ± 0,03	1,02 ^{a,b} ± 0,07
Coração	0,32 ^a ± 0,03	0,30 ^a ± 0,02	0,29 ^a ± 0,03	0,31 ^a ± 0,02
Pulmões + Traquéia	1,19 ^a ± 0,17	1,17 ^a ± 0,13	1,11 ^a ± 0,04	1,16 ^a ± 0,11
Rins	0,17 ^{a,b} ± 0,02	0,16 ^{a,b} ± 0,02	0,15 ^b ± 0,01	0,18 ^a ± 0,02
Gordura perirrenal	0,35 ^a ± 0,10	0,34 ^a ± 0,07	0,38 ^a ± 0,10	0,36 ^a ± 0,10
Couro	9,95 ^a ± 1,73	9,76 ^a ± 1,80	9,18 ^a ± 1,13	10,27 ^a ± 0,82

Médias com diferentes letras sobrescritas na mesma linha indicam haver diferença estatística (P<0,05). T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

4.2.2 Rendimento de Carcaça

Os resultados referentes aos pesos e respectivas porcentagens (calculadas em função do peso da carcaça fria) do dianteiro, traseiro serrote e ponta de agulha estão apresentados na tabela 4.

Não foram encontradas diferenças (P>0,05) para as principais características de carcaça estudadas, como os RCQ e RCF e os rendimentos dos principais cortes cárneos, provavelmente por se tratar de grupo experimental homogêneo, apresentando semelhanças quanto ao peso vivo, idade de abate e, sobretudo, por se tratar de animais castrados com elevado peso ao abate. Resultados semelhantes foram descritos por Kabeya (2007), Montgomery *et al.* (2004a), Montgomery *et al.* (2002), Pedreira (2002) e Swanek *et al.* (1997), que também não observaram diferenças para as características de carcaça entre animais tratados e não tratados com vitamina D₃. Já Karges *et al.* (1999d e 2001) relataram menores pesos e rendimentos de carcaça quente para animais que receberam 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por quatro a seis dias consecutivos antes do abate.

Tabela 4 – Médias e desvios-padrão dos pesos (PCQ) e rendimentos de carcaça quente (RCQ) e fria (PCF, RCF) em função do peso vivo (PV) e dos rendimentos de dianteiro, ponta de agulha e traseiro especial em função do peso de meia carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Item	Médias e Desvios-padrão (Peso e Rendimento)			
	Tratamento 1 (T ₁)	Tratamento 2 (T ₂)	Tratamento 3 (T ₃)	Tratamento 4 (T ₄)
PV (Kg)	592,40 ^a ± 58,23	605,20 ^a ± 47,47	596,80 ^a ± 24,52	573,20 ^a ± 94,98
PCQ (Kg)	321,00 ^a ± 35,62	324,40 ^a ± 19,62	316,20 ^a ± 17,14	303,80 ^a ± 44,92
RCQ (%)	54,15 ^a ± 1,90	53,67 ^a ± 1,23	52,97 ^a ± 1,28	53,11 ^a ± 1,41
PCF (Kg)	318,62 ^a ± 34,78	321,16 ^a ± 20,16	313,04 ^a ± 16,69	301,39 ^a ± 44,36
Quebra (%)	0,72 ^a ± 0,19	1,00 ^a ± 1,15	0,99 ^a ± 0,24	0,79 ^a ± 0,27
RCF (%)	53,76 ^a ± 1,86	53,13 ^a ± 1,51	52,44 ^a ± 1,22	52,70 ^a ± 1,49
Dianteiro (%)	38,65 ^a ± 1,42	38,33 ^a ± 0,87	38,58 ^a ± 0,80	37,67 ^a ± 0,95
Ponta de agulha (%)	11,57 ^a ± 0,26	12,65 ^a ± 0,22	12,25 ^a ± 0,47	12,74 ^a ± 1,10
Traseiro especial (%)	49,06 ^a ± 1,34	48,02 ^a ± 0,74	48,18 ^a ± 0,94	48,80 ^a ± 0,66

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma linha indicam não haver diferença (P>0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Embora o rendimento seja geralmente o primeiro índice considerado na avaliação das carcaças, e reflita a quantidade total de carcaça em relação ao animal vivo, sua acurácia como indicador de desempenho é questionável (Perón *et al.*, 1993b). Segundo Hedrick (1983), fatores como sexo, raça, tipo de animal, conteúdo gastrointestinal e variação individual influenciam o rendimento de carcaça. Além disso, este parâmetro é altamente afetado pela quantidade de horas em jejum a que o animal foi submetido antes do abate, assim como por sua dieta. Assim, torna-se importante a avaliação do rendimento em cortes cárneos, uma vez que nem sempre os animais mais pesados são os que obtêm os maiores rendimentos (Perón *et al.*, 1993b).

O rendimento da carcaça fria se refere ao rendimento total de ossos, carne e gordura da carcaça após a mesma ter sido resfriada por um período de 24 horas, sendo que a composição da carcaça sofre variações devido ao manejo alimentar (pasto ou confinamento), sexo (fêmeas, macho castrado ou inteiro), idade (jovem ou adulto) e genótipo do animal (zebuíno ou taurino) (Perón *et al.*, 1993b).

Os valores para peso e rendimento de carcaça fria estão de acordo com o esperado, uma vez que as quebras de peso das carcaças pelo frio podem chegar até 2,5%, o que não ocorreu, devido à boa cobertura de gordura presente nas carcaças, oriundas de animais castrados e com peso elevado ao abate.

4.2.3 Rendimento em Cortes Cárneos

Nas tabelas 5 a 8 estão apresentados os resultados das médias de rendimentos para os cortes do dianteiro e do traseiro especial e ainda dos rendimentos totais em carne, ossos e aparas dos animais abatidos em relação à carcaça fria.

Não foram observadas diferenças ($P>0,05$) nos rendimentos de cortes cárneos do dianteiro e traseiro especial, e nos rendimentos totais em carne, ossos e aparas para os animais submetidos aos tratamentos com vitamina D₃. Esses resultados se devem, provavelmente, em decorrência da uniformidade do lote experimental, por se tratar de animais zebuínos criados a pasto, que apresentavam semelhanças quanto ao peso vivo e idade de abate. Além disso, por serem animais castrados e com elevado peso ao abate, os mesmos obtiveram resultados para pesos e rendimentos de cortes cárneos comerciais compatíveis com essa categoria.

Tabela 5 – Médias e desvios-padrão dos rendimentos em cortes cárneos e ossos do dianteiro em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Médias e Desvios-padrão (Rendimento do Dianteiro %)						
T	AA	MP	PC	Aparas	Retalhos	Ossos
T ₁	12,09 ^a ± 0,97	4,35 ^a ± 0,40	11,66 ^a ± 0,71	1,41 ^a ± 0,18	0,19 ^a ± 0,04	7,48 ^a ± 0,40
T ₂	12,06 ^a ± 0,88	4,90 ^a ± 0,68	12,23 ^a ± 1,22	1,38 ^a ± 0,09	0,11 ^a ± 0,02	7,03 ^a ± 0,48
T ₃	11,79 ^a ± 0,43	4,85 ^a ± 0,41	12,10 ^a ± 1,05	1,47 ^a ± 0,24	0,17 ^a ± 0,08	7,33 ^a ± 0,94
T ₄	11,48 ^a ± 0,49	4,74 ^a ± 0,35	11,84 ^a ± 0,47	1,25 ^a ± 0,11	0,14 ^a ± 0,55	7,58 ^a ± 0,46

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística ($P>0,05$). T: Tratamento; T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

AA: Acém aparado; MP: Maçã de peito; PC: Pá completa.

Tabela 6 – Médias e desvios-padrão dos rendimentos em carne, ossos e aparas do dianteiro em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Médias e Desvios-padrão (Rendimentos Totais %)				
Tratamentos	Carne	Ossos	Aparas	Total do dianteiro
T ₁	72,54 ^a ± 3,64	19,32 ^a ± 0,97	4,14 ^a ± 0,53	96,01 ^a ± 3,60
T ₂	74,06 ^a ± 4,86	17,82 ^a ± 1,23	3,78 ^a ± 0,21	95,66 ^a ± 5,92
T ₃	73,60 ^a ± 4,81	18,80 ^a ± 2,76	4,20 ^a ± 0,86	96,60 ^a ± 7,97
T ₄	75,41 ^a ± 2,05	20,36 ^a ± 1,24	3,76 ^a ± 0,31	99,53 ^a ± 2,01

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística ($P>0,05$).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Tabela 7 – Médias e desvios-padrão dos rendimentos para os cortes cárneos do traseiro especial em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Item	Médias e Desvios-padrão (Rendimento do Traseiro %)			
	Tratamento 1 (T ₁)	Tratamento 2 (T ₂)	Tratamento 3 (T ₃)	Tratamento 4 (T ₄)
Alcatra	8,17 ^{a,b} ± 0,55	7,58 ^a ± 0,22	8,13 ^{a,b} ± 0,37	8,65 ^b ± 0,56
Miolo de alcatra	3,08 ^a ± 0,23	2,91 ^a ± 0,13	3,02 ^a ± 0,13	3,28 ^a ± 0,26
Picanha	1,27 ^a ± 0,14	1,15 ^a ± 0,14	1,32 ^a ± 0,23	1,24 ^a ± 0,17
Maminha	1,06 ^a ± 0,10	1,02 ^a ± 0,09	1,02 ^a ± 0,08	1,08 ^a ± 0,10
Contra filé	6,29 ^a ± 0,31	6,04 ^a ± 0,34	6,25 ^a ± 0,48	6,05 ^a ± 0,17
Patinho	4,15 ^a ± 0,17	3,92 ^a ± 0,30	3,96 ^a ± 0,07	4,28 ^a ± 0,37
Lagarto	2,09 ^a ± 0,27	1,88 ^a ± 0,14	1,97 ^a ± 0,14	1,95 ^a ± 0,06
Chã de dentro	7,00 ^a ± 0,39	7,02 ^a ± 0,40	7,13 ^a ± 0,17	7,52 ^a ± 0,48
Chã de fora	4,36 ^a ± 0,27	4,09 ^a ± 0,27	4,27 ^a ± 0,30	4,13 ^a ± 0,38
Filé mignon	1,48 ^a ± 0,05	1,42 ^a ± 0,16	1,46 ^a ± 0,08	1,62 ^a ± 0,14
Capa de filé	1,09 ^a ± 0,21	1,28 ^a ± 0,21	1,04 ^a ± 0,16	1,20 ^a ± 0,15
Músculo	3,60 ^a ± 0,14	3,30 ^b ± 0,11	3,39 ^{a,b} ± 0,21	3,46 ^{a,b} ± 0,08
Borboleta	0,18 ^a ± 0,01	0,16 ^a ± 0,03	0,19 ^a ± 0,02	0,19 ^a ± 0,02
Dedinho	0,43 ^a ± 0,02	0,42 ^a ± 0,03	0,46 ^a ± 0,05	0,46 ^a ± 0,08
Fraldinha	0,90 ^a ± 0,25	1,23 ^a ± 0,27	0,98 ^a ± 0,25	1,11 ^a ± 0,30
Aparas de gordura	2,36 ^a ± 0,22	2,24 ^a ± 0,14	2,21 ^a ± 0,31	2,10 ^a ± 0,20
Retalhos magros	0,85 ^a ± 0,07	0,87 ^a ± 0,15	0,83 ^a ± 0,11	0,78 ^a ± 0,17
Ossos	9,78 ^a ± 1,27	8,64 ^a ± 0,68	9,28 ^a ± 0,55	9,18 ^a ± 0,44

Médias com diferentes letras sobrescritas na mesma linha indicam haver diferença estatística (P<0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Tabela 8 – Médias e desvios-padrão dos rendimentos em carne, ossos e aparas do traseiro especial em função do peso de carcaça fria para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão (Rendimentos Totais %)			
	Carne	Ossos	Aparas	Total do traseiro
T ₁	74,40 ^a ± 1,91	19,70 ^a ± 2,66	6,46 ^a ± 0,31	100,57 ^a ± 1,73
T ₂	74,86 ^a ± 1,58	18,06 ^a ± 1,54	6,50 ^a ± 0,59	99,42 ^a ± 0,95
T ₃	75,27 ^a ± 1,86	19,13 ^a ± 0,73	6,26 ^a ± 0,55	100,66 ^a ± 1,11
T ₄	75,29 ^a ± 1,31	18,39 ^a ± 0,94	5,76 ^a ± 0,46	99,45 ^a ± 0,77

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística (P>0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

O rendimento em cortes cárneos indica o total da porção comestível da carcaça de um animal, sendo que maiores rendimentos em cortes cárneos implicam em maior eficiência por parte do animal na conversão alimentar, convertendo o alimento recebido em tecido nobre, rico em proteína, que é a carne. Sendo a carcaça composta basicamente de carne, ossos e gordura, quando da desossa completa obtêm-se, além desses itens, retalhos magros (relacionados diretamente à intensidade da limpeza no preparo dos cortes cárneos) e aparas de gordura, que são em maior proporção quanto maiores forem os depósitos de gordura de cobertura e a intensidade de "limpeza" requerida pelo corte. Assim, na composição de uma carcaça é desejável obter-se maiores proporções de carne e menores proporções de ossos e gordura, conforme os resultados obtidos pelos animais do referido experimento e que podem ser observados nas tabelas 5 a 8 acima.

Os dados apresentados estão de acordo com os descritos por diversos trabalhos da literatura (Kabeya, 2007; Montgomery *et al.*, 2004a; Montgomery *et al.*, 2002; Pedreira, 2002 e Swanek *et al.*, 1997), que não relataram diferenças significativas nos rendimentos dos principais cortes cárneos dos animais tratados com vitamina D₃, bem como nos rendimentos de porções comestíveis.

4.3 Concentração de Minerais no Plasma, no Músculo e no Fígado

Nas tabelas 9, 10 e 11 estão apresentados os valores de médias e desvios-padrão para as concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) no plasma, músculo e fígado dos animais abatidos.

Tabela 9 – Médias e desvios-padrão das concentrações plasmáticas de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) dos novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão (sangue)		
	Ca mg/dL	Mg mg/dL	P mg/dL
T ₁	9,60 ^a ± 0,31	2,34 ^a ± 0,17	7,44 ^a ± 1,11
T ₂	9,40 ^a ± 0,46	2,30 ^{a,b} ± 0,10	8,22 ^{a,b} ± 0,73
T ₃	9,89 ^a ± 0,44	2,20 ^{a,b} ± 0,16	9,88 ^b ± 1,85
T ₄	10,30 ^a ± 0,85	2,06 ^b ± 0,15	10,10 ^b ± 1,29

Médias com diferentes letras sobrescritas na mesma coluna indicam haver diferença estatística (P<0,05). T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Os dados apresentados acima evidenciam diferenças (P<0,05) apenas nas concentrações plasmáticas de magnésio e fósforo entre os tratamentos, não havendo interferência do tratamento sobre as concentrações plasmáticas de cálcio (P>0,05). Os animais que

receberam as maiores doses de vitamina D₃ (T₄) apresentaram concentrações plasmáticas de magnésio significativamente menores (P<0,05). Com relação ao fósforo plasmático, houve o efeito inverso, ou seja, os animais que receberam as maiores dosagens (T₃ e T₄) apresentaram concentrações plasmáticas mais elevadas desse mineral. Esses resultados podem estar relacionados ao estreito controle do metabolismo de minerais no organismo do animal, em que a proporção entre os macrominerais tende a ser rigorosamente mantida, de maneira que a administração dos tratamentos de vitamina D₃, apesar de não ter influenciado nos níveis de cálcio plasmáticos, interferiu proporcionalmente nos níveis de fósforo e magnésio.

Segundo Scanga *et al.* (2001), uma das explicações para a não ocorrência de elevação nas concentrações plasmáticas de cálcio em animais tratados com vitamina D₃, seria uma inibição na absorção de cálcio provocada pelo excesso de vitamina fornecida antes do abate. Outra hipótese provável sugerida pelos autores é a não conversão da vitamina D₃ em suas formas metabolicamente ativas (25-hidroxivitamina D₃ e 1,25 dihidroxivitamina D₃), reduzindo a absorção do cálcio e, conseqüentemente, a concentração plasmática desse mineral. Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho foram relatados por Feed *et al.* (2003), Pedreira (2002) e Swanek *et al.* (1999c; 1997), que não observaram diferenças significativas nas concentrações plasmáticas de cálcio em animais tratados com 0, 3, 6 e 9 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por 10 dias antes do abate. Entretanto, nos trabalhos de Karges *et al.* (2001), Karges *et al.* (1999b,c,d), Montgomery *et al.* (2004a,b,c; 2002; 2001; 2000; 1999a,b; 1998), Vargas *et al.* (1999a,b), os autores observaram diferenças significativas nos teores de cálcio plasmático.

Com relação ao magnésio, os dados apresentados estão em concordância com os descritos por Swanek *et al.* (1997), que observaram redução do magnésio plasmático em 26,6% nos animais tratados com 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por cinco dias antes do abate. Karges *et al.* (2001; 1999a,b,c,d) também constataram uma redução na concentração plasmática de magnésio, com a menor concentração ocorrendo quando da administração de 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃.

Os resultados encontrados no presente trabalho relativos à concentração plasmática de fósforo corroboram com os achados por Karges *et al.* (1999c), que, ao suplementarem novilhos com 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por seis dias antes do abate, observaram tendência ao aumento das concentrações de fósforo plasmáticas. Os mesmos autores (Karges *et al.* 1999c), ao tratarem novilhos com 0; 5; 7,5; 15 e 75 x 10⁶ UI de vitamina D₃, verificaram aumento linear na concentração plasmática de fósforo à medida que a dose de vitamina D₃ utilizada aumentou.

Tabela 10 – Médias e desvios-padrão das concentrações musculares de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) dos novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão (músculo)		
	Ca µg/g	Mg µg/g	P µg/g
T ₁	174,18 ^{a,b} ± 81,40	542,73 ^a ± 15,43	8302,95 ^a ± 2909,00
T ₂	374,09 ^a ± 238,00	554,22 ^a ± 50,87	10458,15 ^a ± 1769,00
T ₃	108,28 ^b ± 51,00	542,52 ^a ± 36,23	8055,85 ^a ± 2790,00
T ₄	146,08 ^{a,b} ± 25,00	528,40 ^a ± 30,99	7437,46 ^a ± 1790,00

Médias com diferentes letras sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística (P<0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Os valores apresentados na tabela 10 mostram que não houve diferença (P>0,05) para as concentrações musculares de magnésio e fósforo, resultados semelhantes aos encontrados por Montgomery *et al.* (2004d) e Pedreira (2002). Com relação ao cálcio, as maiores concentrações foram observadas nos animais tratados com 2,5 x 10⁶ UI de vitamina D₃. No entanto, pode ser observada uma tendência à diminuição nas concentrações musculares dos minerais estudados, o que contraria os resultados apresentados por Montgomery *et al.* (2004b,c; 2001; 2000; 1998) e Swanek *et al.* (1999a,c), que relataram aumento significativo nas concentrações musculares de cálcio.

Na tabela 11 estão apresentadas as médias para concentrações hepáticas de cálcio (Ca), fósforo (P) e magnésio (Mg) nos animais submetidos aos tratamentos com vitamina D₃.

Tabela 11 – Médias e desvios-padrão das concentrações hepáticas de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) dos novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão (fígado)		
	Ca µg/g	Mg µg/g	P µg/g
T ₁	179,64 ^a ± 51,10	564,98 ^a ± 30,87	18459,10 ^a ± 605,00
T ₂	96,20 ^a ± 23,11	569,38 ^a ± 39,50	23486,03 ^a ± 5143,00
T ₃	155,45 ^a ± 68,70	572,46 ^a ± 26,22	18470,19 ^a ± 841,00
T ₄	166,42 ^a ± 96,44	573,85 ^a ± 53,92	20395,25 ^a ± 4021,00

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística (P>0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

De acordo com os dados da tabela 11, não foram encontradas diferenças (P>0,05) nas concentrações hepáticas de cálcio, fósforo e magnésio nos animais submetidos aos tratamentos com vitamina D₃, demonstrando que o metabolismo desses minerais no fígado ocorreu normalmente, independentemente da dose de vitamina administrada.

4.4 Características Qualitativas das Carnes

4.4.1 Temperatura

Os resultados referentes às médias e desvios-padrão dos valores de temperatura do músculo *Longissimus dorsi* (contra filé), na altura da 12ª vértebra torácica, e do músculo *Semimembranosus* (forame obturador do coxão mole) na 3ª hora após a entrada na câmara fria e 10ª e 24ª hora *post mortem* para novilhos Brahman estão apresentados nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Médias e desvios-padrão dos valores de temperatura do músculo *Longissimus dorsi*, na altura da 12ª vértebra torácica, na 3ª hora após entrada da câmara fria e na 10ª e 24ª hora *post mortem* para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão – Temperatura (°C) no M. <i>Longissimus dorsi</i>		
	3ª hora	10ª hora	24ª hora
T ₁	21,48 ^a ± 1,09	6,14 ^a ± 0,71	4,12 ^a ± 0,28
T ₂	21,20 ^a ± 2,44	7,04 ^a ± 0,31	4,58 ^a ± 0,29
T ₃	20,24 ^a ± 2,09	5,98 ^a ± 0,96	4,48 ^a ± 0,45
T ₄	19,62 ^a ± 1,75	5,96 ^a ± 1,06	4,54 ^a ± 0,54

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística (P>0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Tabela 13 - Médias e desvios-padrão dos valores de temperatura do músculo *Semimembranosus*, no forame obturador, na 10ª hora após entrada da câmara fria e na 24ª hora *post mortem* para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão – Temperatura (°C) no M. <i>Semimembranosus</i>	
	10ª hora	24ª hora
T ₁	26,90 ^a ± 1,11	12,08 ^{a,b} ± 1,06
T ₂	27,42 ^a ± 1,36	13,50 ^a ± 1,53
T ₃	27,12 ^a ± 0,34	11,42 ^{a,b} ± 0,84
T ₄	26,50 ^a ± 1,99	10,84 ^b ± 1,38

Médias com diferentes letras sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística (P<0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Os dados apresentados nas tabelas 12 e 13 evidenciam que a decréscimo de temperatura ocorrido nas carcaças foi adequado, exceto para o músculo *Longissimus dorsi* na 10^a hora *post mortem*, em que atingiu temperatura inferior a 10°C, contrariando a recomendação de Bendall (1978). O resfriamento acelerado da carcaça pode provocar uma rápida redução da temperatura dos músculos superficiais e, conseqüentemente, o fenômeno Encurtamento pelo Frio, que ocorre quando músculos em pré-rigor são resfriados a temperaturas abaixo de 10°C (Lawrie, 2005). Os valores de temperatura observados no presente trabalho são semelhantes aos encontrados por Kabeya (2007) e Montgomery *et al.* (2004d), que não encontraram diferenças entre as temperaturas observadas na 3^a, 10^a e 24^a hora *post mortem* e os tratamentos de vitamina D₃ realizados. Esses resultados podem ser atribuídos à boa cobertura de gordura das carcaças, por serem oriundas de animais castrados e de elevado peso ao abate, funcionando como isolante térmico e ocasionando diminuição gradativa da temperatura da musculatura.

Porém, alguns autores relataram diferenças significativas nas temperaturas aferidas, de acordo com as doses de vitamina D₃ fornecidas. Montgomery *et al.* (2004a) e Montgomery *et al.* (2001) reportaram diferenças na 3^a hora *post mortem*, de maneira que os animais tratados com vitamina D₃ apresentaram maiores temperaturas ($P < 0,05$) que os animais não tratados. Da mesma forma, Montgomery *et al.* (2002) observaram diferenças nas temperaturas aferidas na 3^a e 24^a horas *post mortem* para os animais tratados com vitamina D₃, entretanto, nesse trabalho os autores verificaram uma diminuição linear da temperatura com o aumento da dose de vitamina D₃ utilizada (0,5; 1; 2,5; 5 e 7,5 x 10⁶ UI).

4.4.2 pH

Os valores de pH das carcaças aferidos no músculo *Longissimus dorsi*, na altura da 12^a vértebra torácica, na 3^a hora após a entrada da câmara fria e na 10^a e 24^a hora *post mortem* para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ por 10 dias antes do abate estão apresentados na tabela 14.

Não foram verificadas diferenças ($P > 0,05$) para os valores de pH entre os tratamentos realizados. Os valores de pH observados nos diferentes tempos indicam que a velocidade de declínio do pH nas carcaças foi adequada, sendo que o valor de pH final ou pH₂₄ observado neste experimento está dentro da faixa de pH considerada normal por vários autores (Judge *et al.*, 1989; Sanz *et al.*, 1996; Beltrán *et al.*, 1997), que seria entre 5,4-5,8. Variações nos valores de pH refletem claramente o comportamento do animal no período pré-abate e são diretamente ligadas a sensibilidade dos animais a fatores estressantes (Sanz *et al.*, 1996). Os valores de pH final observados para os novilhos abatidos indicaram que animais Brahman são poucos sensíveis ao estresse, provavelmente devido à docilidade da própria raça e que tiveram um bom manejo no sistema de produção e no período pré abate, o que garante um adequado nível de glicogênio para ser convertido em lactato e H⁺ após o

abate, resultando em uma adequada queda no pH da carne (O'Halloran *et al.*, 1997; Vestegaard *et al.*, 2000). Esse fato é de grande importância, pois tanto o genótipo dos animais utilizados (zebuínos), como o sexo (machos), têm sido relacionados na literatura (Norman, 1982; Puollane, 1988) como mais sujeitos à alterações do pH e conseqüentemente, da qualidade da carne.

Tabela 14 - Médias e desvios-padrão dos valores de pH do músculo *Longissimus dorsi*, na altura da 12ª vértebra torácica, na 3ª hora após a entrada da câmara fria e na 10ª e 24ª hora *post mortem* para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão – pH		
	3ª hora	10ª hora	24ª hora
T ₁	6,54 ^a ± 0,36	6,33 ^a ± 0,16	5,59 ^a ± 0,11
T ₂	6,53 ^a ± 0,24	6,38 ^a ± 0,18	5,76 ^a ± 0,16
T ₃	6,63 ^a ± 0,14	6,21 ^a ± 0,19	5,69 ^a ± 0,16
T ₄	6,48 ^a ± 0,21	6,34 ^a ± 0,24	5,69 ^a ± 0,07

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística (P>0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Valores próximos aos obtidos neste trabalho foram observados por Feed (2003), onde valores de pH de 5,71 foram registrados para animais tratados com 10 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por oito dias consecutivos antes do abate. Também Montgomery *et al.* (2002), ao avaliarem os efeitos das diferentes dosagens de vitamina D₃ (0,5; 1; 2,5; 5 e 7,5 x 10⁶ UI) sobre os valores de pH da carne, observaram valores finais variando de 5,49 a 5,61. Valores de pH final de 5,6 foram relatados por Kabeya (2007) em animais zebuínos tratados com 0,5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por sete dias consecutivos antes do abate.

Montgomery *et al.* (2004a) verificaram aumento no pH₂₄ para os animais tratados com vitamina D₃ nas dosagens de 0,5; 1 e 5 x 10⁶ UI quando comparados com os animais que não receberam suplementação. Já Montgomery *et al.* (2004d) encontraram menores valores de pH₂₄ nos animais tratados com as mesmas dosagens de vitamina D₃, porém, sem diferença significativa.

Karges *et al.* (2001, 1999c) constataram aumento no pH na hora zero (abate), 3ª e 12ª hora em animais tratados com 6 x 10⁶ UI de vitamina D₃ durante seis dias antes do abate, quando comparados com animais do grupo controle. Pedreira (2002), ao pesquisar os efeitos de diferentes doses de vitamina D₃ (0; 3; 6 e 9 x 10⁶ UI) fornecidas por um período de 10 dias antes do abate sobre as características de qualidade da carne em machos castrados Nelore, encontrou valores de pH final de 6,12.

4.4.3 Cor

Os resultados referentes às médias e desvios-padrão das avaliações instrumentais de cor (L^* , a^* e b^*) para o músculo *Longissimus dorsi*, na altura da 12^a vértebra torácica na carne fresca (24 horas *post mortem*) após abertura da embalagem a vácuo e exposição ao ar atmosférico estão apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Médias e desvios-padrão das avaliações instrumentais de cor (parâmetros L^* , a^* e b^*) para o músculo *Longissimus dorsi*, na altura da 12^a vértebra torácica, em amostras de carne fresca (24 horas *post mortem*), para novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão (Amostras Abertas)		
	L*(luminosidade)	a* (verde a vermelho)	b* (azul a amarelo)
T ₁	35,62 ^a ± 3,24	10,18 ^a ± 7,85	26,74 ^a ± 4,60
T ₂	37,62 ^a ± 5,25	6,74 ^a ± 2,86	27,13 ^a ± 4,89
T ₃	36,46 ^a ± 5,38	9,33 ^a ± 8,18	24,80 ^a ± 5,79
T ₄	33,86 ^a ± 2,46	5,83 ^a ± 3,61	24,44 ^a ± 2,79

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística ($P > 0,05$).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Os valores apresentados na tabela 15 não evidenciam diferença ($P > 0,05$) para os parâmetros de cor avaliados para os diferentes tratamentos com vitamina D₃. Resultados semelhantes aos descritos acima foram relatados por Kabeya (2007), Montgomery *et al.* (2004a,d), Montgomery *et al.* (2002) e Montgomery *et al.* (2001), que não encontraram diferença significativa para os parâmetros de cor avaliados, de acordo com os diferentes tratamentos com vitamina D₃ durante o período pré-abate.

A carne dos animais estudados apresentou valores de luminosidade entre 33,86 e 37,62, indicativos de carne não muito clara, o que corrobora os resultados obtidos para pH final que foram $< 6,0$, confirmando que os animais avaliados não apresentaram alterações do tipo DFD (*Dark*: escura; *Firm*: firme e *Dry*: seca), cuja incidência é fortemente dependente do sexo do animal, estando associada ao estresse e excitação dos animais no período pré-abate (Norman, 1982; Puollane, 1988; Sanz *et al.*, 1996). Assim, os resultados encontrados para cor da carne se correlacionam com o pH final, por se tratar de animais dóceis, de fácil manejo e castrados.

Dessa forma, os valores de L^* , a^* e b^* observados na tabela 15 foram semelhantes aos relatados na literatura por Abularach *et al.* (1998), que observaram valores acima de 30 para L^* , indicando a adequada cor dos cortes e, conseqüentemente, boa aceitação no

mercado. Diversos autores (Kabeya, 2007; Montgomery *et al.*, 2004a,d; Montgomery *et al.*, 2002; Montgomery *et al.*, 2001) que forneceram vitamina D₃ para os animais durante períodos variáveis pré-abate, obtiveram valores satisfatórios de L* (acima de 30).

Kabeya (2007), avaliando as características de qualidade da carne de animais tratados com $0,5 \times 10^6$ UI de vitamina D₃ por sete dias antes do abate, encontrou valores L*, a* e b*, variando de 41,12 a 47,39; 14,70 a 21,68; e 14,03 a 17,11, respectivamente. Montgomery *et al.* (2004a,d; 2002; 2001) encontraram valores L* variando entre 32,99 a 34,84 para animais tratados com 0,5; 1 e 5×10^6 UI de vitamina D₃ por oito dias antes do abate. Com relação aos valores de a* e b*, os autores verificaram variações de 17,32 a 25,77 para o parâmetro a*, diferentemente dos resultados encontrados no presente trabalho, e variações de 1,51 a 25,01 para o parâmetro b*.

4.4.4 Maciez Objetiva (WBSF: *Warner-Bratzler Shear Force*)

Os resultados referentes às médias e desvios-padrão da avaliação objetiva da maciez da carne fresca e maturada - WBSF (*Warner-Bratzler Shear Force*) do músculo *Longissimus dorsi*, à altura da 12^a vértebra torácica estão apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Médias e desvios-padrão da força de cisalhamento (FC) em amostras de músculo *Longissimus dorsi* à altura da 12^a vértebra torácica, em função do período de maturação de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10×10^6 UI) por 10 dias antes do abate e à maturação em embalagem a vácuo por 1, 14 e 28 dias após o abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão (Médias de Força de Cisalhamento - Kgf)		
	Tempo 1 (1 dia)	Tempo 2 (14 dias)	Tempo 3 (28 dias)
T ₁	7,673 ^{a, A} ± 2450	3,165 ^{a, B} ± 877	3,902 ^{a, B} ± 626
T ₂	8,183 ^{a, b, A} ± 1043	3,196 ^{a, B} ± 734	3,679 ^{a, B} ± 336
T ₃	7,707 ^{a, A} ± 1465	3,283 ^{a, B} ± 424	3,891 ^{a, B} ± 565
T ₄	11,204 ^{b, A} ± 2089	3,639 ^{a, B} ± 463	3,999 ^{a, B} ± 666

Médias com diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística (P<0,05). Médias com diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística (P<0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Na tabela 16 estão apresentados os dados para avaliação da maciez por tratamento realizado (0; 2,5; 5 e 10×10^6 UI de vitamina D₃ por 10 dias antes do abate) em cada tempo de maturação (carne fresca - 1 dia, 14 e 28 dias pós abate). Houve diferença (P<0,05) para a maciez das carnes dos animais do grupo controle e dos tratamentos 2 e 3, quando

comparados ao tratamento 4, que apresentou maiores valores de força de cisalhamento. Os resultados indicam que a carne dos animais do tratamento 4, pertencentes ao tempo 1 de maturação (carne fresca – 1 dia pós abate), que receberam 10×10^6 UI de vitamina D₃ por dez dias antes do abate, apresentou maiores valores de força de cisalhamento comparadas àquelas dos demais tratamentos. Esses resultados sugerem que o fornecimento de vitamina D₃ não foi efetivo para promover o amaciamento da carne, sendo o amaciamento decorrente do tempo de maturação. Em relação ao tempo de maturação, houve melhoria significativa ($P < 0,05$) na maciez das carnes submetidas a 14 dias de maturação, quando comparadas com a carne fresca.

O resultado registrado na tabela 16 se assemelha aos encontrados por Feed *et al.* (2003), Pedreira (2002), Scanga *et al.* (2001) e Berry *et al.* (2000). Feed *et al.* (2003) suplementaram 80 vacas Hereford por dez dias pré-abate com 10×10^6 UI de vitamina D₃ e não encontraram diferenças significativas nos valores de força de cisalhamento entre os animais tratados e os do grupo controle. Entretanto, após maturação por sete dias, os animais que receberam suplementação com vitamina D₃ apresentaram menores valores de força de cisalhamento ($P < 0,05$).

No trabalho de Pedreira (2002) não houve redução na força de cisalhamento de cortes cárneos obtidos de animais tratados com 0, 3, 6 e 9×10^6 UI de vitamina D₃ por dez dias antes do abate. Porém, a autora verificou tendência de melhoria da maciez em relação ao tempo de maturação (1, 8 e 15 dias), de forma que, quanto maior o tempo de maturação, menor a força de cisalhamento encontrada, assim como no presente trabalho.

Berry *et al.* (2000) constataram o aumento da força de cisalhamento dos cortes cárneos obtidos de animais tratados com 6×10^6 UI de vitamina D₃ por cinco dias antes do abate, quando comparados aos animais do grupo não tratado, mesmo após a maturação dos cortes por 7 e 14 dias. Segundo os autores, provavelmente a severa diminuição na ingestão de matéria seca durante os dias que antecederam ao abate foi responsável pela diminuição nas reservas musculares de cálcio, interferindo na maciez final das carnes. Além disso, a redução no consumo de alimentos ocasionou ainda uma menor ingestão da dose de vitamina D₃. Já Scanga *et al.* (2001) relataram que o fornecimento de doses variáveis de 1 a 5×10^6 UI de vitamina D₃ por diversos períodos antes do abate (2, 4, 6 e 8 dias) não diminuiu a força de cisalhamento dos bifés, mesmo após 2, 7, 14 e 21 dias de maturação.

Segundo Montgomery *et al.* (2002) e Karges *et al.* (1999a), a suplementação com vitamina D₃ é efetiva no amaciamento da carne quando a mesma é considerada dura, não desempenhando a mesma ação sobre carnes já consideradas macias.

Diferentemente dos resultados encontrados no presente trabalho, diversos experimentos realizados obtiveram melhorias significativas na maciez da carne de animais tratados com vitamina D₃ por períodos variáveis antes do abate, como os trabalhos realizados por Karges

et al. (2001, 1999a,d), Foote *et al.* (2001), Montgomery *et al.* (2001, 2000, 1998), Vargas *et al.* (1999a,b), Swanek (1999a,b; 1997), Beitz *et al.* (1997). Montgomery *et al.* (2004b) forneceram 0; 0,5, 1 e 5 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por oito dias antes do abate e constataram melhora significativa na maciez dos cortes cárneos (*Longissimus dorsi* e *Semimembranosus*) maturados por 7, 10, 14 e 21 dias. Montgomery *et al.* (2002) observaram melhora significativa na maciez com o fornecimento de 0,5 e 1 x 10⁶ UI de vitamina D₃ por nove dias consecutivos antes do abate.

Sendo a maciez a propriedade mais importante que o consumidor espera encontrar, principalmente quando a carne é consumida na forma de bifês, diversas pesquisas têm tentado indicar qual seria “o valor” de força de cisalhamento adequado que permitiria identificar e separar as carnes “duras” das carnes “macias”, ou seja, o limite aceitável de maciez. McKeith *et al.* (1985); Griffin *et al.* (1985); Johnson *et al.* (1988) e Knapp *et al.* (1989) sugerem como adequados valores de 4,5 Kgf de força de cisalhamento, medida através de uma célula Warner-Bratzler, em amostras cilíndricas de meia polegada de diâmetro. Assim, valores inferiores a 4,5 Kg caracterizam bifês macios, e acima desse valor bifês duros, sendo importante destacar que os autores admitem que esses valores foram atingidos após algum período de maturação em embalagem a vácuo, ou seja, é a maciez desejável no prato do consumidor.

Pode-se dizer que, em termos comparativos com os trabalhos realizados no Brasil, a média obtida no presente trabalho é uma das menores, indicando que para o consumidor nacional a carne maturada de novilhos Brahman seria considerada macia para ser consumida na forma de carne fresca. O ganho em maciez está provavelmente relacionado à melhoria dos rebanhos e do manejo, forçada pela expectativa do mercado internacional, sobretudo o norte americano que, de maneira geral, está habituado a consumir carne de animais taurinos jovens, castrados, confinados com alimentação protéica e de alta energia, abatidos e resfriados em condições ideais e, na maioria das vezes, submetidas a períodos de pelo menos três semanas de maturação.

4.5 Perdas durante o processamento

As porcentagens de perdas por exsudação (purga), evaporação, gotejamento e perdas totais durante a cocção das amostras de *Longissimus dorsi* de animais submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ e a diferentes períodos de maturação estão apresentadas nas tabelas 17, 18 e 19.

Tabela 17 – Médias e desvios-padrão das porcentagens de perdas por exsudação (purga), evaporação (PE), gotejamento (PG) e perdas totais na cocção (PC) para amostras de carne fresca (*Longissimus dorsi*, à altura da 12^a vértebra torácica), de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão – Perdas (%) - Tempo 1 (carne fresca)			
	Purga	PE	PG	PC
T ₁	2,58 ^a ± 1,00	12,59 ^a ± 4,77	3,39 ^a ± 1,79	30,25 ^a ± 11,08
T ₂	3,04 ^a ± 0,59	11,19 ^a ± 4,19	3,35 ^a ± 1,95	25,82 ^a ± 3,68
T ₃	2,98 ^a ± 0,53	11,29 ^a ± 3,90	4,90 ^a ± 4,06	26,95 ^a ± 5,37
T ₄	3,31 ^a ± 0,87	10,48 ^a ± 2,75	2,06 ^a ± 1,03	27,31 ^a ± 2,73

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística (P>0,05). T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Tabela 18 – Médias e desvios-padrão das porcentagens de perdas por exsudação (purga), evaporação (PE), gotejamento (PG) e perdas totais na cocção (PC) para amostras de carne (*Longissimus dorsi*, à altura da 12^a vértebra torácica), de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate e à maturação em embalagem à vácuo por 14 dias

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão – Perdas (%) - Tempo 2 de maturação (14 dias)			
	Purga	PE	PG	PC
T ₁	4,24 ^a ± 0,75	6,73 ^a ± 2,78	2,69 ^a ± 2,48	20,74 ^a ± 6,29
T ₂	4,55 ^a ± 1,24	7,76 ^a ± 2,04	1,77 ^a ± 0,98	21,66 ^a ± 4,75
T ₃	2,94 ^a ± 1,11	6,72 ^a ± 2,01	2,29 ^a ± 2,08	21,97 ^a ± 3,08
T ₄	3,95 ^a ± 1,25	8,19 ^a ± 3,20	2,25 ^a ± 0,63	24,63 ^a ± 3,36

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística (P>0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Tabela 19– Médias e desvios-padrão das porcentagens de perdas por exsudação (purga), evaporação (PE), gotejamento (PG) e perdas totais na cocção (PC) para amostras de carne (*Longissimus dorsi*, à altura da 12^a vértebra torácica), de novilhos Brahman submetidos a quatro tratamentos com vitamina D₃ (0; 2,5; 5 e 10 x 10⁶ UI) por 10 dias antes do abate e à maturação em embalagem à vácuo por 28 dias

Tratamentos	Médias e Desvios-padrão – Perdas (%) - Tempo 3 de maturação (28 dias)			
	Purga	PE	PG	PC
T ₁	5,04 ^a ± 3,03	11,93 ^a ± 3,26	3,48 ^a ± 0,93	30,89 ^a ± 4,94
T ₂	4,81 ^a ± 1,55	9,36 ^a ± 4,01	2,33 ^a ± 0,62	29,85 ^a ± 5,38
T ₃	6,17 ^a ± 2,47	8,68 ^a ± 2,83	3,15 ^a ± 1,06	22,55 ^a ± 17,20
T ₄	5,22 ^a ± 1,52	10,36 ^a ± 3,65	3,30 ^a ± 1,74	30,06 ^a ± 6,56

Médias com letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam não haver diferença estatística (P>0,05).

T₁= 0 UI de Vitamina D₃; T₂= 2,5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₃= 5 x 10⁶ UI de Vitamina D₃; T₄= 10 x 10⁶ UI de Vitamina D₃.

Os dados apresentados nas tabelas 17, 18 e 19 indicam que não houve diferença ($P>0,05$) entre os tratamentos realizados e os períodos de maturação utilizados sobre as perdas por exsudação (purga), evaporação, gotejamento e perdas totais na cocção.

Kabeya (2007) não observou diferenças significativas nas perdas totais por cocção entre os animais suplementados (25,33%) e não suplementados com vitamina D₃ (25,54%) antes do abate. Resultados semelhantes foram observados em trabalho realizado por Feed *et al.* (2003), que não encontraram diferenças significativas para perdas à cocção entre os animais do grupo controle e os animais tratados com 10×10^6 UI de vitamina D₃ por oito dias antes do abate. As carnes desses animais apresentaram valores para perdas totais na cocção de 26,35%.

Em trabalho realizado por Montgomery *et al.* (2004b), a suplementação dos animais com 0; 0,5; 1 e 5×10^6 UI de vitamina D₃ por oito dias antes do abate não afetou a porcentagem de purga das carnes ($P>0,05$). Entretanto, as carnes de animais tratados com 5×10^6 UI de vitamina D₃ apresentaram maiores porcentagens ($P<0,05$) de perdas por gotejamento do que as carnes provenientes de animais submetidos a todos os outros tratamentos. Da mesma forma, Montgomery *et al.* (2001) encontraram valores de perdas por gotejamento maiores ($P<0,05$) para as carnes de animais tratados com 5×10^6 UI de vitamina D₃ por oito dias antes do abate, enquanto os valores de perdas por exsudação (purga) não sofreram interferências de acordo com as doses utilizadas.

No trabalho de Pedreira (2002), a autora não constatou efeito da dose de vitamina D₃ administrada (0, 3, 6 e 9×10^6 UI por dez dias antes do abate) e do tempo de maturação (1, 8 e 15 dias) sobre as perdas por evaporação. Contudo, houve tendência da dose de 6×10^6 UI de vitamina D₃ apresentar menores valores para as perdas por evaporação. Semelhantemente, para as perdas por gotejamento e perdas totais na cocção, houve efeito da dose em relação ao tempo de maturação, em que a dose de 6×10^6 UI de vitamina D₃ após 1 e 15 dias de maturação resultaram nas menores perdas por gotejamento e perdas totais à cocção encontradas (8,07% e 18,50%, respectivamente).

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o presente estudo foi possível concluir que:

O tratamento dos animais com vitamina D₃ no período pré-abate não afeta as principais características de qualidade da carcaça, como rendimento de carcaça, rendimento dos componentes não pertencentes à carcaça e rendimento de cortes cárneos.

O tratamento dos animais com vitamina D₃ no período pré-abate não influencia os parâmetros de qualidade da carne, como pH, temperatura e cor e ainda nas perdas durante o processamento.

O tratamento com vitamina D₃ provoca uma diminuição nos níveis séricos de magnésio, quando utilizada a dosagem de 10 x 10⁶ UI, mas não provoca aumento das concentrações plasmáticas, hepáticas e musculares de cálcio em nenhuma das dosagens utilizadas.

O tratamento com vitamina D₃ não é efetivo em melhorar a maciez da carne fresca e maturada de animais zebuínos criados a pasto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações de carne bovina por período. Disponível em < <http://www.abiec.com.br> > Acesso em 18 de março de 2008.

ABULARACH, M. L. S.; ROCHA, C. E.; FELÍCIO, P. E. Características de qualidade do contrafilé (m. *L. dorsi*) de touros jovens da raça Nelore. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, p. 205-210, 1998.

AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION. **Guidelines for cookery and sensory evaluation of meat**. Illinois: National Livestock and Meat Board, 1978. 24p.

ANDRIGUETTO, J. M.; PERLY, L.; MINARD, I.; GEMAEL, A.; FLEMMING, J. S.; SOUZA, G. A. de; BONA FILHO, A. **Nutrição animal. As bases e os fundamentos da nutrição animal: os alimentos**. São Paulo: Nobel, 4 ed., 1990. 395p.

BEITZ, D.; TRENKLE, A.; PARRISH, F.; MONTEGOMERY, J.; HORST, R. Feeding of vitamin D₃ is a potential method to improve tenderness of beef. **1997 Dairy Report**, Iowa State University, DSL 145, 4p., 1997.

BELTRÁN, J. A.; JAIME, I.; SANTOLARIA, P.; SAÑUDO, C.; ALBERTI, P.; RONCALÉS, P. Effect of stress-induced high post mortem pH on protease activity and tenderness of beef. **Meat Science**, v.45, n.2, p.201-207, 1997.

BERRY, B. A.; GILL, D. R.; BALL, R. Effects of feeding vitamin D on feedlot performance, carcass traits and meat tenderness of finishing steers. **Animal Science Research Report**, Oklahoma State University, p.98-103, 2000.

BUSCH, W. A.; STOMER, M. H.; GOLL, D. E.; SUZUKI, A. Ca⁺² specific removal of Z-lines from rabbit skeletal muscle. **Journal of Cellular Biochemistry**, v.52, p.367-372, 1972.

COMBS, G. F. **The vitamins fundamental aspects in nutrition and health**. San Diego: Academic Press Inc., 1992. 528p.

COSTA, E. C.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L. *et al.* Composição física da carcaça, qualidade da carne e conteúdo de colesterol no músculo *Longissimus dorsi* de novilhos em confinamento e abatidos com diferentes pesos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.417-428, 2002 (suplemento).

DABÉS, A. C. Maturação da carne bovina: princípios fundamentais. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, n.33, p.18-23, 2000.

DAVEY, C. L.; GILBERT, K. V. Studies in meat tenderness. 7. Changes in the fine structure of meat during aging. **Journal of Food Science**, v. 34, p.69-74, 1969.

DRANSFIELD, D. E. Modeling postmortem tenderization - III - Role of calpain I in conditioning. **Meat Science**, v. 31, n.1, p.85-94, 1992.

DRANSFIELD, D. E. Optimisation of tenderisation, ageing, and tenderness. **Meat Science**, v.36, n. 2, p.217-234, 1993.

DRANSFIELD, D. E. Optimisation of tenderisation, ageing, and tenderness. **Meat Science**, v.36, n.1-2, p.105-121, 1994.

FEED, O.; FRANCO, J.; GARCIA, P. Efecto de la administración de vitamina D₃ sobre la ternera de la carne de vacas Hereford en pastoreo. **ITEA**, v.99, n.1, p.41-46, 2003.

FELDMAN, D.; GLORIEUX, F. H.; PIKE, J. W. Vitamin D. **Academic Press**, 1997, 1285p.

FELÍCIO, P. E. Carne de touro jovem. **Revista Nacional da Carne**, n.243, p.81-92, maio-1997.

FELÍCIO, P. E. Qualidade da carne bovina: características físicas e organolépticas. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36, 1999, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: SB, p.89-97, 1999.

FOOTE, M. R.; BEITZ, D. C.; HORST, R. L.; HUFF-LONERGAN, E. J.; TRENKLE, A. H.; PARRISH JR., F. C. Use of vitamin D₃ and metabolites to improve beef tenderness. **2001 Beef Research Report**, Iowa State University, A. S. Leaflet R 1765, p.133-137, 2001.

GASPERLIN, L.; ZLENDER, B.; ABRAM, V. Colour of normal and high pH beef heated to different temperatures as related to oxigenation. **Meat Science**, v.54, p.391-398, 2000.

GRIFFIN, C. L.; STIFFLER, D. M.; SMITH, G. C.; SAVELL, J. W. Palatability characteristics of loin steaks from charolais crossbred bulls and steers. **Meat Science**, v.15, n.4 p. 235-246, 1985.

GRÜDTNER, V. S.; WEINGRILL, P.; FERNANDES, A. L. Aspectos da absorção no metabolismo do cálcio e vitamina D. **Revista Brasileira de Reumatologia**, v.37, n.3, 1997.

HEDRICK, H. B. Methods of estimating live animal and carcass composition. **Journal of Animal Science**, v.57, n.5, p.1316-1327, 1983.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, março 2008. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br> > Acesso em 09 de março de 2008.

INSAUSTI, K.; BERIAIN, 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**, v.53, n.4, p.241-249, 1999.

JEREMIAH, L. E.; TONG, A. K. W.; GIBSON, L. L. The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcass into tenderness groups. **Meat Science**, v.30, p.97-114, 1991.

JOHNSON, D. D.; LUNT, D. K.; SAVELL, J. W.; SMITH, G. C. Factors affecting carcass characteristics and palatability of young bulls. **Journal of Animal Science**, v.66, p.2568-2577, 1988.

JOSAKHIAN, L. A. Programa de melhoramento genético das raças Zebus. In: SIMPÓSIO NACIONAL, 3, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMA, 2000. p.76-93.

JUDGE, M. D.; ABERLE, E. D.; FORREST, J. C. H.; MERKEL, R. A. **Principles of Meat Science**. Iowa: Kendall/Hunt, 1989. 351 p.

KABEYA, D. M. **Influência da suplementação com vitamina D₃ e do sistema de resfriamento da carne bovina sobre as características físicas, químicas e sensoriais do contra filé (músculo *Longissimus dorsi*)**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, 2007. 92p. (Dissertação, Mestrado em Tecnologia de Alimentos).

KARGES, K.; MORGAN, J. B.; OWENS, F. N.; GILL, D. R. Effects of feeding vitamin D on feed intake, carcass characteristics and meat tenderness of beef steers. **1999 Animal Science Research Report**, Oklahoma State University, p.134-142, 1999a.

KARGES, K.; OWENS, F. N.; GILL, D. R.; MORGAN, J. B. Effects of supplemental vitamin D levels on feed intake and blood minerals of yearling steers. **1999 Animal Science Research Report**, Oklahoma State University, p.134-142, 1999b.

KARGES, K.; MORGAN, J. B.; OWENS, F. N.; GILL, D. R. Effects of supplemental vitamin D on blood parameters, calpastatin activity and pH of steer carcasses. **1999 Animal Science Research Report**, Oklahoma State University, p.143-146, 1999c.

KARGES, K.; MORGAN, J. B.; OWENS, F. N.; GILL, D. R. Effects of feeding vitamin D₃ on carcass characteristics of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.77, suppl. 1, p.172-173, 1999d.

KARGES, K.; BROOKS, J. C.; GILL, D. R.; BREAZILE, J. E.; OWENS, F. N.; MORGAN, J. B. Effects of supplemental vitamin D₃ on feed intake, carcass characteristics, tenderness, and muscle properties of beef steers. **Journal of Animal Science**, v.79, n.11, p.2844-2850, 2001.

KASTNER, C. L.; FELÍCIO, P. E. Tratamentos que influem na maciez da carne bovina no período pós abate. **Boletim do CTC**, n.5, p.31-64, 1980.

KINSMAN, D. M.; KOTULA, A. W.; BREIDENSTEIN, B. C. **Muscle food: Meat, poultry and seafood technology**. Ed. Chapman and Hall, Great Britain, 1994.

KNAPP, R. H.; TERRY, C. A.; SAVELL, J. W.; CROSS, H. R.; MIES, W. L.; EDWARDS, J. W. Characterization of cattle types to meet specific beef targets. **Journal of Animal Science**, v.67, p.2294-2308, 1989.

KOOHMARAIE, M.; SEIDEMAN, S. C.; SCHOLLMAYER, J. E.; DUTSON, T. R.; BABIKER, A. S. Factors associated with the tenderness of three bovine muscles. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p.407-410, 1988.

KOOHMARAIE, M. Quantification of Ca⁺² dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography. **Journal of Animal Science**, v.68, p.659-665, 1990.

KOOHMARAIE, M. Role of the neutral proteinases in postmortem muscle protein degradation and meat tenderness. **Proc. Recip. Meat Conf.** v.45, p.63-71, 1992.

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat ageing. **Meat Science**, v.36, n.1-2, p.93-104, 1994.

KOOHMARAIE, M.; WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D. Beef tenderness: regulation and prediction, 2001. Disponível em: <http://meats.marc.usda.gov/mru_www/tendrev/tendrev.html> Acesso em: 15 de março de 2008.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6ª ed. Porto Alegre, Artmed, 2005. 384p.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**. São Paulo, 2000. 135p.

LUCHIARI FILHO, A. **O uso de vitamina D na melhoria da qualidade da carne**. Disponível em <<http://beefpoint.com.br/?noticialID=4957&actA=7areaID=60&secaoID=179>> Acesso em 15 de março de 2008.

MARSH, B. B.; CIA, G.; TAKAHASHI, G. Influência da velocidade do resfriamento da carcaça bovina na maciez da carne: conhecimentos recentes e pesquisas em andamento. **Boletim CTC**, v. 2, p.43-50, 1978.

MARSH, B. B.; LOCHNER, J. V.; TAKAHASHI, G.; KRAGNESS, D. D. Effects of early *post mortem* pH and temperature on beef tenderness. **Meat Science**, v.2, p. 479-483, 1981.

MARTIN, L. C. T. **Nutrição mineral de bovinos de corte**. Ed. Nobel, São Paulo, 1993. 173p.

McDOWELL, L. R. **Vitamins in animal nutrition**. San Diego: Academic Press Inc., 1989. 486p.

McDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. Academic Press, 1992, 524p.

McKEITH, F. K.; SAVELL, J. W.; SMITH, G. C.; DUTSON, T. R.; CARPENTER, Z. L. Tenderness of major muscles from three breed-types of cattle at three different times-on feed. **Meat Science**, v.13, p. 151-166, 1985.

MONTGOMERY, J. L.; PARRISH JR, F. C.; BEITZ, D. C.; HORST, R. L.; HUFF-LONERGAN, E. J.; TRENKLE, A. H. Feeding supplemental dietary vitamin D₃ to improve beef tenderness. **1998 Beef Research Report**, Iowa State University, A.S.Leaflet R 1549, p.3 1998.

MONTGOMERY, J. L.; CARR, M. A.; KERTH, C. R.; HILTON, G. G.; BEHRENDTS, L. L.; BEHRENDTS, E. R.; MILLER, M. F. Dietary modifications using vitamin D₃ to improve beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v.77, suppl.1, p.45, 1999a.

MONTGOMERY, J. L.; HORST, R. L.; HOY, D. A.; CARR, M. A.; HILTON, G. G.; PRINCE, B. D.; MILLER, M. F. Effects of dietary modifications using vitamin D₃ on calcium content and vitamin D residues in tissue and liver. **Journal of Animal Science**, v.77, suppl.1, p.173, 1999b.

MONTGOMERY, J. L.; PARRISH JR, F. C.; BEITZ, D. C.; HORST, R. L.; HUFF-LONERGAN, E. J.; TRENKLE, A. H. The use of vitamin D₃ to improve beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v.78, n.10, p.2615-2621, 2000.

MONTGOMERY, J. L.; MILLER, M. F.; BLANTON JR, J. R.; HORST, R. L. Using vitamin D₃ to improve beef tenderness in three different breed types. **Final Report**, Texas Tech University, 25p. 2001.

MONTGOMERY, J. L.; CARR, M. A.; KERTH, C. R.; HILTON, G. G.; PRINCE, B. P.; GALYEAN, M. L.; HORST, R. L.; MILLER, M. F. Effect of vitamin D₃ supplementation level on the postmortem tenderization of beef from steers. **Journal of Animal Science**, v.80, n.4, n.971-981, 2002.

MONTGOMERY, J. L.; GALYEAN, M. L.; HORST, R. L.; MORROW JR, K. J.; BLANTON JR, J. R.; WESTER, D. B.; MILLER, M. F. Supplemental vitamin D₃ concentration and biological type of steers. I. Feedlot performance and carcass traits. **Journal of Animal Science**, v.82, p.2050-2058, 2004a.

MONTGOMERY, J. L.; KING, M. B.; GENTRY, J. G.; BARHAM, A. R.; BARHAM, B. L.; HILTONS, G. G.; BLANTON JR, J. R.; HORST, R. L.; GALYEAN, M. L.; MORROW JR, K. J.; WESTER, D. B.; MILLER, M. F. Supplemental vitamin D₃ concentration and biological type of steers. II. Tenderness, quality, and residues of beef. **Journal of Animal Science**, v.82, p.2092-2104, 2004b.

MONTGOMERY, J. L.; BLANTON JR, J. R.; HORST, R. L.; GALYEAN, M. L.; MORROW JR, K. J.; WESTER, D. B.; MILLER, M. F. Effects of biological type of beef steers on vitamin D, calcium, and phosphorus status. **Journal of Animal Science**, v.82, p. 2043-2049, 2004c.

MONTGOMERY, J. L.; BLANTON JR, J. R.; HORST, R. L.; GALYEAN, M. L.; MORROW JR, K. J.; ALLEN, V. G.; WESTER, D. B.; MILLER, M. F. Effect of supplemental vitamin D₃ concentrations of calcium, phosphorus, and magnesium relative to protein in subcellular components of the longissimus and the distribution of calcium within longissimus muscle of beef steers. **Journal of Animal Science**, v.82, p.2742-2749, 2004d.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. 7ed. Washington, D.C. National Academy Press, 1996. p.76-77.

NORMAN, G.A. Effect of breed and nutrition on the productive traits of beef cattle in south-east Brazil: Part 3-Meat quality. **Meat Science**, v.6, p.79-96, 1982.

O'HALLORAN, G. R.; TROY, D. J.; BUCKLEY, D. J. The relationship between early post mortem pH and the tenderisation of beef muscles. **Meat Science**, v.45, n.2, p.239-249, 1997.

OLIVEIRA, A. L. Qualidade da carne bovina. **Informe Agropecuário**, v.21, n.205, p.39-47, 2000a.

OLIVEIRA, A. L. Maciez da carne bovina. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, n.33, p.7-18, 2000b.

PEDROSA, M. A. C.; CASTRO, M. L. Papel da vitamina D na função neuro-muscular. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v.49, n.4, 2005.

PEDREIRA, A. C. M. S. **Características qualitativas do músculo *Longissimus dorsi* de animais *Bos indicus* tratados com vitamina D₃**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, 2002. 60p. (Tese, Doutorado em Ciência Animal e Pastagens).

PEDREIRA, A. C. M. S.; FILHO, A. L.; LEITE, V. B. O.; CARVALHO, M. H. Quality characteristics of *Longissimus dorsi* muscle from *Bos indicus* animals treated with vitamin D₃. **Scientia Agrícola**, v.60, n.4, p.637-642, 2003.

PEREIRA, A. S. C. **Características da carne de bovinos suplementados com vitamina D₃**. 2007. Disponível em < <http://www.beefpoint.com.br/?noticiaID=33682&actA=7&areaID=60&secaoID=179>> Acesso em 15 de março de 2008.

PERON, A. J.; FONTES, C. A. A.; LANA, R. P.; SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C.; PAULINO, M. F. Tamanho de 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**, v.22, n.5, p.813-819, 1993a.

PERON, A. J.; FONTES, C. A. A.; LANA, R. P.; PAULINO, M. F.; QUEIROZ, A. C.; FREITAS, J. A. Rendimento de carcaça e de seus cortes básicos e área corporal de bovinos de cinco grupos genéticos, submetidos à alimentação restrita e “ad libitum”. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.2, p.238-247, 1993b.

PINEDA, N. R. Influência do Zebu na produção de carne no Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL, 3, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMA, 2000. p.130-149.

PRINGLE, T. D.; WILLIAMS, S. E.; LAMB, B. S.; JOHSON, D. D.; WEST, R. L. Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and aged tenderness of Angus and Brahman crossbred steers. **Journal of Animal Science**, v.75, p. 2955-2961, 1997.

PUGA, D. M. U.; CONTRERAS, C. J. C; TURNBULL, M. R. Avaliação do amaciamento de dianteiro (*Triceps brachii*) pelos métodos de maturação, estimulação elétrica, injeção de ácidos e tenderização mecânica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, p.88-96, 1999.

PUOLLANE, E. Reducing the incidence of dark-cutting beef in Finland - a systematic approach. In: Proceedings of an Australian Workshop. **Australian Meat and Livestock Research and Development Corp.**, Sydney South, p. 32-37, 1988.

ROCHE. Vitamin D. **Roche Vitamins: vitamin D in animal nutrition**. 8p., 2000. Disponível em < <http://www.roche.com/vitamins/what/anh/vits/vitd.html> > Acesso em 03 de março de 2008.

SANTOS FILHO, A. M. P. **Efeito do cloreto de cálcio e da maturação sobre a maciez objetiva do músculo *Longissimus dorsi* de bovinos anelorados**. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2003. 40p. (Dissertação, Mestrado em Medicina Veterinária).

SANZ, M. C.; VERDE, M. T.; SAEZ, T.; SAÑUDO, C. Effect of breed on the muscle glycogen content and dark cutting incidence in stressed young bulls. **Meat Science**, v.43, n.1, p. 37-42, 1996.

SCANGA, J. A.; BELK, K. E.; TATUM, J. D.; SMITH, G. C. Supranutritional oral supplementation with vitamin D₃ and calcium and the effects on beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v.79, n.4, p.912-918, 2001.

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**, v. 69, p. 171-177, 1991.

SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARIE, M.; SAVELL, J. W. Evaluation of *Longissimus dorsi* muscle pH at three hours post mortem as a predictor of beef tenderness. **Meat Science**, v.37, n.2, p.195-204, 1994a.

SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARIE, M.; WHEELER, T. L.; CUNDIFF, L. V.; DIKEMAN, M. E. Effect of biological type of cattle on the incidence of the Dark, Firm, and Dry condition in the *Longissimus* muscle. **Journal of Animal Science**, v.72, p.337-343, 1994b.

SHERBECK, J. A.; TATUM, J. D.; FIELD, T. G.; MORGAN, J. B.; SMITH, G. C. Feedlot performance, carcass traits, and palatability traits of Hereford and Hereford x Brahman steers. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3613-3620, 1995.

SMITH, G. C. Factors affecting the palatability of beef. In: FUTURE BEEF OPERATIONS SEMINAR. 2001. **Proceedings...** Disponível em: < <http://ansci.colostate.edu/ran/beef/index.html> > Acesso em 6 de março de 2008.

SMITH, G. C.; SAVELL, J. W.; DOLEZAL, H. G.; FIELD, T. G.; GILL, D. R.; GRIFFIN, D. B.; HALE, D. S.; MORGAN, J. B.; NORTH CUTT, S. L.; TATUM, J. D. **The final report of the National Beef Quality Audit**. Colorado State Univ., Stillwater. NCA, Englewood, CO., 1995.

SWANEK, S. S.; MORGAN, J. B.; OWENS, F. N.; DOLEZAL, H. G.; GILL, D. R. Effects of supplemental vitamin D₃ on meat tenderness. **Animal Science Research Report**, Oklahoma State University, p.73-78, 1997. Disponível em < <http://www.ansi.okstate.edu/research/1997rr/014.htm> > Acesso em 20 de março de 2008.

SWANEK, S. S.; ELAM, N. A.; MORGAN, J. B.; OWENS, F. N.; GILL, D. R.; STRASIA, C. A.; DOLEZAL, H. G.; RAY, F. K. Supplemental vitamin D₃ and beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v.77, suppl.1, p.172, 1999a.

SWANEK, S. S.; MORGAN, J. B.; OWENS, F. N.; GILL, D. R.; STRASIA, C. A.; DOLEZAL, H. G.; RAY, F. K. Vitamin D₃ supplementation of beef steers increases *Longissimus* tenderness. **Journal of Animal Science**, v.77, n.4, p.874-881, 1999b.

SWANEK, S. S.; ELAM, N. A.; MORGAN, J. B.; OWENS, F. N.; GILL, D. R.; STRASIA, C. A.; DOLEZAL, H. G.; RAY, F. K. Supplemental vitamin D₃ and beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v.77, suppl.1, p.172, 1999c.

TARRANT, P. V. **The occurrence, causes and economic consequences of dark-cutting in beef . A survey of current information**. In P. V. Tarrant, & D. E. Hood (Eds.). The problem of dark-cutting in beef. p.199-212, 1981.

TARRANT, P. V.; SHERINGTON, J. An investigation of ultimate pH in the muscles of commercial beef carcasses. **Meat Science**, v.4, n.4, p.287-292, 1980.

VARGAS, D. N.; DOWN, A. E.; WEBB, D. S.; HAN, H.; MORGAN, J. B.; DOLEZAL, H. G. Effects of dietary supplementation of feedlot steers with vitamins E and D₃ on live performance, carcass traits, shelf-life attributes and *Longissimus* muscle tenderness. **1999 Animal Science Research Report**, Oklahoma State University, p.59-66, 1999a.

VARGAS, D. N.; DOWN, A. E.; WEBB, D. S.; HAN, H.; MORGAN, J. B.; DOLEZAL, H. G. Effects of supplementing feedlot steers with vitamins D₃ and E on carcass traits, shelf-life attributes and *Longissimus* muscle tenderness. **Journal of Animal Science**, v.77, suppl.1, p.172, 1999b.

VARGAS, D. N.; DOWN, A. E.; WEBB, D. S.; HAN, H.; MORGAN, J. B.; DOLEZAL, H. G. Effects of supplementing feedlot steers with vitamin D₃ and E on carcass traits, shelf-life attributes and *Longissimus* muscle tenderness. **Journal of Animal Science**, v.77, suppl.1, p.172, 1999c.

VESTEGAARD, M.; OKSBJERG, N.; HENCKEL, P. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of *Semitenosus*, *Longissimus dorsi* and *Supraspinatus* muscles of young bulls. **Meat Science**, v.54, p.177-185, 2000.

WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M. E.; CROUSE, J. D.; HUNT, M. C.; KLEMM, R. D. Evaluation of attributes that affect *Longissimus* muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, p.2716-2728, 1990.

WULF, D. M.; O'CONNOR, S. F.; TATUM, J. D.; SMITH, G. C. Using objective measures of muscle color to predict beef *Longissimus* tenderness. **Journal of Animal Science**, v.45, p.684-692, 1997.

YU, L. P.; LEE, Y. B. Effects of postmortem pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. **Journal of Food Science**, v.51, p.774, 1986.