

**OLÍVIA DIDIER MACHADO**

**DESEMPENHO E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS SUPLEMENTADOS  
COM MAGNÉSIO E CREATINA NO PERÍODO PRÉ-ABATE**

Dissertação apresentada à Escola de Veterinária da  
Universidade Federal de Minas Gerais, como  
requisito parcial para obtenção do grau de Mestre  
em Medicina Veterinária.

Área: Tecnologia e Inspeção de Produtos de  
Origem Animal

Orientador: José Maria Ferreira

Belo Horizonte  
Escola de Veterinária da UFMG  
2007

M149d Machado, Olívia Didier, 1979-

Desempenho e qualidade da carne de suínos suplementados com magnésio e creatina no período pré-abate / Olívia Didier Machado. – 2007.

37 p. : il.

Orientador: José Maria Ferreira

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária

Inclui bibliografia

1. Suíno – Alimentação e rações – Teses. 2. Dieta em veterinária – Teses. 3. Suíno – Carcaças – Teses. 4. Carne de porco – Qualidade – Teses. I. Ferreira, José Maria.  
II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 636.408 5





## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela saúde; pela família, amigos e colaboradores que colocou em minha vida; à Nossa Senhora pela luz e força.

Ao meu pai, Pedro Pereira Machado, meu exemplo profissional e pessoal, pelo incentivo e apoio financeiro; pelo carinho e paciência durante todo esse período. Amo você!

À minha mãe, Maria Izabel Didier Machado, exemplo de dedicação, pela orientação espiritual e moral; pelo amor e compreensão que dedica a nós todos. Amo você!

Às minhas irmãs e aos meus cunhados pelos momentos de alegria;

Ao Prof. José Maria Ferreira, pela oportunidade e orientação;

Ao Prof. Dalton de Oliveira Fontes, pelo incentivo, apoio e amizade;

À Faculdade de Farmácia e em especial ao Laboratório de Bioquímica na pessoa da Profª Maria Beatriz Abreu Glória que permitiu a utilização de equipamentos e à Renata pela ajuda e simpatia;

Ao Professor David Lee Nelson, da Faculdade de Farmácia, pela disponibilidade, boa vontade e atenção;

Ao Pedro Bueno, pela amizade, conselhos, disponibilidade e à Michele pela valiosa ajuda;

Ao pessoal da Fazenda Prof. Hélio Barbosa, especialmente Douglas, Juninho, Renato, Nenego e meninas da cozinha pela força, alegria, amizade e colaboração;

Ao Frigorífico Alvorada e seus funcionários, especialmente ao Dino e Mauro, pela disponibilidade e auxílio no experimento;

À banca examinadora, em especial ao Professor Raimundo Vicente de Sousa, pelo apoio, disposição e sugestões;

Às minhas queridas amigas de faculdade, e espero que pelo resto da vida, Fabrízia, Paula, Camila, Karina, Lílian, Silvia, Joana pelos conselhos, paciência e verdadeira amizade e a todas as outras pelo fato de existirem e fazerem parte da minha vida;

Ao Lester, grande motivador e companheiro, pelo incentivo, apoio, cobrança, amizade, amor e paciência;

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

Nada te perturbe  
Nada te espante  
Tudo passa  
Deus não muda  
A paciência tudo alcança  
Quem possui Deus nada falta.  
(Santa Thereza D'Ávilla)

## SUMÁRIO

<b>RESUMO/ABSTRACT</b> .....	11
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 A contração muscular.....	14
2.2 A conversão do músculo em carne.....	16
2.3 PSE.....	18
2.4 Magnésio.....	20
2.4.1 Efeito do magnésio sobre a qualidade da carne suína.....	20
2.4.1.1 pH.....	20
2.4.1.2 Temperatura.....	21
2.4.1.3 Cor.....	21
2.4.1.4 Perda por Exsudação e Perda por Cozimento.....	22
2.4.1.5 Maciez.....	23
2.5 Creatina.....	24
2.5.1 Efeito da creatina sobre a qualidade da carne suína.....	25
2.5.1.1 pH.....	25
2.5.1.2 Perda por Exsudação e Perda por Cozimento.....	25
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
3.1 Local e instalações.....	25
3.2 Animais e delineamento experimental.....	25
3.3 Dietas e manejo alimentar.....	25
3.4 Procedimentos de abate.....	26
3.5 Avaliações da qualidade da carne.....	27
3.6 Análises estatísticas.....	28
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
4.1 Desempenho.....	28
4.2 Características da qualidade da carne.....	30
4.2.1 pH e Temperatura.....	30
4.2.2 Cor.....	31
4.2.3 Perda por Exsudação e Perda por Cozimento.....	32
4.2.4 Maciez ou Força de cisalhamento (WBSF).....	33
4.2.5 Porcentagem de PSE.....	34
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	35
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	35



---

## LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 1</b>	Classificação da carne suína em Normal, PSE e DFD.....	<b>19</b>
<b>Tabela 2</b>	Composição centesimal e valores nutricionais calculados da dieta basal experimental.....	<b>26</b>
<b>Tabela 3</b>	Ganho de peso diário, conversão alimentar e rendimento de carcaça de suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate.....	<b>29</b>
<b>Tabela 4</b>	Valores de pH e temperatura do músculo <i>Longissimus dorsi</i> na altura da 12ª vértebra torácica, aos 45 minutos e 24 horas após o abate dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate.....	<b>30</b>
<b>Tabela 5</b>	Avaliações instrumentais da cor realizadas no músculo <i>Longissimus dorsi</i> dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate.....	<b>31</b>
<b>Tabela 6</b>	Percentuais de perda por exsudação (PE) e perda por cozimento (PC) das carnes dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate.....	<b>33</b>
<b>Tabela 7</b>	Força de cisalhamento para as amostras do músculo <i>Longissimus dorsi</i> dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate.....	<b>33</b>
<b>Tabela 8</b>	Valores do pH inicial, pH final, cor L* e perda por exsudação (PE) das carnes dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate.....	<b>34</b>



## RESUMO

Para avaliar o efeito da suplementação dietética de magnésio e creatina, durante cinco dias antes do abate, sobre o desempenho e a qualidade da carne suína foram utilizados 24 suínos da linhagem comercial Dan Bread e peso médio de 102,2 Kg. Os animais foram distribuídos em blocos inteiramente ao acaso com quatro tratamentos e seis repetições, sendo um animal por unidade experimental. A dieta comercial usada foi suplementada com: T1 = Controle (sem suplementação); T2 = 36g de sulfato de magnésio 9% (3,2g de magnésio); T3 = 26g de creatina monoidratada 98% (25g de creatina); T4 = 36g de sulfato de magnésio 9% (3,2g de magnésio) com 26g de creatina monoidratada 98% (25g de creatina). Os animais foram abatidos ao final do período experimental em abatedouro comercial. O ganho de peso, a conversão alimentar e o rendimento de carcaça não foram afetados pelos tratamentos. Todos os animais suplementados obtiveram maior ( $P < 0,05$ ) valor de pH aos 45 minutos em relação ao grupo controle. Houve um aumento significativo do pH 24 horas para os animais do T2 e T4 em relação ao T1. Os animais do T2 apresentaram carne menos pálida, enquanto os suínos do T3 e T4 apresentaram carne mais vermelha, em relação aos demais tratamentos. Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre as análises de capacidade de retenção de água e força de cisalhamento. Os resultados indicam que os tratamentos T2 e T4 apresentaram os melhores resultados pelo aumento do pH final e pela melhora da cor da carne fresca.

Palavras-chave: suínos, magnésio, creatina, suplementação, qualidade de carne

## ABSTRACT

To evaluate the effect of dietary magnesium and creatine supplementation, during five days before slaughter, on performance and pork quality were used 24 crossbred pigs, and live weight of about 102,2 kg. The animals were allotted in a completely randomized block design with four dietary treatments and six replicates per treatment and one pig per pen. The commercial dietary were supplemented with: T1 = Control (without supplementation); T2 = 36g of magnesium sulphate 9% (3,2g of magnesium); T3 = 26g of creatine monohydrate 98% (25g of creatine); T4 = 36g of magnesium sulphate 9% (3,2g of magnesium) with 26g of creatine monohydrate 98% (25g of creatine). The animals were slaughtered in the end of experimental period in a commercial abattoir. The average gain, feed conversion and carcass yield were not affected by treatments. All animals supplemented had higher ( $P < 0,05$ ) initial pH value compared to pigs fed the control diet. There were a significant increase ultimate pH to T2 and T3 animals compared to T1. The T2 pigs had meat less pale, while the T3 and T4 pigs had meat more red compared to the others treatments. There was no effect of treatments on water holding capacity and shear force. The results indicate the treatments T2 and T4 had the best results by increase ultimate pH and meat fresh color improve.

Key-words: pigs, magnesium, creatine, supplementation, meat quality



## 1. INTRODUÇÃO

De 1990 a 2003, a suinocultura brasileira cresceu 173,3%, com uma média de 12,4% ao ano (Brasil, 2003). Os números mais recentes mostram que em 2005 o Brasil produziu 2,708 mil toneladas de carne suína, ocupando a posição de quarto maior produtor e sexto maior consumidor mundial de carne suína. Neste mesmo ano, o Brasil exportou 625 mil toneladas de carne suína, o equivalente a US\$ 1,167 bilhão, o que correspondeu a um crescimento de 23,1% sobre 2004, sendo assim o quarto maior exportador mundial de carne suína. Rússia, Hong Kong, Cingapura, Ucrânia e Argentina foram os principais importadores da carne suína brasileira (ABIPECS, 2005). Estes números dão a magnitude da importância não só econômica como também social da carne suína para o país.

A carne suína representa a fonte proteica mais consumida em todo o mundo, sendo a carne mais comercializada no mercado mundial. A produção mundial de carne suína foi de mais de 100 milhões de toneladas, segundo o Relatório Anual da Associação Brasileira das Indústrias Produtoras e Exportadoras de Carne Suína (ABIPECS, 2005). A carne é um alimento de grande valor nutritivo, uma fonte de proteína de alta qualidade e também de minerais e todas as vitaminas do complexo B.

Com as mudanças no perfil do mercado consumidor nas últimas décadas, além dos esforços dedicados à melhoria da eficiência da cadeia produtiva, é necessário que se dê atenção à qualidade do produto que chega ao consumidor final, ou seja, que sejam empreendidos esforços em pesquisas com o objetivo de proporcionar ao consumidor um produto cada vez mais saudável e padronizado (Sousa et al., 2003).

A melhoria da qualidade dos produtos de origem animal deve ser uma busca constante tanto por parte dos produtores como pelas indústrias. Dentro do conceito “da granja ao garfo”, ambos devem procurar diminuir a

variação dos atributos percebidos pelos consumidores. Estas melhorias na qualidade da carne suína podem resultar em aumentos na demanda do consumo, melhorando o valor dos produtos e, conseqüentemente, aumentando o lucro para todos os segmentos da indústria da carne suína (Hamilton et al., 2003).

As perdas econômicas na indústria de suínos, atribuídas às carnes pálidas, flácidas e exsudativas (*pale, soft, exudative* ou PSE) são consideradas altas. Por isso, as pesquisas visando reduzir a incidência de PSE na carne suína têm alta prioridade (Schaefer et al., 1993).

Variações na qualidade da carne suína são uma das maiores preocupações da indústria de carnes. Estimativas de perdas econômicas devido à qualidade ruim alcançam US\$100 milhões por ano nos EUA. A presença de PSE é o maior contribuinte para as perdas econômicas associadas com carcaças suínas de pior qualidade (Maddock et al., 2002).

A condição PSE pode resultar de vários fatores que modulam o metabolismo, incluindo susceptibilidade genética, estresse pré-abate, temperatura ambiental no dia do abate, tempo que estes animais permanecem em jejum e dieta hídrica no frigorífico até a hora do abate, entre outros. O metabolismo muscular próximo à hora do abate tem um maior efeito sobre a qualidade da carne (Maddock et al., 2002).

Intervenções que alteram o metabolismo do músculo devem ser investigadas como métodos para reduzir a incidência de PSE e, com isso, melhorar a qualidade da carne. O papel da nutrição como uma maneira de diminuir variações na qualidade da carne fresca tem sido o foco de muitas pesquisas. Neste intuito, alguns autores têm estudado a suplementação dietética de creatina monohidratada (CMH) como forma de prover adenosina trifosfato (ATP) para a contração e o metabolismo muscular, aumentando assim a quantidade de energia disponível para a produção de ATP que não envolve a via

glicolítica e a produção de ácido láctico, melhorando a qualidade da carne suína pela redução da velocidade de queda do pH imediatamente após o abate (Maddock et al., 2002).

A creatina é um suplemento aminoácido que vem sendo largamente utilizado pela comunidade atlética mundial com o objetivo de aumentar a massa muscular, a velocidade nos esportes e diminuir o tempo de recuperação muscular após exercícios de alta intensidade, resultando no retardo do aparecimento da fadiga muscular.

Vários estudos também têm sido conduzidos com o objetivo de investigar a influência da suplementação dietética de magnésio (Mg) para suínos na redução dos efeitos do estresse através da redução da estimulação neuromuscular, devido ao efeito antagônico exercido pelo Mg sobre o cálcio.

O Mg é um mineral indispensável para o funcionamento adequado do organismo. Este mineral exerce um papel importante na contração muscular, assim como no equilíbrio eletroquímico e no equilíbrio do metabolismo da energia.

O magnésio e a creatina são substâncias fundamentais para a produção de energia muscular. A creatina acumula ligações fosfato de alta energia e as libera para a contração muscular. Entretanto, este mecanismo de acúmulo de energia é dependente de Mg que, sem o qual, realizaria este processo em baixíssima velocidade tornando-o ineficiente.

Contudo, nenhuma pesquisa foi realizada ainda utilizando-se uma associação dos dois nutrientes. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos da suplementação dietética de magnésio e creatina na fase pré abate sobre alguns parâmetros do desempenho e da qualidade da carne suína.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A contração muscular

As fibras musculares esqueléticas ou células musculares são compostas de miofibrilas que se compõe por sua vez de miofilamentos grossos e finos. Os miofilamentos grossos são compostos pela miosina e os finos são compostos por três proteínas: actina, troponina e tropomiosina. A actina e a miosina são conhecidas como proteínas contráteis e a troponina e a tropomiosina como proteínas reguladoras.

A molécula de miosina contém duas cadeias de polipeptídios denominadas de meromiosina leve unidas a duas cadeias longas denominadas de meromiosina pesada. Esta última pode ser clivada em dois subfragmentos globulares idênticos, cada um chamado de S1 ou cabeça globular e um fragmento em forma de bastão chamado de S2. A S1, localizada na extremidade de cada cadeia da meromiosina pesada, contém um local para a ATPase, um local de ligação à actina e dois locais de ligação para duas cadeias leves. As duas cabeças S1 estão unidas por uma dobradiça na cauda da miosina (Swenson e Reece, 1996; Stryer, 1996).

A actina é uma proteína globular que possui sítios de ligação para a miosina. A tropomiosina corre ao longo da fenda das fitas trançadas da actina e funciona bloqueando o local de ligação para a miosina. Cada molécula de tropomiosina é mantida nessa posição de bloqueio por uma molécula de troponina, ligada ela própria tanto a tropomiosina quanto a actina. A troponina é composta por três subunidades, sendo a C aquela que se liga ao cálcio ( $Ca^{2+}$ ). Quando o  $Ca^{2+}$  se liga a troponina C, ocorre uma alteração conformacional que libera os sítios para a ligação da miosina. A contração ocorre segundo o modelo dos filamentos deslizantes (Forrest, 1975; Swenson e Reece, 1996; Stryer, 1996).

No músculo esquelético, a contração é iniciada por um estímulo nervoso. O estímulo (potencial de ação) que inicia a contração

muscular é transferido do axônio do neurônio motor para as fibras musculares em pontos denominados de junções neuromusculares. Nestas, o sarcolema modifica-se para formar uma placa motora terminal que contém numerosas pregas. Os terminais dos axônios dos neurônios motores ligam-se fortemente às pregas mioneurais, onde liberam acetilcolina a partir de numerosas vesículas transmissoras contidas nos terminais nervosos. As vesículas de acetilcolina são liberadas em resposta à despolarização induzida pelo influxo de cálcio para os terminais nervosos, como um resultado dos potenciais de ação nos axônios motores. O influxo de cálcio para o terminal do axônio ocorre através dos canais de cálcio voltagem-dependentes. Esses canais podem ser, pelo menos parcialmente, bloqueados pelo magnésio e outros cátions divalentes, que podem responder por meios pelos quais o sulfato de magnésio ( $MgSO_4$ ) produz uma redução na transmissão neuromuscular (Swenson e Reece, 1996).

A acetilcolina em contato com a membrana da fibra muscular (sarcolema) torna-a mais permeável aos íons sódio ( $Na^+$ ), abrindo numerosos canais acetilcolina-dependentes. A abertura destes canais permite que uma grande quantidade de íons sódio ( $Na^+$ ) flua para dentro do sarcolema, o que desencadeia um potencial de ação no mesmo. Este é transferido para o retículo sarcoplasmático (RS), através dos túbulos T, fazendo com que libere para as miofibrilas grande quantidade de íons cálcio, que estavam armazenados no seu interior (Forrest, 1975).

O  $Ca^{2+}$  liga-se à subunidade C da troponina modificando sua conformação. A mudança conformacional na troponina aprofunda a tropomiosina no sulco da actina e libera o seu sítio ativo. A extremidade globular da miosina (S1) contém, além do sítio de ligação para a actina, um sítio enzimático ativo, separado, que catalisa a degradação de adenosina trifosfato (ATP) em adenosina difosfato (ADP) e fosfato inorgânico (Pi), liberando a energia química armazenada no ATP para a contração muscular. Este sítio da

miosina ATPase requer magnésio como cofator para ligar o ATP ao sítio ativo.

A atividade de quebra do ATP pela miosina ATPase é amplamente intensificada pela liberação de  $Ca^{2+}$  no sarcoplasma. O desdobramento do ATP ocorre na molécula de miosina antes que ela se ligue com a actina para formar o complexo chamado de actomiosina, mas o ADP e o Pi gerados permanecem ligados ao sítio ativo da miosina. De fato, o ATP ligado à miosina é rapidamente hidrolisado, mas a saída de ADP e Pi é lenta. A junção das cabeças globulares da miosina com o restante das moléculas pesadas de meromiosina funciona como uma dobradiça, produzindo um ponto de curvatura da molécula de miosina depois de sua interação com a actina. A actina, ao se ligar ao complexo miosina-ADP-Pi, aumenta o número de renovação da miosina e acelera a liberação dos produtos (Forrest, 1975; Stryer, 1996; Swenson e Reece, 1996).

A energia química liberada no momento do desdobramento do ATP é transferida à miosina, produzindo uma forma altamente energética de miosina. A subsequente ligação dessa forma de miosina altamente energética à actina através de uma ponte cruzada deflagra a descarga da energia armazenada na miosina, com a produção resultante de força capaz de causar o movimento da ponte cruzada. O ADP e o Pi são liberados, resultando não somente no aumento da força de ligação entre actina e miosina, mas também na alteração conformacional da cabeça de miosina. A actina e a miosina ligam-se e o filamento de actina é puxado em direção ao centro do sarcômero (força de contração), formando as pontes cruzadas e encurtando-o para produzir tensão (Forrest, 1975; Stryer, 1996; Swenson e Reece, 1996).

O ciclo de pontes cruzadas continua enquanto a concentração intracelular de  $Ca^{2+}$  for suficientemente alta para ocupar os locais de ligação do  $Ca^{2+}$  na troponina C. A remoção do  $Ca^{2+}$  da troponina reverte o processo e a tropomiosina retorna à sua posição bloqueadora, cessando a atividade das pontes

cruzadas e restabelecendo o estado relaxado do músculo. Através de um processo de bomba ativa, o  $\text{Ca}^{2+}$  é transportado de volta para dentro do RS. Este processo requer energia que é fornecida pela hidrólise enzimática do ATP, hidrólise esta executada por um sistema enzimático que está associado com a membrana do RS e não com a miosina ATPase. O  $\text{Ca}^{2+}$  será liberado novamente quando um próximo estímulo chegar (Forrest, 1975).

A ponte cruzada de miosina, entretanto, liga-se muito firmemente à actina e este elo deve ser quebrado no final de cada ciclo. A ligação de uma nova molécula de ATP à cabeça da miosina no complexo actomiosina é responsável pelo rompimento desse vínculo, restaurando dessa forma o alto estado energético da miosina, que pode voltar a se fixar agora a um novo sítio do filamento de actina, e assim por diante. Estas reações, semelhantes àsquelas de todas as ATPases conhecidas, necessitam de  $\text{Mg}^{+}$  para a sua atividade (Stryer, 1996).

Embora o ATP seja a fonte imediata de energia para a contração muscular, a quantidade de ATP no músculo é suficiente para manter a atividade por menos de um segundo. O músculo dos vertebrados contém um reservatório de fosforilas de alto potencial na forma de creatina fosfato ou fosfocreatina. O ATP utilizado na contração muscular é prontamente repostado pela fosforilação do ADP a partir da creatina-fosfato, que representa a principal fonte de energia para o músculo esquelético. A concentração de ATP nas células musculares em repouso é de cerca de  $5\mu\text{mol/g}$  de tecido, enquanto que aquela da creatina-fosfato é cinco vezes maior (Swenson e Reece, 1996).

Dessa forma o ATP desempenha papéis distintos no ciclo das pontes cruzadas: a energia liberada pelo desdobramento do ATP provê a energia para o movimento da ponte cruzada; a ligação do ATP à miosina rompe sua ligação com a actina no final de um ciclo da ponte cruzada, permitindo sua repetição; e o bombeamento do  $\text{Ca}^{2+}$  para dentro do RS,

levando o músculo ao estado de repouso. A importância do ATP nesse processo de ciclo da ponte cruzada também é evidenciada no fenômeno do *rigor mortis* (rigidez cadavérica) (Forrest, 1975; Stryer, 1996; Swenson e Reece, 1996).

Em síntese, na presença de ATP e íons  $\text{Mg}^{2+}$ , enquanto os íons  $\text{Ca}^{2+}$  permanecem retidos no RS, a miosina não manifesta atividade ATPásica e o músculo encontra-se em repouso ou relaxado (Pardi et al., 1995).

## 2.2.A conversão do músculo em carne

As funções vitais do sistema muscular não cessam no momento da morte do animal. Uma série de modificações bioquímicas e estruturais ocorrem simultaneamente e são dependentes dos tratamentos *ante mortem*, do processo de abate e das técnicas de armazenamento da carne. Estas modificações que ocorrem após o sacrifício são denominadas de "conversão do músculo em carne" (Pardi et al., 1995).

No animal vivo, o sistema circulatório é responsável por transportar nutrientes essenciais para o músculo, levar oxigênio e retirar resíduos do metabolismo, entre outros. A sangria do animal cessa todas estas ações e marca o início de uma série de mudanças *post mortem* no músculo. Com a sangria, o aporte de oxigênio é suprimido e a via aeróbica pára de funcionar. O metabolismo energético oxidativo é substituído pela via anaeróbica da mesma maneira quando há insuficiente aporte de oxigênio no músculo vivo durante períodos de exercício intenso, sendo que nesta última, a produção de ATP é consideravelmente menor (Forrest, 1975).

O ácido láctico produzido pelo metabolismo anaeróbico muscular, no animal vivo, é transportado para o fígado onde é usado na síntese de glicose e glicogênio. Com a falência do sistema circulatório, o ácido láctico vai se acumulando até praticamente todo o glicogênio muscular ser esgotado, levando a um abaixamento do pH. A concentração de glicogênio muscular momentos antes do

abate definirá de maneira significativa a formação de ácido lático e a conseqüente queda do pH no período *post mortem* (Forrest, 1975).

O abaixamento do pH no músculo devido ao acúmulo de ácido lático é uma das mais significativas mudanças que ocorrem no músculo durante sua conversão em carne. A velocidade da queda do pH e sua extensão são altamente variáveis. Uma diminuição normal de pH no músculo suíno é representada por um declínio de aproximadamente pH 7 no músculo vivo, para um pH em torno de 5,6-5,7 dentro de 6-8 horas *post mortem* e um pH final, alcançado por volta de 24 horas *post mortem*, em torno de 5,3-5,7 (Forrest, 1975; Pardi et al., 1995).

A fonte de energia para se operar *in vivo* a contração muscular e conferir elasticidade ao músculo na fase de repouso é o ATP. Logo após o abate, devido à presença da fosfocreatina e do glicogênio muscular, o ATP é constantemente resintetizado, apesar de ocorrer a sua hidrólise em ADP para o fornecimento de energia. A fonte de energia mais imediata que pode ser mobilizada para a síntese de ATP é a fosfocreatina. Porém, quando as fontes se esgotam ou a hidrólise do ATP é superior à sua síntese, há uma diminuição substancial da concentração deste no músculo e, conseqüentemente, diminuição da elasticidade muscular levando à rigidez cadavérica (Pardi et al., 1995).

Em regra, para o músculo permanecer no estado de repouso ele deve conter uma concentração relativamente alta de ATP e íons  $Mg^{2+}$  e baixa do íon  $Ca^{2+}$  livres no espaço intracelular. A maioria do ATP é encontrada na forma de um complexo íon magnésio ( $Mg^{2+}$ ). O complexo Mg-ATP deve estar presente para prevenir a interação da actina com a miosina (formação de pontes cruzadas). Após a morte do animal o suprimento de Mg-ATP é deprimido, permitindo a formação permanente das pontes cruzadas de actomiosina e o desenvolvimento do *rigor mortis* (Forrest, 1975; Pardi et al., 1995).

O estabelecimento do *rigor mortis* está intimamente relacionado com o valor de pH. A velocidade de queda do pH extremamente rápida ou extremamente lenta conduz ao desenvolvimento rápido do *rigor mortis*. No primeiro caso, o suprimento de energia é rapidamente metabolizado e, com isso, não há ATP suficiente para impedir a formação do complexo actomiosina. Já quando o pH diminui pouco, o *rigor* também será rápido, pois as reservas de energia são escassas. Entretanto, um músculo com declínio do pH considerado intermediário ou normal, o *rigor* se desenvolverá lentamente (Forrest, 1975).

Vários elementos determinam a velocidade da queda do pH, o início e duração do *rigor mortis* e, conseqüentemente, as propriedades da carne. Fatores ambientais como temperatura, umidade, luz, espaço, ruídos, além dos aspectos da produção animal como herança genética e nutrição, também podem influenciar as propriedades da futura carne. A resposta que o animal apresentará a cada fator dependerá da espécie, peso, idade, sexo e resistência do animal aos agentes estressantes (Forrest, 1975).

Após a sangria do animal, e conseqüente perda da circulação sangüínea, já não é mais possível que o calor de partes profundas do corpo seja carreado rapidamente para os pulmões ou outra área para a dissipação do calor, por isso há um aumento da temperatura muscular logo após o abate.

Durante a conversão do músculo em carne, as propriedades das membranas estão alteradas, as células brancas do sangue e o sistema linfático já não operam, tornando o músculo susceptível à invasão bacteriana. Entretanto, o abaixamento do pH tem um efeito inibitório sobre alguns microorganismos. As enzimas proteolíticas, calpaínas e catepsinas, que estavam armazenadas dentro dos lisossomos, são liberadas em razão da queda do pH e começam a degradar as proteínas miofibrilares levando a progressiva perda de estrutura do músculo. A desnaturação de proteínas que ocorre em função do declínio do pH e do aumento da temperatura logo após

o abate também contribuem para esta perda da firmeza muscular (Forrest, 1975).

O músculo do animal vivo com um eficiente suprimento de oxigênio apresenta uma coloração vermelha brilhante. Porém, após a morte do animal, o oxigênio é consumido e o músculo torna-se vermelho escuro ou púrpura. Quando o músculo sofre uma desnaturação protéica severa, a intensidade da cor é consideravelmente reduzida (Pardi et al., 1995).

As principais alterações que ocorrem na carne à medida que ela entra em rigidez cadavérica é o endurecimento, a perda de extensibilidade, a acidificação e a perda da capacidade de retenção de água (Correia, 1976).

### 2.3. PSE

A ocorrência do fenômeno PSE é reconhecida internacionalmente como um sério problema para a indústria de carnes e, devido à sua considerável importância econômica, este fenômeno tem sido estudado há vários anos em suínos (Schaefer et al., 1993).

Fatores como espécie, peso, idade, sexo, temperatura, umidade, luz, ruídos, o espaço disponível para cada animal durante o transporte e as acomodações que precedem ao abate podem exercer influência negativa sobre os animais de açougue, levando-os ao estresse ou reproduzindo condições desfavoráveis quanto à qualidade, ao aspecto comercial e à conservação da carne, dadas as transformações provocadas no metabolismo muscular (Pardi et al., 1995).

O metabolismo muscular pós-morte pode seguir um curso anormal devido a transtornos fisiológicos ou a diversos fatores externos. É fato conhecido que uma intensa glicólise muscular antes ou depois do abate está associada a carnes de qualidade deficiente. Estas carnes são denominadas de DFD (do inglês *Dark* escuras; *Firm* firmes; *Dry* secas) e são mais comum nos ruminantes e PSE (do inglês *Pale* pálida; *Soft* moles; *Exudative*

exsudativas), mais comum nos suínos (Garrido & Bañón, 2000).

As carnes DFD são provenientes de animais que sofreram um estresse crônico antes do abate, sem que tivessem tido tempo suficiente para recuperar seu estoque de glicogênio muscular e, por isso, possuem escassas reservas deste no momento do sacrifício. Com isso, há uma glicólise lenta após o abate, uma menor produção de ácido láctico e, conseqüentemente, um pH final mais elevado (>6,0). Devido à maior integridade das proteínas musculares, estas carnes tem uma elevada capacidade de retenção de água e, por essa razão, se apresentam firmes e refletem menos luz (Garrido & Bañón, 2000).

Já as carnes PSE procedem de animais estressados no momento do abate e se caracterizam por uma glicólise pós-morte acelerada, o que provoca uma brusca queda do pH (de 7,2 para 5,8 em 45 minutos, aproximadamente) antes que a carcaça tenha se resfriado com eficiência. Esta combinação de baixo pH e alta temperatura é crítica para a ocorrência de uma desnaturação das proteínas musculares maior que a normal. A quantidade de desnaturação depende do mais alto valor de temperatura e do menor valor de pH alcançados. Como conseqüência disto, a textura é menos firme, sendo que a exsudação e a reflexão de luz ficam aumentadas. As carnes exsudativas apresentam uma capacidade de retenção de água menor que o normal e, portanto, um menor rendimento tecnológico (Garrido & Bañón, 2000).

A rápida queda do pH (<5,8) logo após o abate, em presença de temperatura muscular elevada (>30°), leva à desnaturação de proteínas responsáveis pela estrutura do músculo como as do tecido conjuntivo (colágeno, elastina, reticulina), sarcoplasmáticas e miofibrilares (actina, miosina, tropomiosina) o que resulta na flacidez apresentada na carne PSE e também na desnaturação da mioglobina (proteína globular que carrega e oxigênio) que confere cor ao músculo, gerando uma palidez na carne. Estas alterações de algumas

propriedades funcionais tornam este tipo de carne rejeitado pelo consumidor e em muitos casos, impróprio para determinadas aplicações industriais (Forrest, 1975; Offer, 1991).

Músculos que apresentam um declínio muito rápido e extenso de pH serão pálidos na cor, terão uma baixa capacidade de retenção de água e apresentarão uma superfície de corte com aparência muito úmida. Segundo Forrest (1975), a condição PSE está associada a rendimentos mais baixos e maiores perdas durante o processo de estocagem e culinário. A menor capacidade de retenção de água da carne implica em perdas do valor nutritivo por intermédio do exsudato liberado, resultando em carne mais seca e com menor maciez.

Em um experimento realizado por D'Souza et al. (1998), dois grupos de suínos receberam suplementação dietética de aspartato de magnésio (MgAsp) por cinco dias antes do abate. Porém, um grupo foi submetido a um manejo mínimo e o outro a um manejo estressante (15 choques elétricos por cinco minutos antes do abate). Os animais que foram suplementados, em ambos os tratamentos, não produziram nenhuma carcaça PSE, enquanto que no grupo controle (sem suplementação) a incidência foi de 33% nos animais que sofreram manejo negativo.

Foi verificada que, em algumas linhagens de suínos, como Pietrain e Landrace, existe um transtorno hereditário chamado de hipertermia maligna no qual acontece a ativação defeituosa dos canais de cálcio do RS. A ativação destes canais pode ser

desencadeada pelo anestésico geral halotano (*hal*) e resultar em contrações musculares extremamente fortes e produção de calor. De fato, pelo teste do anestésico *hal*, alguns animais apresentam maior sensibilidade ao estresse do que outros, o que indica predisposição hereditária. No entanto, a carne PSE também pode ser detectada em suínos de população sem o gene halotano. Além dos fatores genéticos, o manejo mal conduzido dos animais antes do abate e das carcaças também tem forte influência sobre a ocorrência de PSE, como é o caso da Síndrome do Estresse Suíno (*Porcine Stress Syndrome* ou PSS), que é caracterizada pela morte súbita dos animais e ocorre em animais que não possuem predisposição genética ou outra predisposição ao estresse. É induzida por fatores estressantes naturais como transporte, altas temperaturas ambientais, exercícios, lutas, entre outros e resulta em progressiva dispnéia, hipertermia, vasoconstrição disseminada e rápido início de *rigor mortis* depois do abate. Ambas resultam em PSE (Mitchell, 1982).

Uma das prováveis causas da condição PSE na carne suína é um rápido e extenso declínio do pH pós-morte devido ao acúmulo de ácido láctico proveniente da glicólise anaeróbica. Se a taxa de declínio do pH for reduzida por uma maior disponibilidade de ATP de outras fontes além da glicólise, o desenvolvimento de carnes PSE poderia ocorrer com menor frequência (Berg et al., 2003).

De acordo com Warner et al. (1997), a carne suína será classificada como normal, PSE ou DFD de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Classificação da carne suína em Normal, PSE e DFD

	<b>pH inicial</b>	<b>pH final</b>	<b>Cor L*</b>	<b>PE</b>
<b>Normal</b>	Igual ou maior que 5,8	Menor que 6,0	Maior que 43 Menor que 49	Menor que 5%
<b>PSE</b>	Menor que 5,8	Igual ou menor que 5,6	Maior que 50	Maior que 5%
<b>DFD</b>		Maior que 6,0	Menor que 42	Menor que 5%

## 2.4. Magnésio

O magnésio (Mg) é o segundo cátion mais abundante no meio intracelular, o quarto em concentração no corpo humano e o co-fator necessário para reações enzimáticas vitais às rotas metabólicas, principalmente a via glicolítica. É o ativador de todas as enzimas transportadoras de fosfato e no meio extracelular é importante na condução nervosa, função muscular e formação mineral dos ossos (NRC, 1998). Em sistemas não enzimáticos, o Mg atua como modulador da atividade neuromuscular e auxilia no controle autônomo do coração (Nunes, 1998).

Aproximadamente 70% do Mg presente no corpo do animal está contido nos ossos. O Mg é um componente ativo de diversos sistemas enzimáticos, sendo que na sua ausência a fosforilação oxidativa é amplamente reduzida. Além disso, o músculo cardíaco, o músculo esquelético e o tecido nervoso dependem do equilíbrio apropriado entre íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Swenson e Reece, 1996).

Um estudo realizado por D'Souza et al. (1998) mostrou que a suplementação de níveis supranutricionais de magnésio (Mg) para suínos nos últimos dias antes do abate melhora os parâmetros da cor da carne (diminui a palidez) e a capacidade de retenção de água. O efeito negativo das dietas ricas em Mg está baseado em redução da palatabilidade e indução de diarreia osmótica (Underwood & Suttle, 1999).

A suplementação de magnésio na dieta pré-abate para suínos, ao peso de abate de mercado, pode ser um método para controlar a incidência de PSE na carne suína. Schaefer et al. (1993) relataram que a carne de suínos alimentados por um curto período com aspartato de magnésio (MgAsp) exibiu redução da temperatura muscular aos 45 minutos pós-abate, um alto valor de  $a^*$  (carne mais avermelhada) e uma redução da porcentagem de perda por gotejamento.

Em outro experimento, D'Souza et al. (2000) mostraram que o uso da suplementação dietética de aspartato de magnésio (MgAsp), na dose de 1,6 g do elemento Mg (20g de Mg Asp) durante dois dias antes do abate melhorou significativamente a cor da carne suína e diminuiu a perda por exsudação, reduzindo a incidência de PSE na mesma.

### 2.4.1. Efeito do magnésio sobre a qualidade da carne suína

#### 2.4.1.1 pH

O pH é uma das características mais importantes referente à qualidade das carnes. Seu efeito está diretamente ligado à capacidade de retenção de água, à cor e à estrutura dos músculos. Vários fatores interferem na glicólise *post mortem* e na velocidade da queda do pH. O manejo inadequado pré-abate, a predisposição genética (Síndrome do Estresse Suíno) e o metabolismo elevado de alguns animais, entre outros, aceleram o processo de glicólise. Isto ocorre devido à liberação de catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) na corrente sanguínea do animal que estimulam a degradação da glicose muscular a ácido láctico ocasionado à queda do pH (Silveira, 1997).

D'Souza et al. (1998), utilizando 48 suínos com peso inicial médio de  $77 \text{ kg} \pm 9,7 \text{ kg}$ , avaliaram o efeito da suplementação de 40 g de aspartato de Mg (3,2 g de Mg) para animais submetidos a um manejo mínimo e um manejo negativo (estressante) por cinco dias pré abate. Os efeitos benéficos da suplementação dietética de Mg foram enfatizados pelo aumento significativo do valor de pH inicial e final constatados para os animais suplementados com Mg em ambos os tipos de manejo quando comparados com os animais do grupo controle.

Verificando a influência de duas fontes de Mg (aspartato e sulfato), dois períodos (2 e 5 dias) e dois níveis de suplementação (1,6 e 3,2 g de Mg) sobre alguns indicadores de qualidade da carne suína, D'Souza et al.

(2000) obtiveram um maior pH inicial para os suínos suplementados com a menor dose de MgAsp em comparação aos que foram suplementados com a maior dose de MgAsp (6,59 vs 6,51; P=0,043) em ambos os períodos.

Hamilton et al. (2003) pesquisaram os efeitos de diferentes níveis (1,6 e 3,2 g de Mg), fontes (sulfato, proteinato e propionato) e períodos (0, 1, 2 e 5 dias pré-abate) de suplementação de Mg. Os animais que foram suplementados pelo menor período de tempo apresentaram maior pH final que o grupo controle e o grupo tratado por dois dias. O grupo suplementado por cinco dias teve um valor de pH final intermediário aos demais.

Comparando três fontes de suplementação, vitamina D3, Vitamina E, magnésio e suas interações durante dois dias antes do abate, Swigert et al. (2004) utilizaram 240 suínos (machos e fêmeas) e encontraram, somente para o grupo de fêmeas suplementadas com 3,5 g de Mg, um maior pH final (5,69) comparado com o grupo controle e com os demais tratamentos.

#### **2.4.1.2. Temperatura**

A temperatura na qual as carcaças recém abatidas são armazenadas pode induzir a mudanças na velocidade das reações químicas que ocorrem no tecido muscular. As reações catalisadas por enzimas nos músculos são particularmente sensíveis à temperatura. Geralmente, menores temperaturas de estocagem durante a maturação resultam em carne menos macia e maiores temperaturas podem acelerar intensamente a ação enzimática natural na carne fresca e a extensão do amaciamento. Portanto, torna-se desejável reduzir a temperatura muscular o mais rápido possível para minimizar a desnaturação das proteínas que ocorrem neste período e inibir o crescimento de microorganismos. Por outro lado, a redução extremamente rápida da temperatura muscular no período pós-morte pode causar consequências indesejáveis como, por

exemplo, o encurtamento pelo frio (Forrest, 1975).

Estudando o efeito da suplementação de aspartato de magnésio (MgAsp), Schaefer et al. (1993) realizaram um experimento com 90 suínos (machos e fêmeas) e observaram que o grupo tratado com 20 g de MgAsp diminuiu significativamente a temperatura inicial (45 minutos) em relação ao grupo controle.

#### **2.4.1.3. Cor**

A cor é um indicativo freqüente da qualidade da carne pelo fato de estar relacionada com a atratividade, portanto a cor da carne fresca é de grande interesse para a indústria de carnes (Warner et al., 1993). O consumidor considera a cor clara na carne suína como indesejável. Varejistas classificaram a variação da cor como o mais importante defeito de qualidade (Brewer & Mckeith, 1999).

A cor da carne é devida, principalmente, à presença de dois pigmentos: a mioglobina que é o pigmento dos músculos e, em menor grau, a hemoglobina que é o pigmento do sangue. Em um tecido muscular bem sangrado, a mioglobina representa cerca de 80 a 90% do pigmento total. A quantidade desta varia de acordo com a espécie, sexo, idade, tipo de músculo e atividade física (Pardi et al., 1995).

Em geral, a carne dos animais imaturos tem menor teor de mioglobina do que os indivíduos maduros. Da mesma maneira, os machos inteiros possuem músculos mais ricos em mioglobina que os machos castrados e as fêmeas. A carne dos bovinos apresenta mais mioglobina que a dos suínos, peixes e aves, sendo que nesta última o peito tem menos mioglobina que a coxa e a perna, apresentando-se assim mais claro que os outros (Forrest, 1975).

A descoloração ou desenvolvimento incomum da cor pode ocorrer na carne por diversos modos, alguns dos quais são reações químicas normais dos pigmentos. Cortes

frescos de carne normalmente mantém uma cor atrativa por cerca de 72 horas se boas práticas de fabricação e estocagem são seguidas (Forrest, 1975).

Procurando comparar dois níveis de Mg (1,6 e 3,2 g), duas fontes de Mg (sulfato e aspartato) e dois períodos de suplementação (2 e 5 dias), D'Souza et al. (2000) encontraram maiores valores de L\*, ou seja, uma carne mais pálida para os animais do grupo controle quando comparados com os todos os outros tratamentos com Mg.

Schaefer et al. (1993), avaliando o efeito de dois níveis de suplementação de MgAsp (20 e 40g) durante cinco dias antes do abate, em 90 suínos (machos e fêmeas) de peso inicial médio de 108,7 kg, observaram que o valor de a\* (carne mais vermelha) foi maior para os animais tratados com 20 g de MgAsp.

Avaliando o efeito da suplementação de 0, 1,25 e 2,5 % de magnésio mica (MM), Apple et al. (2000) constataram que o músculo *Longissimus* dos animais suplementados com MM tiveram um maior valor de a\*, indicando carne mais avermelhada, quando comparados com os animais sem nenhuma suplementação (grupo controle).

Hamilton et al. (2002) utilizaram 144 suínos (machos e fêmeas) de aproximadamente 110 kg de peso vivo cada um, para avaliar o efeito da suplementação de sulfato de magnésio (3,2g de Mg) nos períodos de 0, 2, 3 e 5 dias antes do abate. Os autores encontraram um menor valor de L\* para os animais tratados por dois dias, indicando carne menos pálida para estes animais em relação aos do grupo controle.

Procurando comparar dois tipos de manejo, mínimo e estressante, sobre algumas características da carne de 48 suínos, sem suplementação e com adição de 40 g de MgAsp, D'Souza et al. (1998) constataram que os animais sem suplementação obtiveram um valor de L\* maior do que os animais tratados, ou seja, tiveram uma carne mais pálida em ambos os tipos de manejo.

Em um experimento realizado por Hamilton et al. (2003), foram testadas três fontes (sulfato, proteinato e propionato), dois níveis (1,6 e 3,2 g de Mg) e quatro períodos (0, 1, 2, e 5 dias) de suplementação de Mg em 192 suínos (machos e fêmeas) pesando em média 105,0 kg. Foi constatado que os animais suplementados com o proteinato e com o sulfato de Mg produziram carne menos pálida (menor valor de L\*) em comparação com o grupo controle, enquanto os tratados com propionato tiveram um valor de L\* intermediário.

Swigert et al. (2004) encontraram o menor valor de L\* (carne menos pálida) para os animais tratados com Mg quando comparados com os animais tratados com vitamina E, vitamina D<sub>3</sub> e suas associações. Além disso, todos os tratamentos que incluíam Mg (D<sub>3</sub> +Mg; E + Mg; D<sub>3</sub> + E + Mg) mostraram numericamente menores valores de L\*.

Com o objetivo de comparar o efeito da suplementação de Mg em um grupo de animais abatidos imediatamente após a chegada ao frigorífico e outro mantido por duas horas de descanso antes do abate, Geesink et al. (2004) constataram que os animais do grupo controle que não tiveram período de descanso apresentaram um aumento no valor de L\* (carne mais pálida) e uma diminuição do valor de a\* (carne menos vermelha).

#### **2.4.1.4. Perda por exsudação (PE) e Perda por cozimento (PC)**

A água representa cerca de 65 a 80% da massa muscular no animal vivo. Ela atua como lubrificante, solvente, carreadora de substâncias, mantém a turgidez das células e ainda é o meio ideal onde ocorrem as reações químicas. A maior parte da água está fortemente ligada às proteínas e quando estas não sofrem intensa desnaturação, a água continua ligada durante a conversão do músculo em carne. Esta retenção da água contribui para uma maior suculência e palatabilidade da carne (Forrest, 1975). Muitas das características físicas como cor,

textura, suculência e maciez são parcialmente dependentes da capacidade de retenção de água.

D'Souza et al. (1999), comparando três fontes de Mg (sulfato, aspartato e cloreto) na suplementação dietética de suínos, durante cinco dias antes do abate, concluíram que as fontes mais baratas, sulfato de Mg e cloreto de Mg, podem ser tão eficazes quanto o aspartato de Mg (MgAsp) em reduzir a perda por gotejamento e melhorar a qualidade da carne suína.

Num estudo conduzido por D'Souza et al. (2000), os suínos do grupo controle tiveram uma maior porcentagem de perda por exsudação (PE) do que os animais suplementados com sulfato e aspartato de Mg em ambos os níveis (1,6 e 3,2 g de Mg) e períodos (2 e 5 dias pré-abate), porém não houve diferença na perda por cozimento (PC) entre os animais do grupo controle e os tratados.

Utilizando 192 suínos (machos e fêmeas) com peso médio de 105,0 kg, Hamilton et al. (2003) compararam o efeito das fontes sulfato, proteinato e propionato de Mg, nas concentrações de 1,6 e 3,2 g de Mg e nos períodos de 0, 1, 2, e 5 dias de suplementação de Mg. Os autores constataram que os animais suplementados com o sulfato de Mg apresentaram a menor perda por exsudação (PE) em relação ao grupo controle. Os animais tratados por apenas um dia tiveram menor PE que os tratados por dois dias, enquanto os tratados por cinco dias e os do grupo controle obtiveram um valor intermediário para PE.

Utilizando 82 suínos machos e fêmeas com peso inicial médio de 108,7 kg, Schaefer et al. (1993) avaliaram os efeitos da suplementação de 20 e 40 g de MgAsp, durante cinco dias antes do abate, sobre alguns parâmetros da qualidade da carne suína. Os autores encontraram uma significativa redução na porcentagem de PE para os suínos suplementados com 40 g de MgAsp.

Verificando a influência do tipo de manejo pré-abate, mínimo e estressante, 48 suínos foram suplementados com 40 g de MgAsp durante cinco dias antes do abate. D'Souza et al. (1998) constataram que os animais sem suplementação obtiveram maiores valores de PE do que os animais tratados nos dois tipos de manejo.

Hamilton et al. (2002) estudaram quatro diferentes períodos (0, 2, 3 e 5 dias pré-abate) de suplementação de sulfato de magnésio (3,2g de Mg) para 144 suínos (machos e fêmeas) com peso médio de 110 kg. Segundo esses autores, os animais tratados por dois e cinco dias, obtiveram um menor valor de PE quando comparados com os do grupo controle. Enquanto os animais suplementados por três dias apresentaram um valor intermediário para PE.

#### **2.4.1.5. Maciez**

Algumas das propriedades físicas como estrutura, consistência e textura são difíceis de serem mensuradas objetivamente. Esses fatores são normalmente avaliados pelos consumidores através dos sentidos da visão, tato e paladar e são tidos por estes como as propriedades organolépticas que mais os interessam (Forrest, 1975).

Vários fatores influenciam na maciez da carne. Dentre os fatores *ante mortem* destacam-se a espécie, idade e sexo, além da genética, da alimentação e do manejo pré-abate dos animais. Entre os fatores *post mortem* estão o resfriamento, a taxa de glicólise e a conseqüente velocidade de queda do pH, quantidade de colágeno e extensão da degradação das proteínas miofibrilares. Outras causas de variação da maciez são decorrentes dos tratamentos tecnológicos aplicados às carcaças no período que se segue ao abate (Pardi et al., 1995; Oliveira, 2000).

Comparando os efeitos das suplementações de sulfato e aspartato de magnésio, nas doses de 1,6 e 3,2 g de Mg, durante 2 e 5 dias antes do abate, D'Souza et al. (2000) obtiveram um maior pico de força de cisalhamento para os

suínos tratados com a maior dose (3,2g de Mg) de sulfato de magnésio nos dois períodos em relação aos animais tratados com a menor dose do mesmo composto.

## 2.5. Creatina

A creatina é sintetizada pelo fígado e em seguida é transportada pelo sangue para as células musculares, onde é convertida em fosfato de creatina e atua como uma reserva de energia dentro do músculo. Aproximadamente 65% da creatina está armazenada nos músculos esqueléticos como creatina-fosfato ou fosfocreatina (Stahl et al., 2001).

Durante o trabalho muscular, o ATP é hidrolisado em ADP e Pi com liberação de energia química transformada em energia cinética que é usada pelas proteínas musculares para gerar força de contração. Em condições normais, há apenas uma quantidade limitada de ATP na musculatura esquelética que é suficiente para manter a contração muscular somente por alguns segundos (Swenson e Reece, 1996).

Para um músculo manter sua atividade contrátil, moléculas de ATP devem ser sintetizadas tão rapidamente quanto são desdobradas. Existem três fontes para suplementar esse ATP: creatina-fosfato, fosforilação oxidativa nas mitocôndrias e fosforilação anaeróbica durante a glicólise. A fosfocreatina provê o meio mais rápido de formar ATP na célula muscular. Essa molécula contém energia e fosfato, ambos os quais podem ser transferidos para a molécula de ADP para produzir ATP e creatina (Swenson e Reece, 1996; Stryer, 1996).

A creatina-fosfato pode transferir rapidamente sua fosforila de alto potencial para o ADP a fim de gerar ATP. Contudo, a quantidade de creatina-fosfato, como aquela de ATP, é limitada. Muito mais ATP pode ser gerado pela conversão do glicogênio muscular a lactato, mas a velocidade é menor do que a da fosfocreatina. O glicogênio hepático complementa o glicogênio muscular

como um depósito de energia que pode ser usado. Quantidades muito maiores de energia podem ser obtidas pela oxidação de ácidos graxos, mas a taxa máxima de geração de ATP é dez vezes mais lenta do que com creatina-fosfato. Assim, o ATP é gerado muito mais lentamente a partir dos depósitos de grande capacidade do que a partir daqueles limitados (Stryer, 1996).

Durante a atividade muscular moderada, o ATP utilizado na contração muscular é prontamente repostado através da fosforilação do ADP a partir da creatina-fosfato. Esse sistema é tão eficiente que a concentração de ATP presente nas células musculares muda muito pouco no início da contração, enquanto a concentração de fosfato de creatina está diminuída (Swenson e Reece, 1996).

A creatina provê ATP para a contração muscular e para o metabolismo. A suplementação deste nutriente aumenta a quantidade de energia disponível para a produção de ATP. Conseqüentemente, esse processo, não envolvendo a via glicolítica, não implica na produção de ácido láctico. Espera-se com isso uma melhora da qualidade da carne suína pelo lento declínio do pH logo após o abate (Maddock et al., 2002).

Greenhaff (1996) determinou um nível mínimo de acúmulo de creatina no músculo necessário para observar os efeitos benéficos da sua suplementação em humanos. Este nível pode ser obtido através de uma grande quantidade por um curto prazo como 20 a 25 g/dia por 5 a 10 dias seguido por um longo período de baixas doses como 2 a 3 g/dia.

Pesquisas com humanos têm mostrado que a suplementação dietética de creatina monohidratada (CMH) de 20g por dia durante cinco dias aumenta a carga de creatina intramuscular em 20%. Este aumento melhora a resistência muscular e o tempo de recuperação depois de exercícios de alta intensidade, assim como aumenta significativamente a quantidade de massa magra em menos de uma semana (Greenhaff, 1996).

### **2.5.1. Efeito da creatina sobre a qualidade da carne suína**

#### **2.5.1.1. pH**

Avaliando o efeito da suplementação dietética de creatina monohidratada (CMH) sobre as características quantitativas e qualitativas da carcaça e da carne, Maddock et al. (2002) realizaram um experimento com 29 suínos com peso médio inicial de 110 kg. Os animais foram suplementados com 0 e 25 g de CMH/animal/dia durante cinco dias antes do abate. Neste estudo, o pH medido aos 45 minutos foi de 6,2 para os animais suplementados, enquanto o grupo controle apresentou um pH de 5,9.

Berg & Allee (2001) suplementaram 24 suínos com peso inicial médio de 107 kg durante 0, 5 e 10 dias antes do abate com 25 g de CMH/animal/dia. Os pesquisadores observaram, para o músculo *Semimembranosus*, um aumento linear para o pH inicial de 6,12, 6,30 e 6,43 para os grupos controle, 5 e 10 dias de suplementação, respectivamente. Além disso, foi constatado um aumento significativo no pH 24 horas (ou final) para o grupo suplementado por 10 dias.

#### **2.5.1.2. Perda por exsudação (PE) e Perda por cozimento (PC)**

A capacidade de retenção de água é definida como sendo a habilidade da carne em reter sua própria água durante a aplicação de forças externas como cortes, aquecimento, trituração e prensagem. Entretanto, alguma perda de umidade sempre ocorre mesmo durante a aplicação do mais moderado tratamento pelo fato de uma porcentagem desta água estar na forma “livre”, ou seja, fracamente ligada às proteínas musculares (Forrest, 1975).

No estudo de Maddock et al. (2002), na suplementação com 25 g de CMH por cinco dias antes do abate não houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) sobre a porcentagem de perda por exsudação em nenhum dos

músculos avaliados, apesar de todas as carcaças tratadas apresentarem um menor valor para esta medida em comparação com os animais não suplementados.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Local e instalações**

O experimento foi conduzido no Setor de Suinocultura da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, localizado na Fazenda Experimental Professor Hélio Barbosa, município de Igarapé, Minas Gerais, no mês de dezembro de 2006. Os animais foram alojados individualmente em baias contendo comedouros semi-automáticos e bebedouros tipo chupeta, em galpão de alvenaria, com piso semi-ripado de concreto, coberto com telhas de cimento amianto. Foi utilizado um termômetro de registro de temperatura máxima e mínima, colocado no interior do galpão, para determinações diárias da temperatura durante todo o período experimental. As temperaturas máxima e mínima do período foram, respectivamente,  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ .

### **3.2. Animais e delineamento experimental**

Foram utilizados 24 suínos (linhagem comercial Dan Bred), sendo 12 fêmeas e 12 machos castrados, com peso inicial de  $+102,2$  Kg, distribuídos em delineamento experimental de blocos inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos, seis repetições e um animal por unidade experimental. Na distribuição dos animais foi adotado como critério o peso inicial dos animais. Os animais foram identificados individualmente por meio de brincos colocados nas orelhas.

### **3.3. Dietas e manejo alimentar**

As dietas experimentais (tabela 2), a base de milho, farelo de soja, vitaminas e minerais, foram formuladas para atender as exigências mínimas dos animais de acordo com as recomendações de Rostagno et al. (2000).

Tabela 2 - Composição centesimal e valores nutricionais calculados da dieta basal experimental

<b>Ingredientes (%)</b>	<b>Quantidade</b>
Milho	74,50
Farelo de soja	20,74
Farinha de carne	3,44
Calcário	0,62
Sal	0,30
Premix vitamínico <sup>1</sup> e mineral <sup>2</sup>	0,40
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Composição calculada</b>	
Energia Metabolizável (Kcal/kg)	3220
Proteína Bruta (%)	17,34
Fósforo disponível (%)	0,30
Cálcio (%)	0,70
Lisina Total (%)	0,83

<sup>1</sup> **Níveis de garantia (por Kg do produto):** Vitamina A, 1.500.000 UI; Vitamina D3, 250.000 UI; Vitamina E, 250.000 mg; Vitamina K3, 500 mg; Vitamina B1, 125 mg; Vitamina B2, 1.000 mg; Vitamina B6, 250 mg; Vitamina B12, 2.500 mcg; Vitamina C, 12.500 mg; Niacina, 3.750 mg; Ac. Fólico, 100 mg; Ac. Pantotênico, 2.500 mg; Biotina, 12,5 mg; Colina, 30.000 mg; Metionina, 10.000 mg; Lisina, 50.000 mg; Treonina, 5.000 mg; Triptofano, 2.500 mg; B.H.T., 500mg.

<sup>2</sup> **Níveis de garantia (por Kg do produto):** Selênio, 125 mg; Iodo, 200 mg; Cobalto, 125 mg; Ferro, 17.500 mg; Cobre, 5.000 mg; Manganês, 10.000 mg; Zinco, 20.000 mg; Tilosina, 11.000 mg.

A água foi fornecida à vontade durante todo período experimental. Por estarem em baias individuais, os animais foram restringidos a 2.30 kg de ração comercial por dia. Os animais passaram por um período de adaptação de cinco dias, onde receberam a dieta comercial. Esta mesma foi usada como dieta referência para todos os tratamentos durante o período experimental.

Após o período de adaptação, o grupo controle continuou a receber a dieta basal sem nenhuma suplementação (T1). Os demais grupos passaram a receber a dieta comercial suplementada com 36g de sulfato de magnésio 9% (3,2g de magnésio; T2); 26g de creatina monoidratada 98% (25g de creatina; T3); 36g de sulfato de magnésio 9% (3,2g de magnésio) e 26g de creatina monoidratada 98% (25g de creatina; T4) por animal/dia, durante os cinco dias que antecederam o abate. Para cada tratamento, tanto o MgSO<sub>4</sub> quanto a creatina foram misturados em 0,5kg de ração para cada animal como forma de garantir a ingestão do suplemento. Depois de consumido, eles recebiam o restante da ração controle comercial.

Os suínos foram pesados no início e no final do período experimental para determinar o ganho de peso diário (GPD), a conversão alimentar (CA) e o rendimento de carcaça (RC).

### 3.4.Procedimentos de abate

Ao término do experimento os animais foram pesados, embarcados e transportados em caminhão para o abatedouro do Frigorífico Alvorada Ltda., localizado no município de Igarapé a dez quilômetros da fazenda experimental. Todos os animais foram abatidos no mesmo dia, após seis horas de descanso, de acordo com os procedimentos industriais padrão.

As carcaças foram marcadas com lápis especial, na própria linha de matança, para identificação posterior à retirada dos brincos das orelhas. Após a evisceração e divisão longitudinal das carcaças, as meias-carcaças foram pesadas para a obtenção do peso da carcaça quente. Em seguida, estas foram resfriadas em câmaras frigoríficas a 4°C por 24 horas.

### 3.5. Avaliações da qualidade da carne

Para as avaliações da qualidade da carne, algumas variáveis como pH, temperatura, cor, perda por exsudação (PE), perda por cozimento (PC) e força de cisalhamento foram efetuadas em todas as carcaças.

1) pH: medido no músculo *Longissimus dorsi* (LD) na meia carcaça esquerda entre a 12ª e 13ª vértebras torácicas aos 45 minutos e 24 horas após o abate. Foi usado um pHmetro portátil da marca Instrutherm, modelo PH-710 com eletrodo de perfuração específico para carnes modelo EPC-50. Antes, porém, foi feita uma perfuração no músculo para posterior inserção do eletrodo a uns três centímetros de profundidade. Este era lavado com água destilada e seco com papel toalha a cada medida. Após quatro medições, o eletrodo era submetido à limpeza com solução de detergente neutro e água destilada e uma nova calibração era realizada.

2) Temperatura: medida efetuada juntamente com o pH, nos mesmos locais e tempos, utilizando-se um termômetro tipo espeto digital portátil da marca Instrutherm, modelo TE300 com sonda de penetração específica para carnes.

3) Cor: a avaliação instrumental da cor da carne fresca foi realizada 24 horas após o abate. Amostras de 12 cm de comprimento do músculo *Longissimus dorsi* foram retiradas das meias-carcaças esquerdas no sentido caudo-cranial na altura a 12ª e 13ª vértebras torácicas. As amostras do lombo foram embaladas individualmente em sacos plásticos, identificadas, acondicionadas em caixas de isopor com gelo e imediatamente enviadas ao Laboratório de Bioquímica da Faculdade de Farmácia da UFMG. Estas amostras foram subdivididas no laboratório para a execução das análises de cor, PE, PC e força de cisalhamento, obtidas sempre no mesmo ponto evitando-se assim variações nas análises da carne. Posteriormente, foi retirada de cada amostra, uma sub amostra de aproximadamente 2,0 cm de espessura. Visando a oxigenação do músculo, cada sub

amostra permaneceu exposta ao ar durante 15 minutos. Após este período, estas foram levemente secadas com papel toalha e submetidas a avaliação objetiva da cor em três pontos aleatórios sobre a superfície do corte. Utilizou-se um colorímetro portátil da marca Colortec PCM (Clinton, USA), com fonte de luz D-65 e ângulo de observação de 10°. Este instrumento ilumina a amostra com luz de uma fonte controlada medindo a quantidade de luz refletida da amostra em diferentes comprimentos de onda (400nm a 700nm). Os valores da cor foram calculados de acordo com a escala CIE L\* a\* b\* (*Centre International de L'Eclairage*, onde L\* representa luminosidade, a\* representa o teor de vermelho e b\* o teor de amarelo). O valor de L\* igual a zero corresponde ao preto e 100 ao branco, sendo que é inversamente proporcional à porcentagem do pigmento mioglobina presente no tecido muscular. Assim, quanto maior o teor de mioglobina na carne, menor o valor de L\*. Os valores de a\* variam do -a\* que representa o verde ao +a\* o vermelho. O valor do -b\* corresponde ao azul e o +b\* ao amarelo. Fez-se a média de três leituras por amostra.

4) PE: foi mensurada utilizando-se o método da suspensão descrito por Boccard et al. (1981) citado por Bridi & Silva (2006). Após a leitura da cor, as amostras que estavam embaladas em sacos plásticos, identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo foram imediatamente encaminhadas para o Laboratório de Tecnologia de Carnes do Departamento de Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal da Escola de Veterinária da UFMG. Para a determinação da perda por exsudação foram retiradas sub amostras de aproximadamente 2,0 cm de espessura e preparadas removendo-se a gordura externa, os músculos espinhais e multífido. A seguir, cada amostra foi levemente secada em papel toalha, pesada em balança semi-analítica, colocada dentro de uma embalagem plástica reticulada e suspensa no interior de um saco plástico inflado para que o exsudato não entrasse em contato com a amostra de carne. O material então foi transferido para uma

estufa pré-resfriada B.O.D. 347 CD, onde permaneceu por 48 horas a 4°C. Após este período, as amostras foram cuidadosamente retiradas, suavemente secadas com papel toalha e novamente pesadas. A perda por gotejamento foi expressa como uma porcentagem do peso inicial.

5) PC: para esta análise, também realizada no Laboratório de Tecnologia de Carnes do Departamento de Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal da Escola de Veterinária da UFMG, foram retiradas duas sub amostras de aproximadamente 2,5 cm de espessura de cada amostra. Estas também foram preparadas removendo-se a gordura externa e os músculos espinhais e multífido. Em seguida, foram levemente secadas em papel toalha, pesadas em uma balança semi-analítica e assadas, sem adição de qualquer condimento, em um forno elétrico pré-aquecido até ser estabilizado à temperatura de 170°C. Todas as sub amostras tiveram suas temperaturas monitoradas durante o cozimento por meio de sensores ou termopares ligados a um termômetro digital da marca Instrutherm, modelo TH 1000. Após alcançarem uma temperatura interna de 70°C, foram retiradas do forno e deixadas à temperatura ambiente para que esfriassem. Em seguida, as sub amostras foram embaladas e deixadas por mais 24 horas na geladeira (Bridi & Silva, 2006). Após este período, foram novamente pesadas e a perda de líquido na cocção foi expressa em porcentagem de água perdida em relação ao peso original da amostra.

6) Força de cisalhamento ou *Warner-Bratzler Shear Force* (WBSF): as amostras utilizadas na avaliação da força de cisalhamento da carne, após assadas conforme descrito no item anterior, permaneceram 24 horas em uma geladeira a 4°C, quando então foram retirados, no mínimo, seis cilindros de 1,27 cm de diâmetro de cada sub amostra, paralelos à orientação das fibras musculares. As sub

amostras, agora em forma de cilindros, que apresentaram algum tipo de falha foram descartadas. Em seguida, essas foram imediatamente levadas para o Laboratório de Bioquímica da Faculdade de Farmácia da UFMG onde foram submetidas à avaliação objetiva da maciez. Para tal, utilizou-se o aparelho TA-XT2i acoplado à célula e lâmina de *Warner-Bratzler*, sendo a média de seis repetições o valor da força de cisalhamento para cada sub amostra. As velocidades usadas foram: velocidade de pré-teste de 5mm/seg., no teste de 2mm/seg. e no pós-teste de 5mm/seg. O aparelho foi programado para percorrer 25mm ao final das três fases do procedimento (Bridi Silva, 2006).

7) % PSE: As carcaças que tiverem, no músculo LD, valores de L\* maiores que 50, perdas de água por exsudação maiores que 5%, pH inicial inferior a 5,8 e pH final igual ou menor que 5,6 serão classificadas como PSE (Warner et al., 1997). Este músculo é escolhido como indicador por seu grande tamanho, fácil acesso e pelo fato dos outros músculos exibirem variações qualitativas similares às dele (Warner et al., 1993a).

### **3.6. Análises estatísticas**

Os dados de desempenho e das características qualitativas da carne foram analisados utilizando-se o pacote computacional SAEG (UFV, 2000). Para as variáveis de ganho de peso diário, conversão alimentar e rendimento de carcaça utilizou-se o peso inicial dos animais como co-variável. As médias obtidas foram comparadas pelo teste Duncan ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Desempenho**

Os dados de ganho de peso diário, conversão alimentar e rendimento de carcaça em função dos tratamentos são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Ganho de peso diário, conversão alimentar e rendimento de carcaça de suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate

	Controle	Magnésio	Creatina	Mg + Creatina	CV (%)
Ganho de peso (kg/dia)	1,00	0,93	0,92	0,98	8,21
Conversão alimentar (kg/g)	2,31	2,48	2,54	2,34	9,06
Rendimento de carcaça (%)	79,13	79,92	79,63	79,02	1,52

Os resultados de desempenho não foram afetados pelos tratamentos. Existem algumas possíveis explicações para a ausência de ganho de peso diferenciado para os animais suplementados com CMH neste experimento: o período de suplementação pode ter sido pequeno; os suínos nesta idade e peso têm uma tendência para depositar gordura em detrimento do tecido muscular; a ingestão de grandes doses de creatina por humanos usualmente é acompanhada por exercícios físicos, o que leva a uma hipertrofia muscular. Greenhaff (1996) notou que 20 a 30% de indivíduos ingerindo creatina não mostram resposta ao tratamento.

Esses resultados estão de acordo com os resultados de O'Quinn et al. (2000b) que não observaram diferenças significativas no GPD, no consumo e na eficiência alimentar dos suínos tratados com sulfato de magnésio ( $MgSO_4$ ), equivalente a 7,75 g de Mg/animal/dia, durante sete dias antes do abate. Assim como Apple et al. (2000) não obtiveram efeitos sobre os mesmos parâmetros de desempenho e sobre o peso da carcaça quente, quando suplementaram 120 machos e 120 fêmeas com 0, 1,25 e 2,50% de magnésio mica (MM) dos 66,0 kg aos 102,3 kg de peso vivo.

Do mesmo modo Hamilton et al. (2002), avaliando diferentes períodos (0, 2, 3 e 5 dias) de suplementação de 3,2 g/animal/dia de sulfato de magnésio heptahidratado, não encontraram diferenças entre os tratamentos para peso inicial e final, GPD e consumo para 144 suínos (50 machos e 94 fêmeas) com uma dieta restrita para 2,75 kg de ração/animal/dia. Além disso, os dados de rendimento de carcaça estão em concordância com o presente trabalho onde nenhuma diferença foi detectada entre os tratamentos.

Os resultados estão de acordo com os encontrados por Berg & Allee (2001) num estudo utilizando 24 suínos, com peso vivo médio inicial de 107 kg. Os animais foram suplementados com 25 g de creatina monohidratada (CMH) durante 0, 5 e 10 dias antes do abate.

Da mesma maneira O'Quinn et al. (2000a) encontraram apenas aumentos numéricos ( $P=0.11$ ) no ganho de peso e na eficiência alimentar durante um período de 10 dias de suplementação com 25 g de CMH, em um experimento realizado com 80 suínos pesando em média 107,5 kg.

Stahl et al. (2001) suplementaram 59 suínos, de aproximadamente 107,8 kg, com 20 g de CMH por 0, 5, 10 e 15 dias e observaram um efeito quadrático para o GPD (controle:1,12; 5d:0,94; 10d: 1,05;15d:1,13 kg/d). Esses valores foram similares aos encontrados por Berg & Allee (2001).

Por outro lado, Maddock et al.(2002) num experimento realizado com 29 suínos pesando 110 kg em média, observaram que os animais que receberam 25g de CMH durante cinco dias ganharam 34% a mais de peso (6,69 kg vs 4,36 kg;  $P=0,045$ ) do que os animais do grupo controle. Os autores atribuem o aumento no peso corporal à retenção de água no tecido muscular. Berg et al. (1999) relataram que suínos suplementados com 25 g de CMH/dia durante dez dias tiveram uma diminuição da razão proteína:umidade no músculo *Semimembranosus* e a hipótese é que isto foi devido à hidratação miofibrilar.

## 4.2. Características Qualitativas da Carne

### 4.2.1. pH e Temperatura

Os resultados referentes às médias dos valores do pH e da temperatura encontram-se na tabela 4.

Tabela 4 - Valores de pH e temperatura do músculo *Longissimus dorsi* na altura da 12<sup>a</sup> vértebra torácica, aos 45 minutos e 24 horas após o abate dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate

	Controle	Magnésio	Creatina	Mg + Creatina	CV (%)
<b>pH 45 min</b>	6,06 <sup>b</sup>	6,21 <sup>a</sup>	6,21 <sup>a</sup>	6,25 <sup>a</sup>	1,81
<b>pH 24 h</b>	5,53 <sup>b</sup>	5,69 <sup>a</sup>	5,58 <sup>ab</sup>	5,70 <sup>a</sup>	1,83
<b>Temp. 45 min</b>	32,35	32,15	34,57	33,00	7,03
<b>Temp. 24 h</b>	4,91	5,00	5,01	4,80	14,72

<sup>a,b</sup>: Médias seguidas de letras distintas na mesma linha são estatisticamente diferentes pelo teste Duncan.

Houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para os valores de pH aos 45 minutos após o abate. Todos os animais suplementados apresentaram um valor superior deste parâmetro em relação ao grupo controle. Em adição, na medida de pH às 24 horas após o abate, os tratamentos T2 e T4 apresentaram um aumento significativo ( $P < 0,05$ ) em relação ao grupo controle, que apresentou o valor de pH inferior aos demais tratamentos. Os animais do T3 apresentaram valores de pH final da carne semelhante aos demais tratamentos.

Os dados de pH inicial também estão de acordo com os resultados encontrados por Maddock et al. (2002). Os autores obtiveram um valor de pH inicial maior ( $P < 0,05$ ) no músculo *Semimembranosus* dos animais que receberam a suplementação de 25 g de CMH por cinco dias pré-abate (6,2 vs 5,9). Porém, o pH final não foi afetado pelo tratamento.

Greenhaff (1996) constatou que humanos suplementados com 20 g de CMH por 5 ou 6 dias aumentaram a concentração de creatina-fosfato em 25%. Altos níveis de creatina-fosfato provêm maior quantidade de substrato para a refosforilação do ADP em ATP e isto pode resultar em atraso na conversão metabólica da glicose em ácido láctico nos músculos logo após o abate.

Existem dois processos distintos que proporcionam o reabastecimento intracelular

de ATP: a fosforilação oxidativa (aeróbia) e a anaeróbia. Nesta última, o ATP é regenerado a partir da fosfocreatina e das reservas locais de glicogênio. A suplementação de creatina fornece o substrato ideal para a refosforilação do ATP para o provimento de energia para o músculo retardando o uso da via glicolítica e, com isso, o aparecimento do ácido láctico e a conseqüente queda do pH.

Os achados deste experimento estão de acordo com os resultados obtidos por D'Souza et al. (1998). Esses autores suplementaram 48 suínos com 40 g de aspartato de Mg (3,2 g de Mg/dia) por um período de cinco dias pré abate, sendo os animais submetidos a um manejo mínimo e um manejo negativo (estressante). Foi observado um aumento significativo do valor de pH inicial e final para os animais suplementados com Mg em ambos os tipos de manejo quando comparados com os animais do grupo controle. Do mesmo modo, Hamilton et al. (2003) constataram que os animais suplementados com Mg por um dia apresentaram maior ( $P < 0,05$ ) pH final (5,55) que o grupo controle (5,50).

Berg & Allee (2001) constataram um aumento significativo para o pH 24 horas (ou final) para o grupo suplementado com 25 g de CMH por 10 dias (5,76 vs 5,58 e 5,55) em relação ao grupo controle e o grupo tratado por 5 dias, respectivamente.

Entretanto, em um estudo semelhante, Berg et al. (2003) não observaram diferenças significativas para os valores de pH aos 45 minutos e 24 horas pós-morte nos músculos *Longissimus dorsi* e *Semimembranosus* provenientes de suínos com peso inicial médio de 107 kg, suplementados com 24 g de CMH durante cinco dias antes do abate. Esses dados também estão em concordância com O'Quinn et al. (2000a) que, avaliando o efeito da suplementação de 25 g de CMH durante 10 dias antes do abate em suínos pesando aproximadamente 107,5 kg, não observaram diferenças significativas para o pH 24 horas no músculo *Longissimus dorsi* entre os tratamentos. Também Stahl et al. (2001) não constataram diferenças estatísticas para o mesmo parâmetro no músculo *Gluteus medius* dos suínos tratados com 20 g de CMH durante 0, 5, 10 e 15 dias.

Geesink et al. (2004), vanLaack (2000), Hamilton et al. (2002), Apple et al. (2000), Schaefer et al. (1993) e D'Souza et al. (1999) também não encontraram diferenças significativas nos valores de pH inicial e/ou final para suínos suplementados com diversas fontes de Mg no período pré-abate. Em outro experimento, D'Souza et al. (2000) obtiveram um maior ( $P < 0,05$ ) pH inicial para os suínos suplementados com 1,6 g de MgAsp (6,59) em relação aos suplementados com 3,2 g de MgAsp (6,51) porém, não houve diferença significativa no pH inicial e no pH final entre os animais suplementados com MgAsp e MgSO<sub>4</sub> com os animais sem suplementação.

Pesquisas anteriores sugerem que a magnitude da resposta ao tratamento com Mg sobre a qualidade da carne suína deve estar relacionada com a susceptibilidade ou

resistência ao estresse dos animais do experimento. Champion et al. (1971) citado por Apple et al. (2000), relataram que o pH muscular inicial e final foi maior em suínos susceptíveis ao estresse que receberam injeção intravenosa de cloreto de Mg imediatamente antes do abate, enquanto que o pH muscular não foi afetado pelo mesmo tratamento nos suínos resistentes ao estresse.

Não houve diferença significativa para os valores das temperaturas medidas aos 45 minutos e às 24 horas após o abate para nenhum dos tratamentos. Estes dados estão de acordo com os obtidos por Maddock et al. (2002) que avaliando o efeito da suplementação de 25 g de CMH durante cinco dias antes do abate não observaram diferenças significativas para estes parâmetros medidos no músculo *Semimembranosus*.

Entretanto, Schaefer et al. (1993) trabalhando com 318 suínos (machos e fêmeas) analisaram o efeito da suplementação de aspartato de magnésio (MgAsp). Foi observado que o grupo tratado com 20 g de MgAsp reduziu significativamente a temperatura inicial (45 minutos). Esta redução na temperatura sugere que a velocidade de glicólise no músculo *post mortem* foi reduzida e, com isso, menor calor foi produzido.

#### 4.2.2. Cor

Os resultados referentes às médias dos valores de L\*, a\* e b\* encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 - Avaliações instrumentais da cor realizadas no músculo *Longissimus dorsi* dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate

	Controle	Magnésio	Creatina	Mg + Creatina	CV (%)
L*(Luminosidade)	44,17 <sup>a</sup>	41,95 <sup>b</sup>	44,70 <sup>a</sup>	43,01 <sup>ab</sup>	3,60
a*(vermelho a verde)	14,33 <sup>b</sup>	14,52 <sup>b</sup>	15,55 <sup>a</sup>	15,87 <sup>a</sup>	4,84
b*(amarelo a azul)	7,28	7,56	7,42	7,62	6,87

<sup>a,b</sup>: Médias seguidas de letras distintas na mesma linha são estatisticamente diferentes pelo teste Duncan.

Não houve diferença significativa para os valores de L\* entre os animais suplementados com creatina (T3) e os animais sem suplementação (T1). Esses resultados concordam com os resultados encontrados por Berg & Allee (2001). Esses pesquisadores suplementaram suínos com 25 g de CMH durante 0, 5 e 10 dias antes do abate e não observaram diferença significativa para os valores de cor entre os tratamentos. Estão de acordo também com os achados de Stahl et al. (2001), O'Quinn et al. (2000), Berg et al. (2003) e Maddock et al. (2002) que não constataram efeito da suplementação de CMH sobre os parâmetros de cor.

Entretanto, os suínos tratados com Mg (T2) apresentaram um menor valor de L\*, ou seja, carne menos pálida quando comparados com os animais do T1 e do T3. Todavia, os animais suplementados com uma associação de magnésio e creatina (T4) mostraram um valor intermediário para a luminosidade (L\*). Estes dados estão de acordo com os resultados encontrados por Hamilton et al. (2002) onde o menor valor de L\* foi obtido nos animais tratados por dois dias com sulfato de magnésio (3,2g de Mg) em relação aos animais do grupo controle. Também D'Souza et al. (1998) e D'Souza et al. (2000) obtiveram os maiores valores de L\*, ou seja, uma carne mais pálida, para os animais do grupo controle quando comparados com todos os outros tratamentos com Mg.

Hamilton et al. (2003) testando várias fontes, níveis e períodos de suplementação de Mg, obtiveram um valor de L\* menor para os animais suplementados com o proteinato e com o sulfato de Mg em comparação com o grupo controle, enquanto os tratados com propionato tiveram um valor de L\* intermediário. Corroborando os resultados do trabalho citado anteriormente, Swigert et al. (2004) encontraram o menor valor de L\* (carne menos pálida) nos animais tratados com Mg quando comparados com os animais

tratados com vitamina E, vitamina D<sub>3</sub> e suas associações.

Geesink et al. (2004) compararam o efeito da suplementação de Mg em animais com e sem período de descanso antes do abate. Esses autores constataram que os animais do grupo controle, não submetidos ao período de descanso, apresentaram um aumento no valor de L\* (carne mais pálida) em relação aos animais sem descanso que foram suplementados com Mg. Isto sugere que este tratamento previne os efeitos negativos da falta do período de descanso sobre a cor da carne. Contradizendo esses resultados, estão os achados de vanLaack (2000) e O'Quinn et al. (2000), os quais não observaram nenhuma diferença significativa entre os parâmetros de cor em suínos suplementados com Mg antes do abate.

Houve diferença significativa no valor de a\*(quantidade de vermelho) em decorrência dos tratamentos. Os animais do grupo T3 e T4 apresentaram maiores valores de a\*, ou seja, a carne proveniente desses animais mostrou-se mais avermelhada. Entretanto, Schaefer et al. (1993) suplementaram 90 suínos (machos e fêmeas) com 20 e 40 g de MgAsp e observaram que o valor de a\* (carne mais vermelha) foi maior para os animais tratados com 20 g de MgAsp. Do mesmo modo, Apple et al. (2000) verificaram um valor de a\* superior para os animais suplementados com magnésio mica (MM) quando comparados com os animais sem nenhuma suplementação (grupo controle). Ainda de acordo com esta mesma tabela, nenhuma diferença significativa foi constatada para os valores de b\*.

#### **4.2.3. Perda por Exsudação (PE) e Perda por Cozimento (PC)**

Os resultados referentes às médias percentuais de perda por exsudação (PE) e perda por cozimento (PC) encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 - Percentuais de perda por exsudação (PE) e perda por cozimento (PC) das carnes dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate

	Controle	Magnésio	Creatina	Mg + Creatina	CV (%)
Perda por exsudação (%)	6,33	6,72	6,75	6,52	13,61
Perda por cocção (%)	29,32	27,44	27,36	30,80	13,32

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a perda por exsudação (PE) e a perda por cozimento (PC). Esses resultados estão de acordo com os achados de O'Quinn et al. (2000a), Berg et al. (2003) e Berg & Allee (2001) ao tratarem suínos com CMH. Os resultados observados neste experimento também confirmam os resultados encontrados por O'Quinn et al. (2000b), Geesink et al. (2004), Apple et al. (2001), Apple et al. (2000) e Swigert et al. (2004) ao suplementaram suínos com diversas fontes de Mg.

Por outro lado, Hamilton et al. (2003) constataram que os animais suplementados com o sulfato de Mg apresentaram a menor PE (6,0%) em relação ao grupo controle (7,5%). Do mesmo modo, D'Souza et al. (1999) comparando três fontes de Mg (sulfato, aspartato e cloreto) na suplementação dietética de suínos, durante cinco dias antes do abate, observaram que os suínos suplementados com Mg, independente da fonte, apresentaram valores menores de PE quando comparados com o grupo controle.

Schaefer et al. (1993) utilizando 82 suínos (machos e fêmeas) com peso inicial médio de 108,7 kg também encontraram uma significativa redução na porcentagem de PE

para os suínos suplementados com 40 g de MgAsp.

Em outro estudo, D'Souza et al. (2000) observaram que os suínos do grupo controle apresentaram uma maior PE (6,2%) do que os animais suplementados com sulfato (4,4%) e aspartato (4,0%) de Mg em ambos os níveis (1,6 e 3,2 g de Mg) e períodos (2 e 5 dias pré-abate). Entretanto, não houve diferença na perda por cozimento (PC) entre os animais do grupo controle e os tratados. Os valores de PE encontrados por D'Souza et al. (1998), ao suplementarem 48 suínos com 40 g de MgAsp durante cinco dias antes do abate, foram maiores nos animais do grupo controle (6,4%) em relação aos animais tratados (3,5%).

Comparando os animais suplementados durante 0, 2, 3 e 5 dias pré-abate com 3,2g de Mg, Hamilton et al. (2002) obtiveram para os animais tratados por dois e cinco dias uma menor PE (7,29% e 7,41%, respectivamente) quando comparados com os do grupo controle (8,89%). Os animais suplementados por três dias obtiveram um valor intermediário para PE (7,89%).

#### 4.2.4. Força de Cisalhamento (WBSF)

Os resultados referentes às médias da força de cisalhamento (*Warner-Bratzler Shear Force*) encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 - Força de cisalhamento para as amostras do músculo *Longissimus dorsi* dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate

	Controle	Magnésio	Creatina	Mg + Creatina	CV (%)
WBSH	4,2	4,5	4,8	5,1	11,70

Os valores de força de cisalhamento ou *Warner-Bratzler Shear Force* não foram influenciados significativamente pelos tratamentos.

Os resultados estão de acordo com os encontrados por Swigert et al.(2004), D'Souza et al (2000), Apple et al. (2001), Schaefer et al. (1993) e vanLaack (2000) que suplementaram suínos com fontes de Mg. Nenhuma evidência tem sido produzida para sugerir que a suplementação com Mg interfira na proteólise pós-morte e no amaciamento.

Ausência de diferenças para este parâmetro entre os tratamentos também foram encontradas por Berg et al. (2003), Stahl et al. (2001), O'Quinn et al. (2000a) e Maddock et al. (2002) quando suplementaram suínos com CMH.

Entretanto, os valores das médias deste experimento mostram-se maiores do que os valores apresentados nos trabalhos anteriores. Isso pode ser explicado pelo fato de que, neste experimento, foram utilizadas amostras de carnes frescas, ou seja, não foram submetidas a nenhum processo de maturação, o que em parte, pode justificar os maiores valores obtidos para a força de cisalhamento

no presente estudo do que os encontrados por outros autores.

Possivelmente, outra explicação poderia residir no fato de que o aumento da disponibilidade de creatina fosfato deve prolongar a disponibilidade intramuscular de ATP e, com isso, há energia suficiente para o cálcio ser bombeado para dentro do RS mesmo logo após o abate. O cálcio seqüestrado dentro do RS se torna menos disponível para a ativação de proteases Ca<sup>2+</sup> dependentes no período pós-morte, reduzindo desta forma a eficiência destas em relação ao amaciamento; amolecimento *post mortem*.

Contrariando esses resultados, D'Souza et al. (2000) encontraram maiores valores de WBSF para os suínos suplementados com 3,2 g de Mg nos dois períodos (2 e 5 dias) do que para os suínos que receberam 1,6 g de Mg (P=0,046) nos mesmos períodos.

#### 4.2.5. Porcentagem de PSE

Os resultados referentes às médias do pH inicial, pH final, cor L\* e perda por exsudação (PE) das carnes dos suínos encontram-se na tabela 8.

Tabela 8 – Valores do pH inicial, pH final, cor L\* e perda por exsudação (PE) das carnes dos suínos tratados com magnésio e creatina por cinco dias antes do abate

	<b>T1 Controle</b>	<b>T2 Magnésio</b>	<b>T3 Creatina</b>	<b>T4 Mg + Creatina</b>	<b>CV (%)</b>
<b>pH inicial</b>	6,06	6,21	6,21	6,25	1,81
<b>pH final</b>	5,53	5,69	5,58	5,70	1,83
<b>Cor L*</b>	44,17	41,95	44,70	43,01	3,60
<b>PE</b>	6,33	6,72	6,75	6,52	13,61

De acordo com a classificação descrita por Warner et al. (1997), nenhum tratamento apresentou carcaças PSE. Apesar da PE ter sido maior que 5% em todos os tratamentos,

os outros parâmetros estão dentro da normalidade. Isto pode ser dado pelo fato da temperatura ambiente no dia da análise estar um pouco elevada.

## 5. CONCLUSÕES

A suplementação dietética de sulfato de magnésio ( $MgSO_4$ ), creatina monohidratada (CMH) e uma associação de ambos para suínos durante cinco dias antes do abate não afeta os dados de desempenho, PE, PC, WBSF e porcentagem de PSE.

A suplementação dietética de  $MgSO_4$  e de creatina associada ao magnésio para suínos durante cinco dias antes do abate aumenta o pH final e melhora a cor da carne fresca.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA-ABIPECS. Relatório ABIPECS 2005. Disponível em: [www.abipecs.com.br](http://www.abipecs.com.br) Acessado em 12/09/2006.

APPLE, J.K.; MAXWELL, B.R.; WATSON, H.B.; JOHNSON, Z.B. Effect of magnesium mica on performance and carcass quality of growing-finishing swine. *Journal Animal Science*, v.78, n.8, p.2135-2143, 2000.

APPLE, J.K.; DAVIS, J.R.; RAKES, L.K.; MAXWELL, C.V.; STIVARIUS, M.R.; POHLMAN, F.W. Effects of dietary magnesium and duration of refrigerated storage on the quality of vacuum-packaged, boneless pork loins. *Meat Science*, v.57, n.1, p.43-53, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estatísticas – Agronegócio Brasileiro, 2003. Disponível em: [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br) Acesso em: 26/11/2006.

BRIDI, A.M.; SILVA, C.A. Métodos de avaliação da carcaça e da carne suína. Londrina: Midiograf, 2006. p.21-32.

BERG, E.P.; ALLEE, G.L. Creatine monohydrate supplemented in swine finishing diets and fresh pork quality: I. A

controlled laboratory experiment. *Journal Animal Science*, v.79, p.3075-3080, 2001.

BERG, E.P.; MADDOCK, K.R.; LINVILLE, M.L. Creatine monohydrate supplemented in swine finishing diets and fresh pork quality: III. Evaluating the accumulative effect of creatine monohydrate and alpha-lipoic acid. *Journal Animal Science*, v.81, p.2469-2474, 2003.

BERG, E.P.; SPENCER, J.D.; ALLEE, G.L. Dietary supplementation of creatine monohydrate in swine finishing diets improves fresh pork quality. *Journal Animal Science*, v.77, suppl. 1, p. 87, 1999.

BREWER, M.S.; McKEITH, F.K. Consumer-rated quality characteristics as related to purchase intent of fresh pork. *Journal of Food Science*, v.64, n.1, p.171-174, 1999.

CORREIA, A.A.D. Bioquímica animal. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1976. p.775-803.

D'SOUZA, D.N.; WARNER, R.D.; DUNSHEA, F.R.; LEURY, B.J. Comparison of different dietary magnesium supplements on pork quality. *Meat Science*, v.51, n.3, p.221-225, 1999.

D'SOUZA, D.N.; WARNER, R.D.; LEURY, B.J.; DUNSHEA, F.R. The effect of dietary aspartate supplementation on pork quality. *Journal Animal Science*, v.76, n.1, p.104-109, 1998.

D'SOUZA, D.N.; WARNER, R.D.; LEURY, B.J.; DUNSHEA, F.R. The influence of dietary magnesium supplement type, and supplementation dose and duration, on pork quality and the incidence of PSE pork. *Australian Journal Agricultural Research*, v. 51, n.2, p.185-189, 2000.

FORREST, J.C.; ABERLE, E.D.; HEDRICK, H.B.; JUDGE, M.D.; MERKEL, R.A. *Principles of meat science*. San Francisco: Ed. W.H. Freeman and Company, 1975. 402p.

- GARRIDO, M.D.; BAÑÓN, S. Medida del pH. In: CAÑEQUE, V.; SAÑUDO, C. (Coord.) *Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en ruminantes*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 2000. p.147-155.
- GEESINK, G.H.; van BUREN, R.G.C.; SAVENIJE, B.; VERSTEGEN, M.W.A.; DUCRO, B.J.; van der PALEN, J.G.P.; HEMKE, G. Short-term feeding strategies and pork quality. *Meat Science*, v.67, p.1-6, 2004.
- GREENHAFF, P.L. Creatine supplementation: Recent developments. *Br. J. Sports Med.*, v.30, p.276-277, 1996.
- HAMILTON, D.N.; ELLIS, M.; McKEITH, F.K.; EGGERT, J.M. Effect of level, source, and time of feeding prior to slaughter of supplementary dietary magnesium on pork quality. *Meat Science*, v.65, p.853-857, 2003.
- HAMILTON, D.N.; ELLIS, M.; HEMANN, M.D.; McKEITH, F.K.; MILLER, K.D.; PURSER, K.W. The impact of longissimus glycolytic potential and short-term feeding of magnesium sulfate heptahydrate prior to slaughter on carcass characteristics and pork quality. *Journal Animal Science*, v.80, n.6, p.1586-1592, 2002.
- HONIKEL, K.O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, v.49, n.4, p.447-457, 1998.
- MADDOCK, R.J.; BIDNER, B.S.; CARR, S.N.; McKEITH, F.K.; BERG, E.P.; SAVELL, J.W. Creatine monohydrate supplementation and the quality of fresh pork in normal and halothane carrier pigs. *Journal Animal Science*, v.80, n.4, p.997-1004, 2002.
- MITCHELL, G.; HEFFRON, J.J.A. Porcine stress syndromes. *Advances in Food Research*, v.28, p. 167-230, 1980.
- NUNES, I.J. *Nutrição animal básica*. 2.ed. Belo Horizonte: FEP-MVZ, 1998. 399p.
- NRC NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrition Requirements of Swine*. 10<sup>a</sup> ed. Washington: National Academy Press, 1998. 58p.
- OFFER, G. Modeling of the formation of pale, soft, and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, v.30, p.157-169, 1991.
- O'QUINN, P.R.; ANDREWS, B.S.; GOODBAND, R.D.; UNRUH, J.A.; NELSSSEN, J.L.; WOODWORTH, J.C.; TOKACH, M.D.; OWEN, K.Q. Effects of modified tall oil and creatine monohydrate on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing pigs. *Journal Animal Science*, v.78, n.9, p.2376-2382, 2000a.
- O'QUINN, P.R.; NELSSSEN, J.L.; UNRUH, J.A.; GOODBAND, R.D.; WOODWORTH, J.C.; TOKACH, M.D. Effects of feeding modified tall oil and supplemental potassium and magnesium on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, v.80, n.3, p.443-449, 2000b.
- OLIVEIRA, A.L. Maciez da carne bovina. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, n.33, p7-18, 2000.
- PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. *Ciência, higiene e tecnologia da carne*. Goiânia: EDUFF/UFV, 1993. v.1. 586p.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. *Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais*. Viçosa: UFV, 2000. 141p.
- SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Versão 8.1, 2000.

- SCHAEFER, A.L.; MURRAY, A.C.; TONG, A.K.W.; JONES, S.D.M.; SATHER, A.P. The effect of ante mortem electrolyte therapy on animal physiology and meat quality in pigs segregating at the halothane gene. *Canadian Journal of Animal Science*, v.73, n.2, p.231-240, 1993.
- SILVEIRA, E.T.F. Técnicas de abate e seus efeitos na qualidade da carne suína. Campinas: Unicamp/FEA, 247 p, 1997.
- SOUSA, R.V.; SILVA, H.O.; CARNEIRO, D.O. Suinocultura: Enriquecimento da dieta de suínos com ácidos graxos poliinsaturados: efeito na qualidade da carne. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, n.42, p71-86, 2003.
- STAHL, C.A.; ALLEE, G.L.; BERG, E.P. Creatine monohydrate supplemented in swine finishing diets and fresh pork quality: II. Commercial applications. *Journal Animal Science*, v.79, p.3081-3086, 2001.
- STRYER, L. *Bioquímica*, 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 1000p.
- SWENSON, M.J.; REECE, W.O. (Eds.) *Dukes Fisiologia dos animais domésticos*. 11.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 856p.
- SWIGERT, K.S.; McKEITH, F.K.; CARR, T.C.; BREWER, M.S.; CULBERTSON, M. Effects of dietary vitamin D3, vitamin E, and magnesium supplementation on pork quality. *Meat Science*, v.67, p.81-86, 2004.
- UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. The mineral nutrition of livestock. 3.ed. Oxon:CABI, 1999. 603p.
- VAN LAACK, R. The effect of magnesium supplementation on pork quality. *Journal Animal Science*, v.78, suppl. 1, p.154, 2000.
- WARNER, R.D.; KAUFFMAN, R.G.; GREASER, M.L. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat Science*, v.45, n.3, p.339-352, 1997.
- WARNER, R.D.; KAUFFMAN, R.G.; RUSSELL, R.L. Quality attributes of major porcine muscles: a comparison with the *Longissimus lumborum*. *Meat Science*, v.33, n.3, p.359-372, 1993.