

RAIANE DE SOUSA OLIVEIRA

ANÁLISE DE VARIANTES NO ÉXON-1 DO GENE MIOSTATINA EM CAPRINOS

TERESINA-PIAÚÍ

2021

RAIANE DE SOUSA OLIVEIRA

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí–UFPI, Área de concentração: Produção Animal, linha de pesquisa: Melhoramento genético, preservação, etologia e adaptabilidade de animais de interesse econômico.

Orientadora: Prof.^aDra. Adriana Mello de Araújo – Embrapa Pantanal

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Mendonça Diniz – Embrapa Caprinos e Ovinos

TERESINA-PIAUI

2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processos Técnicos

- O48a Oliveira, Raiane de Souasa.
Análise de variante de éxon-1 do gene miostatina em caprinos. / Raiane de Souasa Oliveira. – 2021.
95 f.: il.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Pós-Graduação em Ciência Animal, Teresina, 2021.
“Orientador: Prof.^a Dra. Adriana Mello de Araújo.”
1. Azul. 2. Anglo-Nubiano. 3. Canindé. 4. TGF-β.
5. Recursos Genéticos. I. Oliveira, Raiane de Souasa. II. Título.

CDD 636. 39

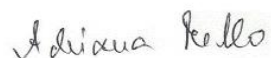
Bibliotecário: Gésio dos Santos Barros – CRB-3/1469

**ANÁLISE DE VARIANTES NO EXON-1 DO GENE MIOSTATINA EM
CAPRINOS**

RAIANE DE SOUSA OLIVEIRA

Dissertação aprovada em: 26/11/2021

Banca Examinadora:



Profa. Dra. Adriana Mello de Araújo (Presidente) / EMBRAPA



Prof. Dr. José Lindenberg Rocha Sarmiento (Interno) / DZO/CCA/UFPI



Prof. Dr. Fábio Mendonça Diniz (Externo) / EMBRAPA



Prof. Dr. Vladimir Costa Silva (Interno) / PPGCF/UFPI

Dedico a meus pais Edimar Fernandes de Oliveira, Creuza de Sousa Oliveira, a meus irmãos Raimundo de Sousa Oliveira, Railanne de Sousa Oliveira Gomes, ao meu amor Francisco Clodoaldo de Oliveira Rocha Segundo e a todos os meus amigos que compartilharam comigo essa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial pelo dom da minha vida, por proporcionar-me a capacidade, o discernimento e a paciência para concluir essa dissertação diante de todas as situações difíceis que até aqui passei. A ti toda honra e toda glória, Senhor!

À minha família, que sempre apoiou e confiou na minha trajetória acadêmica;

Ao meu Amor pela sua paciência e apoio durante toda minha formação profissional;

À Universidade Federal do Piauí – UFPI e a todo seu corpo docente, pela oportunidade de ingressar no mestrado acadêmico e por dar condições para que eu realizasse toda a pesquisa científica na instituição;

À Embrapa Meio-Norte por disponibilizar a estrutura do laboratório de Genética Molecular para o desenvolvimento das atividades práticas iniciais da dissertação e a disponibilidade de coletas de algumas amostras de sangue do rebanho caprino. Além da oportunidade de estagiar por 2 anos durante a graduação, contribuindo para minha formação profissional;

À CAPES, pela disponibilidade da bolsa de estudos que foi de grande importância para a conclusão do curso de mestrado;

A minha orientadora Adriana Mello de Araújo e ao meu coorientador Fábio Mendonça Diniz pelo oportunidade de orientação no programa de pós-graduação em Ciência Animal.

Ao Dr. Geice Ribeiro da Silva, pelas orientações do início ao fim da pesquisa, pelo compartilhamento de conhecimento técnico, intelectual e científico, que foi essencial para o desenvolvimento e conclusão da dissertação;

A Fazenda Faveira, localizada em Elesbão Veloso-PI, por dispor dos rebanhos caprinos para algumas coletas de sangue;

Aos bolsistas de pós-graduação do programa de Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí- UFPI: Arrê, Alberto e Leandra por contribuírem na coleta de amostras de sangue caprino advindas de Elesbão Veloso(PI) e Teresina(PI);

Ao coordenador do laboratório de Genética Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Piauí, Dr. José Lindenberg Rocha Sarmento, pela disponibilidade do espaço laboratorial para a pesquisa e pelo apoio intelectual na metodologia do trabalho;

Ao prof. Dr. Vladimir Costa Silva pelo acompanhamento das etapas da pesquisa com a sua colaboração intelectual e material;

Às minhas amigas Vanessa Gomes de Moura (mestre em Genética e melhoramento-UFPI) Amanda Priscilla Maia (mestranda em Ciência Animal) e Rafaela de Brito Vieira (Mestranda em Zootecnia Tropical) pelo apoio, incentivo e otimismo para a realização e conclusão dessa pesquisa; Enfim, a todos que contribuíram para o desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

(Charles Chaplin)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água do mar. Mas, o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(Madre Teresa de Calcutá)

SUMÁRIO

1. Introdução	16
2. Revisão de literatura.....	18
2.1 <i>Capra hircus</i>	18
2.1.1 Taxonomia.....	18
2.1.2 Aspectos biológicos.....	18
2.1.3 Raça Anglo-Nubiano, Raça Azul e Raça Canindé.....	19
3. Naturalização de caprinos no Nordeste Brasileiro.....	21
4. Importância econômica e social de caprinos no Brasil.....	22
5. Os maiores detentores de rebanho caprino no Mundo, Brasil, Nordeste e Piauí.....	22
6. Evolução do melhoramento genético de caprinos.....	25
7. Gene Miostatina (MSTN) aplicado em caprinos no melhoramento da carne.....	26
8. Referências.....	28

CAPÍTULO 1

A Miostatina no melhoramento genético animal para a produção de carne

Resumo.....	33
Abstract.....	33
1.Introdução.....	34
2.Material e métodos.....	34
3.Resultados e Discussão.....	36
4.Conclusão.....	43
5.Referências.....	44

CAPÍTULO 2

Análise de variantes no Êxon-1 do gene Miostatina em caprinos

Resumo.....	47
Abstract.....	47
1.Introdução.....	49
2.Material e métodos.....	50
2.1 Amostragem de sangue e coleta de dados.....	50
2.2 Amplificação e sequenciamento de DNA.....	50
2.3 Análise estatística.....	51
2.3.1 Alinhamento das sequências	51
2.4 Análise filogenética.....	52
2.4.1 Teste de saturação de mutação.....	52
2.4.2 Análise de inferência bayesiana.....	52
2.5 Análise genotípica dos SNPs.....	53
3.Resultados e Discussão.....	53
4.Conclusão.....	62
5.Considerações finais.....	62
6.Referências.....	63
7. Anexos.....	65

LISTA DE FIGURAS

Revisão de literatura

Figura 1. Imagem de um representante caprino Anglo-Nubiano.....	19
Figura 2. Imagem de um representante caprino Azul.....	20
Figura 3. Imagem de dois representantes caprinos Canindé.....	21
Figura 4. Estados do nordeste brasileiros com maiores rebanhos de caprinos (em milhões de cabeças).....	24
Figura 5. Número de animais por habitantes nos cinco principais estados produtores (em cabeças/habitante.....	25

CAPÍTULO 1

Figura 1. Número de publicações anuais referentes aos estudos da miostatina em caprinos, ovinos, suínos, bovinos e aves a partir de 1997 a 2021.....	36
Figura 2. Número de publicações dos países mais produtivos referente aos estudos do gene miostatina (MSTN) em caprinos, ovinos, suínos, bovinos e aves no mundo.....	37
Figura 3. Número de publicações referentes às metodologias de sequenciamento utilizadas nos estudos com o gene da miostatina em caprinos, ovinos, suínos, bovinos e aves no mundo.....	38
Figura 4. Número de publicações referentes às metodologias de RFLP utilizadas nos estudos com o gene miostatina em caprinos, ovinos, suínos, bovinos e aves no mundo.....	39
Figura 5. Mapa de estrutura conceitual de palavras-chave da análise bibliométrica de pesquisas ligadas ao melhoramento genético animal para a produção de carne (grau mínimo do nó=2), método de análise de correspondência múltipla agrupamento k- means; cluster 1- vermelho, cluster 2- azul.....	40
Figura 6. Mapa temático referente as palavras- chave da pesquisa ligadas ao melhoramento em animais de produção. Os círculos representam os temas e o tamanho está ligado ao número de artigos relacionados a cada palavra-chave que os compõem.....	41
Figura 7. Rede de colaboração entre os países para a publicação de estudos referentes ao gene da miostatina em animais de produção.....	42

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Perfil eletroforético de produtos amplificados do gene MSTN (ÈXON 1) em gel de agarose a 1,5%. Marcador de peso molecular 1kb e acessos de raças caprinas Canindé (C437, C455, C418, C410 e C434).....54
- Figura 2.** Análise de distância genotípica Genpofad dos SNPs entre as raças Azul, Anglo-Nubiano e Canindé58
- Figura 3.** Rede filogenética de todos os 15 haplótipos da raça Anglo-nubiano, Azul e Canindé da região Nordeste do Brasil.....60
- Figura 4.** Análise filogenética do posicionamento das raças Azul, Anglo-Nubiano e Canindé com relação às outras raças caprinas depositadas no Genbank (Inferência bayesiana).....61
- Figura 5.** Análise genotípica das raças Azul, Anglo-Nubiano e Canindé com relação a outros animais que possuem a mesma sequência depositada no Genbank.....62

LISTA DE TABELAS

Revisão de literatura

Tabela 1. Evolução anual de efetivo rebanho de caprinos (cabeças) no mundo.....	23
Tabela 2. Evolução anual de efetivo rebanho de caprinos (cabeças na América do Sul.....	23

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Identificação dos SNPs encontrados nas sequencias de DNA nas raças Azul, Anglo-Nubiano e Canindé.....	54
Tabela 2. Análise geral dos dados de sítios polimórficos e indels identificados nas 30 sequencias da raça Anglo-Nubiano, Azul e Canindé.....	54
Tabela 3. Análise geral dos dados de sítios polimórficos e indels identificados nas 14 sequências da raça Anglo- Nubiano e 10 sequências da raça Canindé.....	55
Tabela 4. Estimativa de probabilidade composta máxima do padrão de substituição de nucleotídeos nas raças Anglo-Nubiano, Azul e Canindé.....	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BIC	inferência Bayesiana
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
dNTPs	Desoxirribonucleotídeos Fosfatados
EDTA	ácido etilenodiamino
EMEPA	Empresa Estadual de pesquisa agropecuária da Paraíba
GDF-8	fator de crescimento e diferenciação-8
HD	Diversidade haplotípica
ISS	índice de saturação observada
ISS.C	índice de saturação completa
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MSTN	miostatina
NCBI	Centro nacional de informações biotecnológicas
NGS	Sequenciamento de nova geração
QTLs	Loci de características quantitativas
RFLP	polimorfismo do fragmento de restrição
SNP	polimorfismo de base única
SRD	Sem padrão racial definido
TGF- β	fator de crescimento e diferenciação celular da super família beta

RESUMO: A identificação de variações alélicas no gene da miostatina (GDF-8), relacionado ao crescimento e desenvolvimento da carne nos animais, pode ser utilizado para a seleção assistida por marcadores moleculares com a finalidade de obter uma resposta rápida ao que se refere a genética caprina. Nesse estudo, foi realizada uma revisão sistemática de literatura reunindo estudos referentes às metodologias e aplicação dos marcadores moleculares com estudos em animais de produção, como também avaliou-se as mutações do éxon 1 desse gene nas raças caprinas Azul, Anglo-Nubiano e Canindé. A China seguida pelos Estados Unidos, Índia e Nova Zelândia, destacaram-se com um maior número de publicações e os SNPs foi a abordagem molecular mais utilizada nos estudos revistos. Foram identificados nove sítios polimórficos GDF-8 no presente estudo. A raça Canindé revelou maior quantidade de mutações, sendo três delas mutações pontuais e dois à indels. A raça Anglo-Nubiano revelou uma mutação pontual e duas decorrentes à indels. Sendo que a variedade Azul não apresentou polimorfismo. O número de sítios polimórficos e indels totalizaram 4 e 5, respectivamente. As frequências de nucleotídeos médias dessa sequência foram: 32,56% (A), 23,47% (T / U), 21,00% (C) e 22,97% (G). As taxas de transição e transversão foram de $k1 = 6,727$ (purinas) e $k2 = 0$ (pirimidinas). A diversidade haplotípica (hd) foi de 0,306 para dados polimórficos e de 0,515 para diversidade de haplótipos indels. É necessário a ampliação de pesquisas no Brasil com estudos focados em variantes genéticas de interesse do melhoramento de animais economicamente importantes. Conclui-se que houve variação molecular para o estudo da miostatina nestas raças localmente adaptadas, demonstrando que essa região gênica pode ser utilizada como marcador para o melhoramento da carne dessa espécie.

Palavras-chave: Azul, Anglo-Nubiano, Canindé, TGF- β , Recursos Genéticos.

ABSTRACT: The identification of allelic variations in the myostatin gene (GDF-8), related to the growth and development of meat in animals, could be useful for selection assisted by molecular markers in order to obtain a rapid response to what refers to goat genetics. In this study, a systematic literature review was carried out, bringing together studies related to the methodologies and application of molecular markers with studies in farm animals, as well as the mutations of exon 1 of this gene in Azul, Anglo-Nubian and Canindé goat breeds. China followed by the United States, India and New Zealand stood out with the highest number of publications and the most used molecular approach were represented by SNPs. At last chapter, nine polymorphic sites were revealed in Brazilian goat breeds. Canindé showed the highest number of mutations, three of which were point mutations and two to indels. Anglo-Nubian breed reveals one point mutation and two resulting from indels. Azul did not show polymorphisms. The number of polymorphic and indel sites totaled four and five, respectively. The average nucleotide frequencies of this sequence were 32.56% (A), 23.47% (T/U), 21.00% (C) and 22.97% (G). Transition and transversion rates were $k_1 = 6,727$ (purines) and $k_2 = 0$ (pyrimidines). The haplotypic diversity (h_d) was 0.306 for polymorphic data and 0.515 for indels haplotype diversity. It is necessary to expand research focused on the improvement of economically important animals in Brazil. There was molecular variation for myostatin gene (GDF-8 exon) in these locally adapted breeds, demonstrating that this gene region can be applied as a marker for the improvement of goat meat.

Keywords: Azul, Anglo-Nubian, Canindé, TGF- β , Genetic Resources.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, os consumidores de carne passaram a ter mudanças nos hábitos alimentares no que diz respeito a qualidade do produto (SANTOS e BORGES, 2019). Isso provocou um novo direcionamento da grande parte do nicho de mercado, pois as carnes de melhor qualidade nutricional e sensorial passaram a ter preferência, por serem mais saudáveis e proporcionarem maiores benefícios a saúde (VIEIRA et al., 2010; MADRUGA et al., 2008).

As raças caprinas localmente adaptadas no Brasil são consideradas como bons produtores de proteína animal, pois apesar das condições adversas do ambiente e das inadequadas práticas de manejo, esses animais possuem a capacidade de produzir alimento fibroso de alta qualidade nutricional, apresentando uma carne de baixo teor de colesterol e menores níveis de ácidos graxos (MONTE et al., 2008).

A carne caprina destaca-se no Nordeste brasileiro como uma importante fonte de proteína animal de alto valor biológico na alimentação humana. Entretanto, a produção da carne de animais com alta qualidade físico- química e sensorial é considerada um dos grandes desafios na pecuária de corte brasileira (AMARAL et al., 2007). E, os fatores genéticos são considerados importantes meios que influenciam nestas características.

A melhor maneira de conservação das peculiaridades na produção de carne caprina é entender os mecanismos de formação do tecido muscular e os processos de transformação deste na carne. O gene Miostatina (MSTN) é um importante candidato para o entendimento da morfofisiologia do músculo como também para a seleção de animais objetivando a produção de carne. Este gene pertence à família TGF- β e está relacionado a regulação do crescimento muscular inibindo a proliferação de mioblastos durante a miogênese (McPHERRON e LEE, 1997).

Uma ferramenta importante em pesquisas em genética animal é o estudo do polimorfismo de DNA. Os marcadores genéticos aplicados aos animais de produção estão concentrados na análise de mutações ou polimorfismos localizados dentro de genes estruturais economicamente importantes e ligados a genes e *loci* controladores de características quantitativas (COUTINHO e ROSÁRIO, 2010) Assim, a genética molecular tem evoluído ao longo dos anos no que se refere aos estudos de produção de carne, sendo que as mesmas podem melhorar o produto sem prejuízo para os ganhos obtidos, através do estudo de dados moleculares com o fenótipo observado no animal.

Alguns marcadores moleculares apresentam potencial para avaliar as características da carne, através do estudo das variações de nucleotídeos em regiões reguladoras e estruturais de

genes que influenciam na expressão da sequência de aminoácido afetando nas características de qualidade da carne. A miostatina atua como um regulador negativo do crescimento muscular em mamíferos e mutações de perda de função nesse gene estão associados com o aumento da massa muscular ou musculatura dupla em bovinos (GROBET et al. 1997; AIELLO et al., 2018), ovinos (ZHOU et al., 2008; DOU et al., 2018), caprinos (SINGH et al., 2014) podendo afetar também o peso corporal em diferentes estágios de crescimento (ZHANG et al., 2013); também foram identificados polimorfismos em caninos (MOSHER et al., 2007), camundongos (McPHERRON et al., 1997) e humanos (SCHUELKE et al., 2004).

Dessa maneira, a identificação de mutações no fator de crescimento e diferenciação-8 (GDF-8), associada a características de produção de tecido muscular em raças caprinas localmente adaptadas no Brasil origina informações importantes para o melhoramento genético dessa espécie como também pode ser utilizada como uma ferramenta para a seleção de animais com maior produção de carne, que conseqüentemente atenda as exigências do mercado recebendo uma maior valorização pelo consumidor.

Portanto, nesse estudo objetivou-se identificar mutações nas sequências do gene Miostatina (MSTN) em caprinos da raça Anglo-Nubiano, Azul e Canindé no Nordeste do Brasil e comparar com dados já depositados no Genbank.

De acordo com as normas do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UFPI, esta dissertação está estruturada em: Introdução Geral, Revisão de Literatura, Capítulo I, intitulado “A miostatina no melhoramento da carne em animais de produção, redigido segundo as normas editoriais da **Revista Archivos de Zootecnia**, à qual será submetido para publicação; Capítulo II intitulado “Análises de variantes no éxon-1 do gene miostatina (MSTN) em caprinos no nordeste do Brasil” será elaborado de acordo com as normas editoriais da **Revista Research, Society and Development**, à qual será submetido para publicação; Considerações Finais; Referência Bibliográfica Geral e Anexos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Capra hircus*

2.1.1 Taxonomia

Capra hircus pertence à família Bovidae, subfamília Caprinae e gênero *Capra*.

Cabras domésticas ou *C. hircus*, provavelmente descendem de *Capra aegagrus*, que é da Ásia Central (GENTRY et al., 2004), sendo este o nome adotado para o táxon selvagem de cabras.

Capra cretica em Creta e Theodorou, *Capra jourensis* em Giura ou Joura nas Espórades do norte e *Capra picta* em Antimilo ou Erimomilos nas Cíclades foram consideradas sinônimos de *C. hircus* ou *C. aegagrus*. Entretanto, a sistemática dessas espécies citadas necessita de avaliação. Uma pesquisa feita por (KAHILA BAR-GAL et al., 2002), demonstraram que *C. cretica* era estreitamente semelhantes a cabras domésticas e uma cabra selvagem iraniana, enquanto uma cabra selvagem do Turcomenistão era distinta.

C. hircus chialtanensis se originou de híbridos entre cabra doméstica e Markhor (*Capra falconeri*). Segundo (SCHALLER, 1977), identificou *C. falconeri* como sendo mais semelhante à *C. hircus*. Porém, não o considerou válido. Entretanto, MANCEAU (1999), descobriu que era um Markhor ou híbrido a partir de sequência de mtDNA.

2.1.2 Aspectos biológicos

Os caprinos são caracterizados como animais homeotérmicos, ou seja, possuem a capacidade de controlar a temperatura interna do corpo (MARQUES et al., 2018). Devido a essa adaptação conseguem viver nas mais diversas condições ambientais, justificando dessa forma, a sua ocorrência em quase todas as regiões do mundo (BERTOLINI et al., 2018).

É importante salientar também que a capacidade de aclimação desses animais permitiram sua adaptação a diferentes dietas. Além disso, esses ruminantes são seletivos pelo fato de caminharem muito nas pastagens com o objetivo de encontrar partes mais nutritivas das forrageiras (ELIAS e TISCHEW, 2016).

Animais de estatura baixa, cabeça pequena, a boca possui lábios rápidos e móveis, o que permite a seletividade das partes mais ricas dos vegetais, como por exemplo as folhas e os brotos (MOREIRA et al., 2014). Além disso, transformam em proteína os mais diversos tipos de forragens de forma eficiente, sejam elas ou não de boa qualidade.

2.1.3 Raças Anglo- Nubiano, Azul e Canindé

A raça Anglo- Nubiano pode ter sido originada do Egito, da Núbia, da França, da Síria ou ainda da Índia (SANTOS et al., 2005) e, os cruzamentos com as raças Zaraibi e Chitral, cabras comuns da Inglaterra, deram a sua origem.

Em 1929, o criador Carlos Guinle introduziu essa raça no Brasil. Os indivíduos trazidos da Inglaterra eram mestiços e por isso sua caracterização racial não estava bem definida. Já em 1938, alguns exemplares puros da raça Anglo-Nubiano foram introduzidos no Nordeste Brasileiro, mas especificamente, na Bahia por Antônio do Rego Gonçalves (SANTOS, 2003).

Essa raça comercial e padronizada é bem aceita pelos produtores da região nordestina e a mesma ocorre em todos os estados devido às características adaptativas da raça com relação as condições climáticas da região (ELOY et al., 2007). A mesma é referência na produção de carne e leite, sendo considerada como um animal de dupla aptidão pelos produtores e técnicos.

São animais de maior porte, pesados e compridos, com musculatura representativa, com pelos curtos e brilhante, pele solta e a pelagem pode ser variada, sendo predominante a cor escura. A barbela pode se apresentar de tamanho pequeno em fêmeas e machos, os cascos são fortes e a coloração varia de acordo com pelagem (**Figura 1**). Trata-se de animais com aspecto atraente, sendo que o macho chega a pesar entre 100 e 120 kg e a fêmea 80 kg (SANTOS et al., 2005).

Figura 1. Imagem de um representante caprino Anglo-Nubiano



Fonte: <http://ruralcentro.uol.com.br/noticias/raca-anglo-nubiano-representa-caprinos-na-feicorte-2013-70090>

A raça Azul foi descrita na África e pertence ao grupo Wad, um grupo de cabras pequenas do oeste Wasadad. A cabra Azul pode ser de origem nigeriana ou camaronesa, (NOGUEIRA FILHO e KASPRZYKOWSKI, 2006). Em relação a características físicas, a camaronesa é curta

e peluda, tem o corpo pesado, cabeça larga e focinho mais curto que a nigeriana. A coloração cinza é predominante nessa raça, podendo variar do claro ao mais escuro (**Figura 2**).

Essa raça não é reconhecida como padronizada pelo MAPA e não possui livro de registro de sua introdução no país. Animais portadores desta pelagem recebe várias denominações no Brasil, dentre elas estão: Azuleja, Azulona, Azula, Zulanha, Zulenha, Cabra-da-serra. Registro de sua ocorrência no Brasil é antiga e ocorreu nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, destacando-se também, que a raça é própria da caatinga do estado do Piauí (GUIMARÃES FILHO, 2000). Adicionalmente, apresenta dupla aptidão com boa qualidade para produção de carne e pele.

Figura 2. Imagem de um representante caprino Azul



Fonte: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/caprinos-da-raca-azul-resistencia-e-productividade-em-climas-quentes-77526n.aspx>

A raça Canindé é padronizada no Brasil, possui registro genealógico no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e considerada uma das principais raças localmente adaptadas do Nordeste. Segundo a mais recente classificação feita pela Espanha e Portugal, a Raça Canindé tem sua origem referente ao agrupamento das pirenaicas.

O nome da raça está relacionado a tanga branca, de algodão rústico que era utilizada pelos escravos denominado de Calindé. Outras afirmações refere-se a origem da raça no estado do Piauí, nas proximidades da região do Vale do Rio Canindé. (KASPRZYKOWSKI, 1982).

A consolidação do nome da raça foi Canindé que significa “faca pontuda”, sendo usada no sertão cearense ou podendo significar também as pedras ou lascas rochosas que serviam como instrumentos para aprimorar as peixeiras e lâminas no sertão do Piauí (NOGUEIRA FILHO e KASPRZYKOWSKI, 2006).

Suas principais características físicas são o fato de serem ativas, vigorosa e bastante rústica, tem o corpo negro com ventre e períneo brancos, podendo produzir carne, leite e pele (**Figura 3**).

Figura 3. Imagem de dois representantes caprinos Canindé



Fonte: <http://www.grupovoa.com/fazendavoa/negocios/raca-caninde/>

3. Naturalização de caprinos no Nordeste Brasileiro

Foi com a chegada dos primeiros colonizadores portugueses que a espécie caprina foi introduzida no Brasil. Foi assim que ocorreu a adaptação ao longo do tempo das raças puras criadas desde o início da colonização. A partir daí, surgiram as raças naturalizadas que atualmente, são conhecidas por serem localmente adaptada.

Podem ser encontradas em sua grande maioria (95%) na região Nordeste do Brasil (IBGE, 2021). Por essa região apresentar característica de caatinga com altos níveis de temperaturas e com condições semiáridas limitantes, esses animais que foram introduzidos, ao longo dos anos foram se adaptando a essas condições ambientais e conseqüentemente a espécie conseguiu adquirir características próprias, destacando-se entre elas a rusticidade o que permite que esses animais sobrevivam em condições desfavoráveis (ROCHA et al, 2009).

Entretanto, a adaptação desses animais ao ambiente diminuiu suas características produtivas. Logo, os animais necessitaram aumentar a sua resistência tanto ao calor como também

aos ecto e endoparasitos. Além disso, a vegetação era totalmente diferente do seu local de origem e com isso a sua dieta alimentar ficou limitada por influência do ambiente (LEITE, 2002).

Esses animais possuem características comuns entre si, entre elas estão o seu pequeno porte, a pelagem curta, orelhas eretas e a sua baixa produção de leite, podendo ser diferenciadas pela cor da sua pelagem. Todas esses traços trazidos da sua adaptação ao longo dos anos (van SOEST, 1994).

4. Importância econômica e social de caprinos no Nordeste do Brasil

Existe uma elevada importância econômica e social nas populações rurais e em outras regiões onde é desenvolvida a exploração de caprinos. Apesar dessa atividade não representar de forma significativa a pecuária a nível nacional, ela se torna cada vez mais importante para os pequenos e médios produtores desenvolverem alternativas que são economicamente viáveis para a diversificação de produção nos sistemas de criação (HOLLANDA JÚNIOR e MARTINS, 2008). Também, essas criações se tornam um complemento de outras atividades como por exemplo, as fruticulturas e até mesmo a criação de outras espécies de produção, sendo representadas pelos bovinos, suínos e ovinos.

É importante destacar também sua importância de valor histórico-cultural, desempenhando um papel relevante na região semi-árida do Nordeste brasileiro, sendo também responsável pela fixação do homem no campo, devido a seu alto valor proteico animal que estão disponíveis para as populações de baixa renda nessa região. (JÚNIOR, 2011).

Adicionalmente, a exploração de caprinos possibilita muitas vantagens econômicas, sendo elas representadas pelo aproveitamento das pastagens naturais, baixo investimento para a criação desse animais e a obtenção de animais jovens para o abate.

5. Os maiores detentores de rebanho caprino no mundo, Brasil, Nordeste e Piauí

Segundo a EMBRAPA CAPRINOS E OVINOS (2016), os maiores criadores de caprinos são representados pela China, Índia, Nigéria e Paquistão que, conjuntamente, concentram 42% do rebanho Mundial (**Tabela 1**).

Tabela 1. Evolução anual de efetivo rebanho de caprinos (cabeças) no mundo

País/ ano	2014	2015	2016
China	140.506.930	144.817.662	149.091.143
Índia	133.000.000	132.069.354	133.874.637
Nigéria	71.958.213	72.527.691	73.879.561
Paquistão	66.615.000	68.420.000	70.300.000

Fonte: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2016

Cerca de 94% dos caprinos se encontram nos países em desenvolvimento, proporcionando uma alternativa viável de alimentação e renda para populações de baixa renda. Na América do Sul, os rebanhos caprinos são de aproximadamente 112,6 milhões de cabeça. O Brasil, a Argentina, a Bolívia e o Peru detêm os maiores plantéis dessa espécie (**Tabela 2**). O Brasil possui o nono maior rebanho de caprinos do mundo, com 12,1 milhões de cabeça com uma taxa de crescimento bem representativa em relação ao ano de 2016, dos quais mais de 95% encontra-se na região Nordeste (IBGE, 2020).

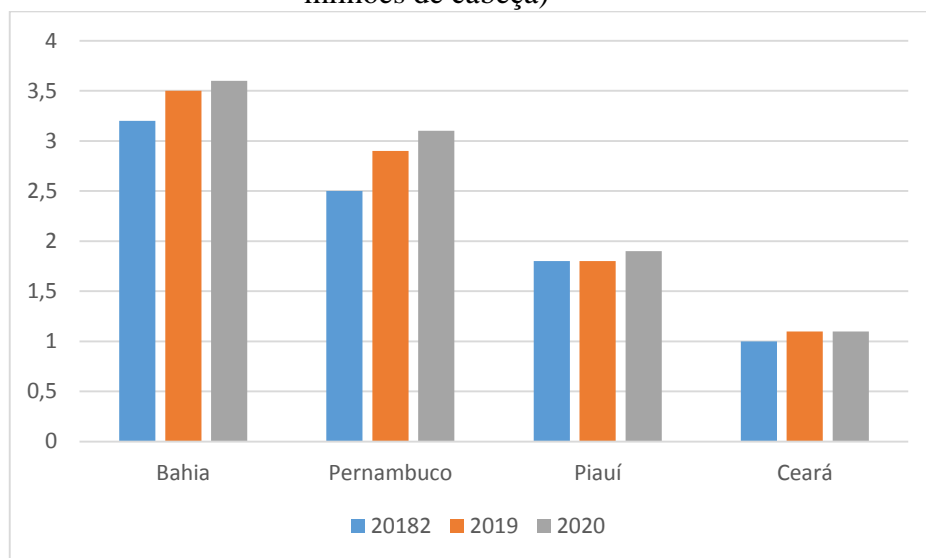
Tabela 2. Evolução anual de efetivo rebanho de caprinos (cabeças) na América do Sul

País/ ano	2014	2015	2016
Brasil	8.851.879	9.620.877	9.780.533
Argentina	4.400.000	4.720.674	4.712.173
Bolívia	2.156.812	2.181.219	2.209.968
Peru	1.904.873	1.902.307	1.879.713

Fonte: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2016

A região Nordeste possui aproximadamente 11,49 milhões de caprinos, o que corresponde a 95% do rebanho do país, cabendo aos estados da Bahia, Pernambuco, Piauí e Ceará as maiores concentrações da espécie com 85,59% (**FIGURA 4**).

FIGURA 4. Estados do nordeste brasileiro com maiores rebanhos de caprinos (em milhões de cabeça)

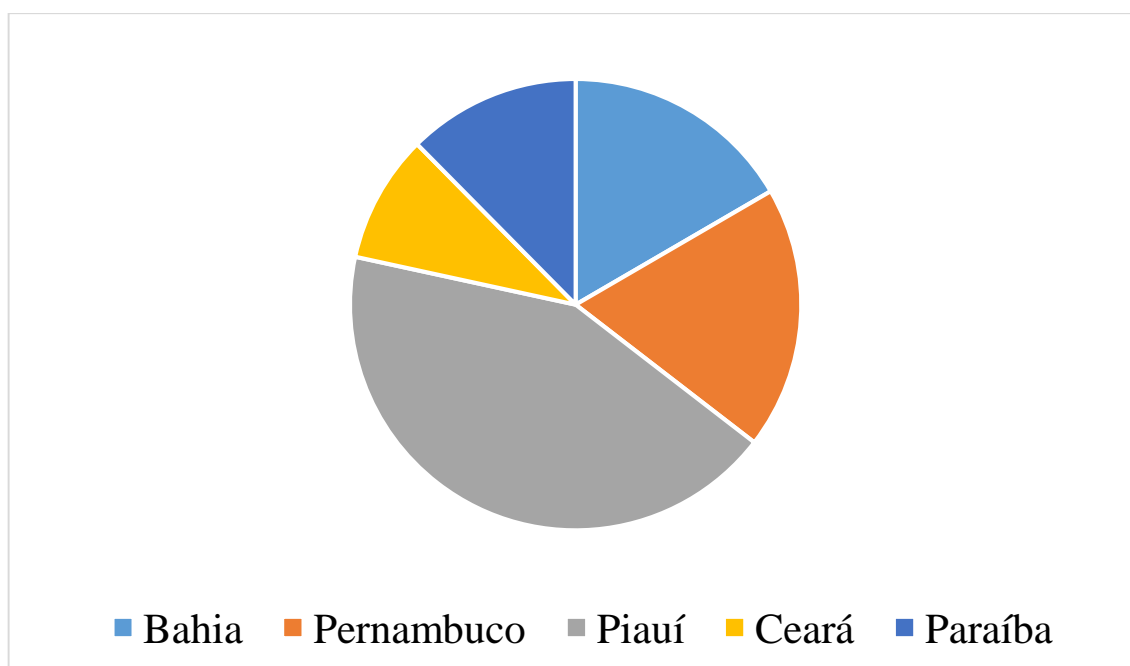


Fonte: IBGE, 2020

As microrregiões que se destacam como as maiores produtoras de caprinos são: Casa Nova, Juazeiro e Curaçá (Bahia), Floresta e Petrolina (Pernambuco), Dom Inocêncio (Piauí) e Tauá (Ceará) sendo que a Casa Nova, Juazeiro e Curaçá – BA são consideradas as microrregiões com maior densidade. (IBGE, 2020).

É importante manter atenção no tamanho da população do rebanho com a sua proporção em relação a população existente. Sendo assim, o estado do Piauí apresenta maior proporção (0,561) de caprinos por habitante, destacando-se na criação dessa espécie. Isso reforça a importância econômica e histórico-cultural desses animais no estado onde é mais interiorizado da região nordestina e com menos faixa litorânea em relação aos demais estados brasileiros (SOUZA e BARROS, 2017; **FIGURA 5**).

Figura 5. Número de animais por habitantes nos cinco principais estados produtores (em cabeças/habitante)



Fonte: SOUZA e BARROS, 2017

6. Evolução do melhoramento genético de caprinos

No Brasil a criação de caprinos é de característica extensiva, não existindo dessa forma, um processo seletivo e estruturado desses animais. E, devido as consequências adaptativas a regiões de altas temperaturas no Nordeste, esses animais diminuíram o seu desempenho produtivo. A partir daí, os produtores deram início a importação de animais exóticos e muitos cruzamentos foram conduzidos de forma indiscriminada (NOGUEIRA FILHO e KASPRZYKOWSKI, 2006). Os resultados desses cruzamentos não foram considerados satisfatórios, visto que não havia controle dos dados produtivos e nenhum processo efetivo de seleção de animais mais produtivos e mais adaptados.

O cruzamento entre caprinos exóticos e localmente adaptados ainda é feito por alguns criadores no Brasil levando em consideração a semelhança de cor de pelagem entre os animais. Devido as raças se apresentarem com o mesmo padrão de pelagem, os produtores acreditam que são as mesmas raças, não considerando assim, um cruzamento entre exemplares diferentes.

Fica claro que o desenvolvimento da seleção e do melhoramento caprino no Brasil enfrenta dificuldades. Isso é justificado pela maioria dos produtores que não realizam anotações de desempenho das suas criações. Por isso, são escassos os dados relacionados a parentesco,

ocorrências e controles leiteiros nas fazendas. Diante disso, é difícil realizar seleção genética e avaliar raças caprinas com metodologias baseadas em modelos animais que permitam o avanço do ganho genético do plantel.

A Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária Agropecuária da Paraíba (EMPAER) e a Embrapa Caprinos e Ovinos têm tido importante papel no melhoramento genético de caprinos. A primeira tem contribuído com importações de animais e avaliações de raças e a segunda instituição iniciou o “Programa de Melhoramento Genético de Caprinos”, com o objetivo principal de caracterizar e preservar raças e tipos naturalizados, como Moxotó, Canindé, Repartida, Marota, SRD, entre outras.

Atualmente, existe uma maior interação com criadores e produtores cujo o objetivo principal é aumentar a eficiência das pesquisas, estimulada pela Embrapa Caprinos e Ovinos. Além disso, os criadores recebem um grande estímulo para realizarem o registro de todas as informações.

A genética molecular de caprinos no mundo tem avançado de forma bem representativa. Já no Brasil, os trabalhos são limitados às prospecção de genes ou polimorfismos (polimorfismos de base individual-SNP). E, a grande maioria dos trabalhos estão relacionados a teste de paternidade, conservação de recursos genéticos e a caracterização de raças (MENEZES et al, 2006).

Dessa forma, os estudos com o melhoramento de animais de interessante econômico ainda é limitante no Brasil, principalmente estudos com melhoramento de caprinos. Por outro lado, o desenvolvimento dos chips de SNPs para a espécie traz uma perspectiva da implementação da seleção genômica, da qual se utiliza de valores genéticos para que desta seleção os ganhos genéticos sejam bem superiores aos que são obtidos de maneira tradicional (COUTINHO e ROSÁRIO, 2010).

7. Gene Miostatina (MSTN) aplicado no melhoramento da carne em animais de produção

Pertencente a superfamília dos TGF- β , a miostatina regula negativamente tanto o crescimento como o desenvolvimento do músculo esquelético. Além disso, sua função também engloba a regulação do número, tamanho e os tipos de fibras (Mcpherron e Lee, 1997). Por meio de suas mutações na sequência de nucleotídeos, ocorre um aumento representativo na massa muscular, fenômeno conhecido como dupla musculatura (GROBET et al. 1997). Dessa forma, esse gene é

considerado um candidato para o melhoramento animal de várias espécies economicamente importantes, como bovinos, ovinos, suínos, caprinos e aves.

O gene da miostatina (MSTN), também conhecido como gene do fator de crescimento e diferenciação 8 (GDF8) foi relatado pela primeira vez por um fazendeiro britânico, com relatos escritos de hipertrofia muscular em bovinos (CULLEY, 1807). Com descrição mais aprofundada por Kaiser (1888), sendo um marco importante de uma nova perspectiva para a criação de animais de interesse econômico para as características de carcaça visando o melhoramento animal.

Os efeitos da hipertrofia muscular em outros animais foi relatada por Lee e McPherron em 1997 e desde então tem levado os pesquisadores a realizarem muitos trabalhos com o objetivo de descobrir os mecanismos de funcionamento desse gene e a sua possível inibição para o melhoramento da carne em animais de produção.

Mutações de perda de função no gene da miostatina (MSTN) estão associados com o aumento da massa muscular esquelética ou também chamada de dupla musculatura em camundongos (Mcpherron e Lee, 1997), cães (MOSHER et al., 2007), ovelhas (CLOP et al., 2006 ; ZHOU et al., 2008), bovinos (GROBET et al. 1997), humanos (SCHUELKE et al., 2004) e cabras (SINGH et al., 2014; TAY et al., 2004; LI et al., 2006) e mostrado em algumas raças que pode afetar o peso corporal em diferentes estágios de crescimento (ZHANG et al., 2013).

O gene da miostatina foi mapeado para a extremidade distal do cromossomo 2 em bovinos (GROBET et al, 1997), e é altamente conservado entre as espécies e expresso no músculo esquelético em desenvolvimento e maduro (McPHERRON et al, 1997). Consiste em três exons e dois introns em todas as espécies estudadas, incluindo o porco (AY208121), búfalo (AH013313), peixe zebra (AY323521), frango (AF346599) rato doméstico (AY204900) e cabra (DQ167575), (ANEXO 1). Além disso, a análise da sequência de miostatina nos músculos duplos de raças europeias, revelou 7 polimorfismos de sequência de DNA e concluiu que cinco deles foram responsáveis por modular as funções da proteína (JOULIA-EKAZA e CABELLO, 2007).

REFERÊNCIAS

- AIELLO, D., K. PATEL and E. LASAGNA, 2018. The myostatin gene: An overview of mechanisms of action and its relevance to livestock animals. **Animal Genetics**, v.49, p.505-519, 2018.
- AMARAL, C.M.C. et al. Características de carcaça e qualidade de carne de cabritos Saanen alimentados com ração completa farelada, peletizada e extrusada. **Ciência Rural**, v.37, n.2, 2007.
- BERTOLINI, F. et al. Signatures of selection and environmental adaptation across the goat genome post-domestication. **Genetics Selection Evolution**. p. 50-57, 2018.
- CLOP, A. et al. A mutation creating a potential illegitimate microRNA target site in the myostatin gene affects muscularity in sheep. **Nature Genetics**. 2006;v.38, n.7, 813–818.
- COUTINHO, L.L.; ROSARIO, M.F. **Biotecnologia animal**. Estudos avançados, v. 24. 2010.
- DOU, T., Z. LI, K. WANG and L. LIU. Regulation of myostatin expression is associated with growth and muscle development in commercial broiler and DMC muscle. *Molecular Biology Reports*, v.45, p.511-522, 2018.
- ELIAS, D.; TISCHEW, S. Pastoreio de cabras - uma solução biológica para neutralizar a invasão de arbustos em pastagens secas abandonadas na Europa Central. **Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente**. v.234, p.98-106, 2016.
- ELOY, A. M. X. et al. Criação de caprinos e ovinos / Embrapa Informação Tecnológica; **Embrapa Caprinos**. – Brasília, DF, 2007.
- EMBRAPA CAPRINOS E OVINOS. **Centro de Inteligência e Mercado de Caprinos e Ovinos**. Produção Mundial. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cim-inteligencia-e-mercado-de-caprinos-e-ovinos/producao-mundial>. Acesso em: 12.set.2021.
- FILHO, A. N.; KASPRZYKOWSKI, J.W.A. **O agronegócio da caprino-ovinocultura no Nordeste Brasileiro**, Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza n.9 p.56, 2006.
- GENTRY, A.; BROCK, J.; PGROVES, C. The naming of wild animal species and their domestic derivatives. **Journal of Archaeological Science**,v.31, p. 645-651, 2004.
- GROBET, L. et al. A deletion in the bovine myostatin gene causes the double-muscling phenotype in cattle. **Nature Genetics** v.17, p.71–74, 1997.
- GROBET, L. et al. Uma deleção do gene da miostatina causa o fenótipo da musculatura dupla em bovinos. **Genética da natureza**, v.17, p.71-74, 1997.
- GUIMARÃES FILHO, C. **Caprino-ovinocultura, uma possível terceira via**. Gazeta Mercantil. Encarte para os estados PE, PB, RN e Al. Rio de Janeiro, p.2, 2000.

HOLANDA JÚNIOR, V.; MARTINS, E. C. **Análise da produção e do mercado de produtos caprinos e ovinos: o caso do território do sertão do Pajeú em Pernambuco.** Infoteca. EMBRAPA. 2008.

IBGE. Pesquisa da Pecuária Municipal. Tabela 3939: **Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho.** [Rio de Janeiro, 2021c]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 30 nov. 2021.

JOULIA-EKAZA, D.; CABELLO, G. The myostatin gene: physiology and pharmacological relevance. **Current opinion in pharmacology**, v.7, n.3, p.310-315, 2007.

JÚNIOR, O. G. **Entre bois e cabras: uma visão histórica sobre mentalidades e valores nos sertões.** Estudos históricos, Rio de Janeiro, p.47, 2011.

KAHILA BAR-GAL, G. et al. Genetic evidence for the origin of the agrimi goat (*Capra aegagrus cretica*). **Journal of Zoology**, v.256, p. 369 – 377, 2002.

KASPRZYKOWSKI, J. W. A. **Desempenho da caprinocultura e ovinocultura no Nordeste.** Fortaleza, p.39, 1982.

LEITE, E. R. Manejo alimentar de caprinos e ovinos em pastejo no Nordeste do Brasil. **Ciência Animal**, v.12, n.2, p.119-128, 2002.

LI, X. L. et al. Single nucleotide polymorphism identification in the caprine myostatin gene. **Journal of Animal Breeding and Genetics**. v.123, p.141-144, 2006.

MADRUGA, M.S.; et al. Meat quality of Moxotó and Canindé goats as affected by two levels of feeding. **Meat Science**, v.80, n.4 p.1019- 1023, 2008.

MANCEAU, V. et al. P. Systematics of genus *Capra* as inferred by mitochondrial DNA sequence data. **Molecular Phylogenetics and Evolution**. v.13, p.504–510, 1999.

MARKUS SCHUELKE, M.D. et al. Mutação da miostatina associada à hipertrofia do músculo grosso em uma criança. **The New England Journal of Medicine**, v. 350, p. 2682-2688, 2004.

MARKUS SCHUELKE, M.D. et al. Mutação da miostatina associada à hipertrofia do músculo grosso em uma criança. **The New England Journal of Medicine**, v. 350, p. 2682-2688, 2004.

MARQUES, J. I. et al. Pupillary dilation as a thermal stress indicator in boer crossbred goats maintained in a climate chamber. **Small Ruminant Research**. v.158, p.26–29, 2018.

McPHERRON, A. C.; LEE, S. J. Double muscling in cattle due to mutations in the myostatin gene. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 94, p.57–61, 1997.

McPHERRON, A.C.; LEE, S.J. Double muscling in cattle due to mutations in the *myostatin* gene. **Proceedings of the National Academy of Science**. v.94, p.12457–12461, 1997.

- McPHERRON, C. A.; LAWLER, M. A.; Lee, S.J. Regulação da massa muscular esquelética em camundongos por um novo membro da superfamília TGF- β . **Natureza**, v. 387, p. 83-90, 1997.
- MENEZES, M. P. C et al. Caracterização genética de raças caprinas nativas brasileiras utilizando-se 27 marcadores microssatélites. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 35, p. 4, 2006.
- MONTE, S.L.A. et al. Qualidade da carne de caprinos e ovinos: uma revisão. **Agropecuária científica no semiárido**, v.8, n.3, p.11-17, 2012.
- MOREIRA, L. A et al. Fatores que influenciam no comportamento de caprinos em pastejo. **Revista Eletrônica Nutritime**. v.11, n.4, p. 3607- 3616, 2014.
- MOSHER, D.S. et al. A Mutation in the Myostatin Gene Increases Muscle Mass and Enhances Racing Performance in Heterozygote Dogs. **Plos Genetics**, v.3, p.79, 2007.
- MOSHER, D.S. et al. A Mutation in the Myostatin Gene Increases Muscle Mass and Enhances Racing Performance in Heterozygote Dogs. **PLoS Genetics**, v.3, p.79, 2007.
- Pesquisa da pecuária municipal – PPM. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3y5RQeK>>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- ROCHA, R.R.C. et al. Adaptabilidade climática de caprinos Saanen e Azul no Meio-Norte do Brasil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.61, n.5, p.1165-1172, 2009.
- SANTOS, F. C. B. et al. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do nordeste brasileiro. **Ciência e agrotecnologia**. v.29, n.1, p.142-149, 2005.
- SANTOS, L. L. e BORGES, G. R. Fatores que influenciam no consumo de carne ovina. *Consumer Behavior Review*, v.3, n.1, p.42-56, 2019.
- SANTOS, R. **A cabra e a ovelha no Brasil**. Uberaba: Agropecuária Tropical. 2003.
- SCHALLER, G.B. **Mountain monarchs: wild sheep and goats of the Himalaya**, University of Chicago Press, Chicago, EUA, p.476, 1977.
- SINGH, S. P. et al. Caracterização molecular e filogenia análise baseada na sequência de codificação completa do gene da miostatina (MSTN) em raças de cabras indianas. **Small Ruminant Research**, v.116, p.100– 110, 2014.
- SINGH, S. P. et al. Molecular characterization and phylogeny based analysis of complete coding sequence of myostatin (MSTN) gene in Indian goat breeds. **Small Ruminant Research** v.116, p.100– 110, 2014.
- SOUZA, L. E. S.; BARROS, R. A. A. Territorialidade Econômica da Pecuária em Manuel Correia de Andrade. **Economia-Ensaio**, v. 32, n. 1, p. 113-130, 2017.
- TAY, G. K. et al. The development of sequence-based-typing of myostatin (GDF-8) to identify the double muscling phenotype in the goat. **Small Ruminant Research** v.52, p.1–12, 2004.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, p. 476, 1994.

VIEIRA, T. R. L; CUNHA, M. G. G; GARRUTI, D. S. et al. Propriedades físicas e sensoriais da carne de cordeiros Santa Inês terminados em dietas com diferentes níveis de caroço de algodão integral (*Gossypium hirsutum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas**, v.30, n.2, p.372-377, 2010.

ZHANG, Z. J. et al. Polymorphisms of the myostatin gene (MSTN) and its relationship with growth traits in goat breeds. **Genetics and Molecular Research**. v.12, n.2, p.965-971, 2013.

ZHOU, H., HICKFORD, JG, FANG, Q. Variação na região de codificação do gene da miostatina (GDF8) em ovelhas. **Sondas moleculares e celulares**, v.22, p. 67-68, 2008.

PÁGINAS SUPRIMIDAS

32 a 95