

MANIPULAÇÃO DO NÚMERO E TIPO DE FIBRA MUSCULAR E A PRODUÇÃO DE CARNE SUÍNA

BRIDI, Ana Maria; SILVA Caio Abércio; HIOSHI, Edgard Hideaki
Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Londrina

1. Introdução

A carne é composta por tecido adiposo, conjuntivo e muscular sendo que este último é o maior componente da carne. A massa muscular produzida por um animal e a velocidade de crescimento depende do número de fibras musculares (hiperplasia) que compõe um músculo e do diâmetro de cada fibras (hipertrofia). A qualidade da carne produzida está diretamente influenciada pela freqüência de ocorrência de cada tipo de fibra muscular que formam o músculo, que serão determinantes no metabolismo *pós-mortem* de transformação do músculo em carne. O entendimento de como ocorre e de como pode ser manipulados o crescimento e desenvolvimento do tecido muscular esquelético e muito importante para a produção econômica de carne de qualidade.

A multiplicação do número de fibras musculares (hiperplasia) ocorre na fase fetal, e o número de fibras está completo ao nascimento do animal. O crescimento pós-natal da massa muscular ocorre pela hipertrofia das células pré-existentes. Esse crescimento ocorre inicialmente no sentido longitudinal, resultando no aumento do número de sarcômeros e, posteriormente pelo aumento no diâmetro das fibras, pelo aumento na deposição de proteínas miofibrilares.

O tecido muscular é composto basicamente por três tipos de fibras musculares: oxidativas de contração lenta (Tipo I, vermelhas e aeróbicas), intermediárias de contração rápida (Tipo II B, oxidativas glicolíticas) e as glicolíticas de contração rápida (Tipo II A, brancas, anaeróbicas). As características fisiológicas e metabólicas e o tamanho final do tecido muscular, uma vez cessado o crescimento, dependem grandemente da proporção dos tipos

de fibras. A frequência de ocorrência de cada tipo de fibras no músculo é influenciada pela genética, nutrição e manejo dos animais.

O objetivo deste trabalho é revisar os aspectos histológicos e fisiológicos do crescimento e desenvolvimento da musculatura dos animais zootécnicos destinados à produção de carne e apontar como este conhecimento pode ajudar a aumentar a produção de carne, bem como, melhorar a sua qualidade.

2. Miogênese

A miogênese é o processo de desenvolvimento embrionário do tecido muscular. A fase de hiperplasia (multiplicação das fibras musculares) nos mamíferos ocorre na fase de gestação e o número de fibras é fixado por ocasião do parto ou rapidamente após este. Um pequeno aumento no número de células observado por alguns autores após o nascimento dos animais, pode ser devido a maturação de miotubos pré-existentes ou de grupos de fibras não identificadas.

Os mioblastos se desenvolvem a partir de células do mesênquima, que é o tecido conectivo embrionário do mesoderma de origem. Os mioblastos são células uninucleadas e mitoticamente ativas. Em um segundo estágio do desenvolvimento, os mioblastos fundem-se entre si formando os miotubos. Aparentemente, após os mioblastos serem incorporados pelos miotubos, os núcleos perdem a capacidade de se dividir.

Os fatores regulatórios da miogênese são proteínas que funcionam primariamente como ativadoras da transcrição, se ligando ao DNA (ácido desoxirribonucléico) através de sítios específicos conhecidos como E-box, onde controlam os eventos da miogênese. Os quatro fatores até então conhecidos são *MyoD*, a *Miogenina*, *Myf-5* e a *MRF4*. O entendimento do modo de ação destes fatores pode levar a manipulação gênica do processo de miogênese.

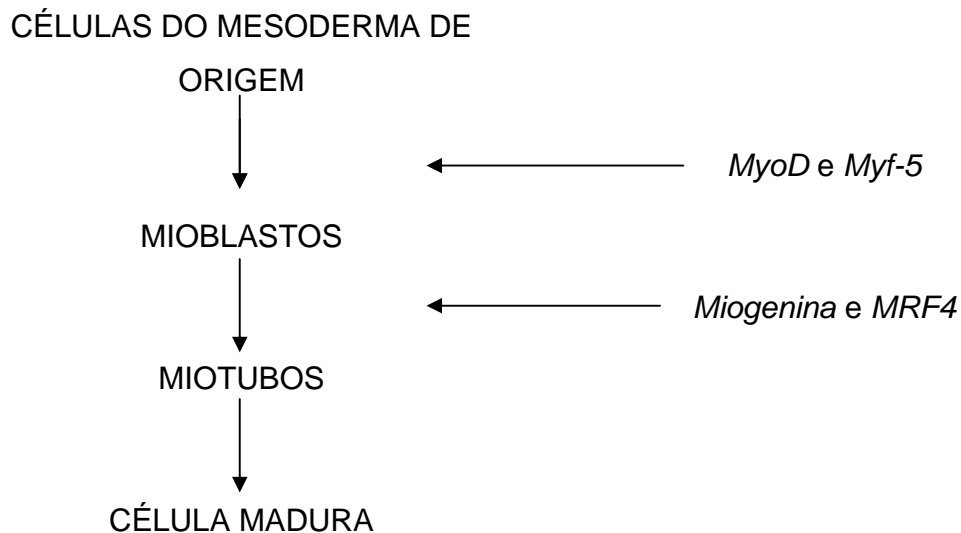


Figura 1: Esquema simplificado das vias e dos fatores de regulação da miogênese.

Fatores de crescimento também atuam na regulação positiva ou negativa do processo de miogênese. Uns dos fatores de crescimento muito conhecidos são as Somatomedinas também conhecidas como Fatores de Crescimento Semelhante à Insulina (IGF). As somatomedinas atuam diretamente nos processos de crescimento e desenvolvimento das fibras musculares, tanto na fase de hiperplasia como de hipertrofia, provavelmente por estar associado à indução da *Miogenina*.

Durante a miogênese as fibras musculares se desenvolvem em duas populações distintas. As fibras que se formam nos primeiros estágios da fusão dos mioblastos são denominadas de fibras primárias e formam um arcabouço para o desenvolvimento de um grande número de células secundárias, formadas durante a segunda onda de diferenciação dos mioblastos fetais. Uma terceira população

de mioblastos não forma fibras musculares, mas ficam localizadas próximas as miofibras, e são chamadas de células satélites.

Nos suínos, as fibras primárias estão presentes aos 35 dias gestação e seu número cresce gradualmente até o 60 dias. A formação das fibras secundárias ocorre rapidamente por volta do 54 a 90 dias de gestação (WIGMORE e STICKLAND, 1983), completando o processo de hiperplasia por volta de 90 dias de gestação. No músculo *Semidentinosus* dos suínos, em média, 20 fibras secundárias envolvem cada fibra primária.

As fibras primárias, em mamíferos, dão origem a células oxidativas de contração lenta (fibras vermelhas) enquanto que as secundárias originam células glicolíticas de contração rápida (fibras brancas). Não obstante, devido a desafios ambientais, pode ocorrer conversão de um tipo de célula para outro durante o período pós-natal.

As células satélites estão localizadas entre a membrana e a lâmina basal da fibra muscular. É uma célula mononucleada e mitoticamente ativa durante a fase de hipertrofia (se proliferam mesmo após a fase de crescimento muscular pós-natal). Durante o crescimento muscular ocorre um aumento considerável no número de núcleos das fibras musculares porque as células satélites são incorporadas pelas fibras musculares servindo como fonte extra de núcleo, aumentando a quantidade de DNA (ácido desoxirribonucléico) para a produção de proteína.

A quantidade de células satélites pode ser determinante para estipular o tamanho que cada músculo pode crescer. O número de células satélites no músculo varia com a idade, o tipo de músculo, a nutrição e a demanda de esforço. Em geral, os músculos oxidativos possuem uma maior densidade de células satélites que os músculos glicolíticos.

3. Hipertrofia celular

Durante o período de crescimento pós-natal do animal, o crescimento muscular ocorre somente por hipertrofia (aumento do tamanho da célula) principalmente pelo acréscimo de proteína e de núcleos originados da proliferação e fusão das células satélites a célula muscular.

A hipertrofia ocorre primeiramente no sentido longitudinal da fibra pelo aumento do número de sarcômeros e, posteriormente, ocorre um aumento do diâmetro pela deposição de proteínas miofibrilares. Portanto, o aumento do tamanho da fibra muscular está limitado por fatores genéticos e nutricionais que irão determinar a capacidade do músculo sintetizar proteínas musculares.

4. Número de fibras e a produção de carne

O controle da miogênese para aumentar o número de mioblastose de fibras musculares é uma estratégia importante quando se visa aumentar a massa muscular e a produção de carne.

O número de fibras musculares é característico nas diferentes raças e linhagens genéticas (McMEEKAN, 1940; STAUN, 1968; DAVIES, 1972) e é determinante na velocidade de crescimento dos animais (DWYER et al., 1993). Estudos recentes têm demonstrado que é possível alterar o número de fibras musculares através da nutrição, do uso de hormônios e da manipulação gênica.

Segundo Wigmore e Stickland (1993), as fibras primárias são resistentes a influência do ambiente, não aumentando seu número em função da nutrição ou hormônios, enquanto que as fibras secundárias são susceptíveis. Entretanto, Kim et al. (1994) constataram um aumento significativo no número de células primárias no músculo *Semitendinosus* de leitões cuja mãe recebeu o β -adrenérgico Salbutamol na ração durante os primeiros 21 dias de gestação.

Visando aumentar o número de fibras musculares de leitões através da manipulação nutricional Dwyer et al. (1994) verificaram melhores resultados quando o melhor aporte nutricional da progenitora ocorreu antes do aparecimento das fibras secundárias (25 a 50 dias de gestação), resultando no incremento de aproximadamente 13% do número de fibras musculares dos leitões.

Também Hoshi et al. (2005) observaram que o fornecimento do β -adrenérgico ractopamina para porcas gestantes no período pré-hiperplásico (entre 25 a 50 dias de gestação) aumentou em 6,8% o número de células musculares da prole.

Quando o aporte nutricional da fêmea em gestação melhora, via nutrição ou pelo uso de substâncias repartidoras de nutrientes, ocorre um melhor aporte de glicose e aminoácidos para a placenta e para o feto. Este fato estimula a liberação de IGF que é importante na regulação da hiperplasia muscular por estimular a proliferação mioblástica (Stickland, 1996).

Animais com baixo número de fibras musculares invariavelmente cresceram menos do que animais com alto número de fibras, indicando que o maior número é um pré-requisito para um bom crescimento (DWYER et al., 1993).

Handel e Stickland (1988) avaliaram o peso ao nascimento, o número de fibras musculares do músculo *Semitendinosus* de suínos, sua relação com a taxa de crescimento e o peso ao abate e concluíram que animais com baixo peso ao nascer não são destinados a serem pequenos ao abate, desde que apresentem o mesmo número de fibras musculares que animais de maior peso ao nascimento. Os autores consideraram o número de fibras musculares um indicador do potencial de crescimento do suíno e concluíram que o peso ao nascer parece não ser um bom indicador do número total de fibras musculares e da taxa de crescimento pós-natal, pois animais de baixo peso ao nascer foram capazes de atingir peso ao abate e a mesma taxa de crescimento de animais que possuíam maior peso ao nascer, desde que apresentassem o mesmo número de fibras musculares.

Para pesos vivos equivalentes, suínos com alto número de fibras musculares apresentaram menor diâmetro de suas fibras, comparados com animais com baixo número de fibras (DWYER et al., 1993). Entretanto, o transporte de oxigênio e de nutrientes e a remoção de resíduos parecem ser mais eficiente em fibras compactas do que nas mais espaçadas, porque envolve uma menor distância de difusão (STAUN, 1968).

Quando Hegarty e Allen (1978) compararam leitões leves e pesados ao nascimento até 106 Kg de peso vivo, verificaram que os leitões leves ao nascimento apresentavam fibras musculares com maiores diâmetros em dois de cada quatro músculos estudados e menor peso muscular, porém com semelhante comprimento muscular e ósseo.

Estudos com leitões leves ao nascer (POWELL e ABERLE, 1980) e com suínos com alta deposição de gordura (HAUSMAN et al., 1983) mostraram que ambos apresentaram menor número de fibras musculares, mais gordura na carcaça e cresceram com menor eficiências quando comparados com animais de peso normal e magro. A deposição de gordura parece estar inversamente correlacionada com o número total de fibras musculares em suínos (STICKLAND e GOLDSPINK, 1975). Isto pode explicar a melhor eficiência de crescimento dos animais de maior número de fibras musculares (DWYER et al., 1993).

Blunn et al. (1953) observaram que em suínos, somente após os 70 dias de idade ou 25 Kg de peso vivo a taxa de crescimento é determinada pelo genótipo. Antes dos 70 dias, Dwyer et al. (1993) observaram alta correlação positiva entre o peso ao nascer e o ganho diário de peso no período entre 6 e 25 Kg de peso, entretanto, não houve correlação para as fases posteriores até o abate, confirmando os achados de Blunn et al. (1953).

Estudando o desempenho de suínos, Dwyer et al. (1993) verificaram uma correlação positiva entre o ganho diário de peso e a relação fibras secundárias/primárias no período de 25 a 80 Kg de peso vivo. Também existiu correlação entre a conversão alimentar e o número de fibras musculares. Os

autores concluíram que o peso ao nascer teve correlação positiva com a taxa de crescimento somente nos estágios mais iniciais do crescimento do suíno e, no período mais tardio do crescimento, após 70 dias, pareceu ser determinado pelo número de fibras musculares, ou seja, pelo genótipo do animal.

A análise da correlação entre o número de células no músculo *Semitendinosus* e as variáveis peso vivo ao abate, peso da carcaça, profundidade do músculo *Longissimus dorsi* e rendimento de carcaça realizadas por HOSHI et al. (2005) foram positivas e altas (0,80; 0,86; 0,67 e 0,50, respectivamente), demonstrando que o maior número de fibras musculares no músculo *Semitendinosus* pode melhorar a taxa de crescimento do animal e o rendimento de carcaça.

5. Tipos de Fibras Musculares

Embora as fibras musculares esqueléticas possuam grande semelhanças entre si, em um sentido geral, o músculo é um tecido muito heterogêneo, formado por fibras que variam na atividade da ATPase da miosina, na velocidade de contração e em outras propriedades

O tecido muscular é composto basicamente por três tipos de fibras musculares: oxidativas de contração lenta (SO – Slow oxidative, Tipo I, vermelhas e aeróbicas), intermediárias de contração rápida (FOG – Fast oxidative and glycolytic, Tipo II B, oxidativas glicolíticas) e as glicolíticas de contração rápida (FG – fast glycolytic, Tipo II A, brancas, anaeróbicas).

As características fisiológicas e metabólicas e o tamanho final do tecido muscular, uma vez cessado o crescimento, dependem grandemente da proporção dos tipos de fibras.

Os músculos que contêm muitas fibras do tipo I são chamados de músculos vermelhos, por serem mais escuros do que os outros músculos. Os músculos vermelhos, que respondem lentamente e têm grande latência, são adaptados para contrações duradoras, lentas, mantenedoras da postura. Os longos músculos do

dorso são músculos vermelhos. Os músculos brancos, que contêm maior número de fibras tipo II, têm abalos rápidos e são especializados para movimentos finos e dependentes de habilidade. Os músculos extra-oculares e alguns dos músculos da mão contêm muitas fibras do tipo II.

Tabela 1: Características das fibras musculares

	Vermelha Oxidativa Tipo I	Intermediária Oxidativa-Glicolítica Tipo II -A	Branca Glicolítica Tipo II -B
Metabolismo	Aeróbico	Aeróbico	Anaeróbico
Metabolismo Oxidativo	Abundante	Intermediário	Escasso
Metabolismo Glicolítico	Escasso	Médio	Abundante
Atividade ATPase	Baixa	Intermediária	Alta
Velocidade de Contração	Lenta	Rápida	Rápida
Fadiga	Lenta		Rápida
Queda de pH	Lenta		Rápida
Número de Mitocôndrias	Alto	Médio	Baixo
Tamanho de mitocôndria	Grande	Médio	Pequeno
Teor de Mioglobina	Alto	Alto	Baixo
Densidade capilar	Grande	Média	Pouca
Cor	Vermelha	Vermelhas	Branca
Diâmetro da Fibra	Pequeno	Médio	Grande
Comprimento Sarcômero	Longo	Curto	Curto
Tecido Conjuntivo	Pouco		Muito
Diferenciação	Precoce		Tardia
Função	Posteral	Movimento rápido	Movimento rápido
Conteúdo de glicogênio	Baixo	Intermediário	Alto
Conteúdo de Lipídio	Alto	Médio	Baixo

As fibras vermelhas tendem a ser menores, contêm mais mitocôndrias, concentrações maiores de mioglobina e lipídios e uma irrigação sangüínea mais abundante porque grande parte de sua energia provém do metabolismo aeróbico. Estas fibras estão adaptadas para a contração lenta por um longo período de tempo.

Os músculos brancos possuem maiores quantidades de glicogênios e enzimas relacionadas com a glicólise anaeróbica. Estas fibras estão adaptadas para a contração rápida por curto período de tempo. A concentração de mioglobina e é muito pequena nas células glicolíticas, como ocorre no músculo peitoral de frangos. Como a mioglobina armazena oxigênio para o metabolismo aeróbico, ele não é necessário nas fibras glicolíticas. Porém, o conteúdo de fosforilases nestas fibras é muito superior ao encontrado nas fibras oxidativas, visto que essas são necessárias para a degradação anaeróbica do glicogênio.

A atividade ATPásica da miosina das fibras glicolíticas em geral é duas a três vezes superior daquela da miosina das células oxidativas de contração lenta. Quanto maior a atividade ATPásica maior será a velocidade de contrátil. Também, as membranas reticulares sarcoplasmáticas das células glicolíticas acumulam e liberam os íons de cálcio com maior rapidez do que as mesmas membranas das células oxidativas.

Em geral, as fibras vermelhas e brancas desempenham funções distintas no animal vivo. As fibras vermelhas, devido ao bom suprimento de oxigênio e seu alto conteúdo de mioglobina, estão preparadas para o metabolismo oxidativo.

Estudando o músculo *Longissimus dorsi* e *Adductor* de suínos, Ruusunem e Puolanne (1997) verificaram que suínos da raça Hampshire e Landrace continham maior porcentagem de fibras do tipo glicolítica nesses músculos, quando comparados com os da raça Yorkshire. Entretanto, no músculo *Longissimus dorsi* as variações na porcentagem dos diferentes tipos de fibras foi pequena entre as

raças estudadas. Os autores verificaram que o músculo *Longissimus dorsi* de suínos da raça Landrace continha maior porcentagem de fibras do tipo oxidativa com menor área e também, uma menor porcentagem de fibras do tipo oxidativa-glicolítica com uma maior área que os da raça Yorkshire.

6. Tipo de fibras muscular e a qualidade da carne

A composição das fibras que compõem um músculo está diretamente relacionada com a qualidade final e as propriedades tecnológicas da carne.

A freqüência de ocorrência de cada tipo de fibras no músculo é influenciada pela genética, gênero, maturidade, nutrição e manejo dos animais.

Estudos têm demonstrado que o crescimento dos músculos com predomínio de fibras brancas é mais acelerado do que os músculos vermelhos porque as fibras brancas possuem taxas geométricas de crescimento superior às fibras vermelhas (LAYMAN et al., 1980; DALL PAI e CURI, 1992).

As fibras oxidativas possuem menor área e velocidade de crescimento que as fibras glicolíticas (LAYMAN et al., 1980; DALL PAI e CURI, 1992). A seleção de suínos visando o aumento da deposição de músculo leva a um aumento na freqüência de células glicolíticas no músculo.

As fibras brancas possuem um metabolismo aeróbico para a produção de ATP a partir do glicogênio muscular, que leva a um aumento na produção de ácido láctico pós-mortem resultando em valores de pH do músculo mais baixos que as fibras vermelhas (TARRANT et al., 1972).

No processo de transformação do músculo em carne, o ácido láctico não pode ser retirado do músculo e ali se acumula acidificando a carne. Quando a produção de ácido láctico é muito rápida na primeira hora após o abate, associado com a temperatura elevada da carcaça, pode resultar em carnes com anomalia do tipo PSE (do inglês *pale, soft and exsutive*, ou seja, carne de cor clara, textura mole e que perde muita água). Assim, quanto maior for a freqüência de células

glicolíticas no músculo espera-se que o crescimento e a deposição de tecido magro seja maior, porém a qualidade da carne tende a piorar.

Sosnicki (1987) estabeleceu uma correlação negativa entre o pH da carne e o número de fibras intermediárias e glicolíticas. Também, Aalhus et al. (1997) verificaram que o aumento do número de fibras intermediárias e glicolíticas no músculo *Psoas major* de suínos resultou em carne de pior qualidade (cor mais pálida, aumento da perda de água e na dureza da carne).

Quando o músculo exige uma demanda excessiva de energia ocorre a desaminação do AMP para IMP com conseqüente formação de amônia para a regeneração do ATP (Trifosfato de Adenosina). O IMP pode ser degradado a amônia e aumentar a formação de radicais livres, o que pode levar à lesões celulares. A amônia é produzida especialmente nas fibras glicolíticas do músculo. Os autores concluíram que o aumento da freqüência deste tipo de fibra no músculo pode resultar em maior número de lesões e levar a uma piora na qualidade da carne e especialmente a capacidade desta reter água. (ESSÉN-GUSTAVSSON et al., 1988; ESSÉN-GUSTAVSSON et al., 1992).

As fibras glicolíticas possuem menor conteúdo de lipídios, mais tecido conectivo e apresenta carne mais dura que as fibras oxidativas. Existe uma correlação positiva entre o número de fibras vermelhas e a taxa de marmoreio de um músculo, indicando que o marmoreio é maior em músculos oxidativos.

Os tipos de fibra musculares têm um papel importante no processo de amaciamento da *carne post mortem*. A taxa de maturação é mais lenta nos músculos com alta porcentagem de fibras oxidativas (músculo vermelho) que em músculos glicolíticos (músculos branco). Apesar dos músculos vermelhos possuírem maior quantidade de calpaína, que é a principal enzima proteolítica responsável pelo amaciamento da carne, também possuem maiores quantidade de calpastaina, que é o inibidor natural das calpaínas, que faz com que a proteólise ocorra com menor intensidade, afetando a maciez final da carne.

Diferença na estabilidade da cor dos músculos pode ser atribuída ao tipo de músculo. Músculos com grande porcentagem de fibras oxidativas possuem grande quantidade de mitocôndrias. As Mitocôndrias, quando intactas, competem com as mioglobinas pelo oxigênio, reduzindo a formação de oximioglobina e gerando músculos de aparência escura. Isso sugere que músculos classificados de vermelho possuem rápida taxa de descoloração e aumento na produção de metamioglobina sob condições aeróbicas.