

# Função discriminatória de lógica *Fuzzy* para avaliação de cabras expostas a ocorrência de verminose quanto à resistência, resiliência ou sensibilidade ao parasitismo

*Fuzzy* logic discriminant function for evaluating goats exposed to verminosis occurrence regarding resistance, resilience, or sensitivity to parasitism

Wellington Paulo da Silva Oliveira<sup>1</sup> , Natanael Pereira da Silva Santos<sup>1</sup> , Max Brandão de Oliveira<sup>1</sup> , Amauri Felipe Evangelista<sup>2\*</sup> , Raimundo Tomaz da Costa Filho<sup>1</sup> , Adriana Mello de Araújo<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil

<sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Pantanal), Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil

\*Autor correspondente: [amaurifelipe17@gmail.com](mailto:amaurifelipe17@gmail.com)

## Resumo

A incidência de verminose é um dos principais obstáculos para a caprinocultura nos trópicos. A variação individual da resposta do animal à enfermidade existe, mas precisa ser determinado o seu componente genético e estabelecer o manejo zootécnico dos rebanhos, priorizando a seleção de animais mais resistente ao parasitismo. Objetivou-se nesse estudo avaliar a resposta de cabras à incidência de verminose sob condições de infecção natural a campo, com informações de ovos por grama de fezes (OPG), escore da condição corporal (ECC) e grau de coloração da mucosa conjuntiva (FAMACHA<sup>®</sup>), recorrendo a utilização de análise de agrupamento e a aplicação de inteligência artificial (IA). Foram utilizadas 3.839 informações de 200 indivíduos em um rebanho experimental de caprinos no Piauí. Considerou-se como resposta ao parasitismo a expressão fenotípica de resistência, sensibilidade e resiliência a verminose, submetidos a três métodos de agrupamento: Ward, Average e K-means, comparado com a lógica *Fuzzy*, obtidos com o software web CAPRIOVI. Os resultados demonstraram que os grupos de animais resistente, resiliente e sensível ao parasitismo foram estatisticamente distintos ( $P < 0,05$ ). As cabras durante a gestação e o periparto foram identificadas como fases de maior sensibilidade ao parasitismo ( $P < 0,05$ ). O CAPRIOVI aplica a lógica *Fuzzy* e apresentou o menor percentual de acerto global (77,00%), enquanto os métodos estatísticos tradicionais se destacaram com percentual de acerto global superior a 90,00%, demonstrando excelência estatística com esse fim. Os métodos de agrupamentos apresentaram semelhança na eficiência, mas diferiram quanto à distribuição de animais por agrupamento, com tendência de maior quantidade na categoria resistente. A aplicação da lógica *Fuzzy* contornou essa limitação ao direcionar a formação dos grupos visando atender o interesse do produtor, inserindo consistência em termos de resposta dos animais a verminose, qualificando o software com potencial para adequação ao manejo sanitário de caprinos.

**Palavras-chave:** análise discriminante; condição corporal; FAMACHA<sup>®</sup>; inteligência artificial

## Abstract

Worm infections pose a significant challenge to goat farming in the tropics. While individual variations in the animals' response to this disease are observed, understanding its genetic component is crucial for establishing effective herd production management, prioritizing the selection of goats with higher resistance to parasitism. This study aimed to assess goat response to worm infection under natural field conditions using data on eggs per gram of feces (EPG), body condition score (BCS), and conjunctival mucosa coloration (FAMACHA<sup>®</sup>). Cluster analysis and artificial intelligence (AI) techniques were applied to 3,839 data points from 200 individuals in an experimental goat herd in Piauí, Brazil. The study considered the phenotypic expression of resistance, sensitivity, and resilience to worm infection as responses to parasitism. Three clustering methods, namely Ward, Average, and k-means, were employed and compared with fuzzy logic obtained through the CAPRIOVI web software. The analysis revealed statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) between the groups of animals classified as resistant, resilient, and sensitive to parasitism. Pregnancy and peripartum were identified as stages of heightened sensitivity to parasitism ( $P < 0.05$ ). Among the clustering techniques, traditional statistical methods exhibited excellent performance, with an overall accuracy percentage exceeding 90.00%. In contrast, CAPRIOVI's fuzzy logic demonstrated lower overall accuracy (77.00%). The clustering methods showed similar efficiency, but differed in terms of the distribution of animals per group, with a tendency towards greater numbers in the resistant category. Fuzzy logic circumvented this limitation by enabling the formation of groups tailored to meet the producer's interests, adding consistency in terms of the animals' response to worm infection. This finding highlights the potential of the software for goat health management.

**Keywords:** artificial intelligence; body condition; discriminant analysis; FAMACHA<sup>®</sup>

Recebido: 10 de dezembro de 2022. Aceito: 7 de julho de 2023. Publicado: 16 de agosto de 2023.



Este é um artigo de Acesso Aberto distribuído sob os termos da Creative Commons Attribution License, que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

<https://revistas.ufg.br/vet/index>

## 1. Introdução

O parasitismo gastrointestinal tem sido apontado como fator limitante à produção de caprinos, com comprometimento da produtividade do rebanho<sup>(1,2)</sup>. Essa é uma abordagem que não é recente, mas na realidade trata-se de um problema sempre contemporâneo que vem sendo enfrentado de várias formas, havendo geralmente alguns pontos de consenso entre elas. No ambiente tropical prevalece ecossistemas favoráveis ao desenvolvimento de parasitas. Os hospedeiros caprinos geralmente apresentam duas estratégias amplas para combater as consequências adversas do parasitismo, a resistência e a tolerância.

A principal forma de controle do parasitismo utilizada é a aplicação de fármacos de amplo espectro, o que tem contribuído para o risco de resistência anti-helmíntica e a necessidade de práticas integradas de controle<sup>(3)</sup>. O uso de vermífugos não reduz a prevalência e gera a necessidade de estratégias alternativas de controle parasitário para minimizar riscos à saúde decorrentes do aumento da concentração de resíduos das drogas na carne<sup>(4)</sup> e no meio ambiente<sup>(5)</sup>.

Nas últimas décadas, o conhecimento científico tem destacado a importância da seleção assistida por marcadores moleculares para aumentar a resposta individual de resistência genética<sup>(6)</sup>. No Brasil, Santos et al.<sup>(7)</sup>, buscaram a identificação de genes relacionados com a resistência a verminose e Rodrigues et al.<sup>(8)</sup> utilizaram estatística Bayesiana com modelo animal para estimar parâmetros genéticos da resistência a verminose.

A medida mais utilizada em estudos de resistência a infecções por nematoides gastrointestinais é o exame que determina número de ovos de nematoides gastrointestinais por grama de fezes (OPG), que é uma técnica simples e útil para monitorar o nível de parasitismo nos rebanhos<sup>(8)</sup>. Mas o uso do OPG pode enfrentar limitação, principalmente devido à dificuldade para sua inclusão como rotina no manejo sanitário do rebanho. Então, o uso de outras características associadas à sanidade se torna mais adequado para auxiliar ou para conseguir maior eficiência na identificação de resistência a verminose.

A utilização do escore da condição corporal justifica-se para situação de perda de peso que possa estar associada a variação de carga parasitária do animal<sup>(9,10)</sup>. O método FAMACHA© é um critério seletivo que vem sendo utilizado para o controle de verminose, por ser prático, rápido e de baixo custo. Esta técnica consiste na comparação de diferentes tonalidades da mucosa conjuntiva que indicam o grau de anemia dos animais. Nesse caso, os animais que não desenvolveram a infecção podem ser vistos como portadores de resistência ou resiliência ao parasitismo<sup>(10)</sup>.

Como o fenótipo de resposta à verminose dos

animais envolve três características mensuráveis (exame de OPG, escore corporal e FAMACHA©), é preciso identificar qual a melhor metodologia para caracterizar animais resistentes às verminoses, e a análise de agrupamento tem ganhado espaço, por se mostrar útil para classificar animais em grupos. De acordo com o critério de particionamento, os métodos de agrupamento são classificados como hierárquicos, onde a construção do dendograma é o algoritmo padrão; e métodos não hierárquicos, sendo o mais comum o K-means.

Araújo et al.<sup>(11)</sup> realizaram trabalhos com ovinos empregando agrupamento não hierárquico utilizando o algoritmo K-means a partir de combinações de contagem de ovos por grama de fezes (OPG), coloração da mucosa conjuntiva (FAMACHA©), escore da condição corporal (ECC) e contagem de hematócrito (HCT), formando os grupos resistente, resiliente e sensível.

Para situação similar, Bitar et al.<sup>(12)</sup> utilizaram a lógica *Fuzzy* para estimar os parâmetros da relação entre peso e comprimento, como uma abordagem alternativa que considera as incertezas inerentes ao modelo, observando maior consistência dos processos não paramétricos para obtenção das estimativas. Constataram ser possível obter estimativas dos parâmetros diretamente dos centros de máximas de grupos formados por análise de agrupamento K-means. Mas, consideraram o achado de maior destaque na pesquisa os intervalos obtidos com o sistema de inferência *Fuzzy*.

Castro et al.<sup>(13)</sup> aplicaram a lógica *Fuzzy* como mecanismo de inteligência artificial no manejo zootécnico de rebanhos de pequenos ruminantes devido sua capacidade computacional ágil para ser usada no campo, compondo uma classificação do status sanitário por indivíduo e chamaram a atenção para a pequena quantidade de estudos inserindo a automação no processo produtivo destas espécies animais.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar, a partir da análise de banco de dados da raça Anglonubiana de um rebanho experimental, a resposta fenotípica à verminose em cabras sob condições de infecção natural a campo, com informações de OPG, ECC e FAMACHA© mensuradas em fêmeas, recorrendo a utilização de análise de agrupamento e inteligência artificial.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Ética em experimentos com animais

Todos os procedimentos experimentais envolvendo caprinos foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Piauí, Brasil (protocolo número 0423/2017).

## 2.2 Banco de dados

Para o estudo foram utilizadas 3.839 informações coletadas em 200 indivíduos disponível no banco de dados de caprinos raça Anglonubiana do rebanho experimental do Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal do Piauí, referente ao período de 2009 a 2019. Informações armazenadas: OPG, ECC e FAMACHA©, foram mensuradas em cabras manejadas em sistema semi-intensivo, expostas a contaminação em pastejo. Para a caracterização do perfil do banco de dados e justificativa da adequação do rebanho para essa pesquisa, apresenta-se os seguintes pontos:

No período de 2001 a 2017 buscou-se a ampliação de variabilidade fenotípica na resposta à verminose no rebanho, e para isso recorreu-se a incorporação intencional também de fêmeas que apresentavam valor elevado de OPG (perfil de sensibilidade). Uma consequência disso foi a elevação de mortalidade de cabras, também detectada em abordagem feita por Lima et al. (14). Como alternativa para reduzir mortalidade e para atender ao interesse de manter a maior quantidade possível de animais com esse perfil de resistência no rebanho, foi decidido realizar uma aplicação de vermífugo em todas as fêmeas na primeira na semana após o parto, a partir de 2005, abrangendo os dados aqui analisados.

A utilização de manejo reprodutivo com pelo menos uma estação de monta por semestre tornou possível a presença de grupos de animais no mesmo estágio fisiológico, tanto no primeiro semestre como no segundo. Como as datas de coletas dos dados foram distribuídas ao longo do ano, no banco de dados há informações de cabras gestantes e de não-gestantes, que foram expostas simultaneamente ao parasitismo.

Os animais foram manejados ao longo do ano com pastejo em piquetes com gramíneas cultivadas, sendo no período chuvoso do ano colocadas em um mesmo pasto apenas cabras com a mesma condição fisiológica, em razão da sensibilidade diferenciada de acordo com a condição fisiológica na data da coleta dos dados. Os resultados de estudos realizados nos últimos 20 anos com dados coletados no mesmo rebanho confirmaram que as cabras foram expostas a presença de parasitos ao longo do ano (14).

O manejo sanitário no período analisado teve como base o valor de OPG, que foi obtido em média três coletas por semestre no rebanho. A aplicação de vermífugo ocorreu quando 10% das cabras apresentaram valor superior a 1000, de acordo com Costa et al. (15) As coletas de fezes para a contagem do OPG ocorreram pelo menos seis vezes ao ano, obedecendo intervalos sempre superiores a 40 dias entre coletas, em cada semestre no período de 2009 a 2019. Nas mesmas datas foram registrados os valores de FAMACHA© e ECC em todas

as fêmeas em idade reprodutiva. Na edição dos dados, limitou-se considerar informações de cabras de segunda e terceira ordem de partos.

Os valores do OPG foram obtidos no laboratório de sanidade animal (LASAN-UFPI), de acordo com a técnica de Gordon e Whitlock (16), utilizando-se amostras de fezes coletadas diretamente da ampola retal dos animais. Por se tratar de dados mensurados ao longo do tempo, considerou-se a média de notas atribuídas por três avaliadores na obtenção dos valores de ECC e FAMACHA© dos animais, sendo um mantido em avaliações sucessivas, cujo objetivo foi diminuir o efeito do avaliador.

A mensuração da coloração da mucosa da conjuntiva ocular foi realizada de acordo com o método FAMACHA©, com um cartão guia desenvolvido para utilização a campo, com atribuição de 1 a 5, em que 1 o valor 1 representa o animal sem anemia e 5 animais com alto padrão de anemia. O escore da condição corporal (ECC) foi avaliado atribuindo valores em uma escala de 1 a 5, de acordo com a metodologia utilizada por Osório (17), que consiste na avaliação visual e palpação com os dedos na região lombar, localizando as apófises espinhosa e transversal. O processo teve por base a detecção de deposição de gordura e músculo, com o valor 1 correspondendo a animal muito magro e o 5 a animal com sinais de obesidade.

## 2.3 Resistência à verminose (RV) e lógica Fuzzy

A inclusão de automação no manejo sanitário, no âmbito do tratamento anti-helmíntico, para auxiliar tomada de decisão visando incorporar resistência a parasitismo por verminose é aqui analisada, considerando-se a utilização de função discriminatória com lógica *Fuzzy* como uma alternativa com este fim, a ferramenta utilizada foi o software CAPRIOVI (<https://easii.ufpi.br/capriovi>), que é um sistema *web* voltado para gerenciamento de fazendas que dispõe de um módulo para auxiliar os criadores de caprinos e ovinos no diagnóstico da necessidade de tratamento anti-helmíntico, com base em cada coleta de fezes ao longo do ano.

O mecanismo utilizado funciona por meio de inteligência computacional, onde a entrada consiste na inserção de valores das características de interesse relacionadas à resposta dos animais à verminose, e como saída, tem-se a ordenação dos animais de acordo com a necessidade de tratamento por meio de vermifugações (18).

Nesse estudo foram utilizados 3.839 valores de OPG, FAMACHA© e de ECC. O CAPRIOVI utilizou função discriminatória com lógica *Fuzzy*. Foi estimado para cada animal uma nota para a característica criada RV (resistência à verminose), que variou de 1 a 10. Quanto maior a nota de RV, maior a resistência do animal a nematoides gastrintestinais. Para o cálculo de RV os valores de OPG não necessitam de transformação de

escala. Assim, com base na característica RV foram estabelecidas as categorias equivalentes aos fenótipos: resistente (nota > 7), resiliente (nota entre 4 e 7) ou sensível (nota < 4), respectivamente.

## 2.4 Análise Estatística

Como nesse estudo o interesse foi avaliar a resposta de cabras à incidência de verminose (Resistencia, Resiliência e Sensibilidade), utilizou-se inteligência artificial (IA) recorrendo-se a uma função com lógica *Fuzzy* disponível no software web CAPRIOVI, que determinou expressão fenotípica de resposta a verminose. O mesmo banco de dados foi submetido a análise de agrupamento com os seguintes métodos multivariados: Ward, Average (hierárquicos) e K-means (não hierárquico), sendo definido a priori que seriam formados em todos apenas três grupos correspondendo a animais com perfil considerado Resistente, Resiliente e Sensível, do método anterior.

Foram utilizadas a matriz de distâncias Euclidiana entre dois elementos ( $e$ ) e a raiz quadrada do somatório dos quadrados das diferenças entre valores de  $e$  para todas as variáveis ( $v = 1, 2, \dots, p$ ):

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{v=1}^p (x_{iv} - x_{jv})^2}$$

Com as estimativas das distâncias Euclidiana entre os indivíduos, a partir dos dados padronizados, realizou-se a análise de agrupamento pelos algoritmos (Ward e *Average*) técnica hierárquica e uma inspeção visual dos dendrogramas K-means. Para aferição da eficiência dos métodos, recorreu-se ao uso de análise discriminante com a mesma função para testar os três métodos, comparados com a lógica *Fuzzy*. ou seja, com a definição prévia de três grupos a serem formados, o percentual de coincidência da função discriminante usada foi considerado como indicador da eficiência de cada método.

Em seguida, por análise descritiva dos dados considerou-se como resistência, o grupo de caprinos no qual a média do OPG e do FAMACHA© foram menores e o escore corporal foi maior. Para sensibilidade considerou-se o oposto. Enquanto no grupo com valores intermediários de OPG com boa condição corporal, considerou-se como indicação de resiliência, em concordância com o adotado em outras pesquisas <sup>(11)</sup>.

Após os resultados terem sido submetidos à mesma função discriminante ( $p < 0,05$ ), para a definição da qualidade estatística dos agrupamentos feitos (grau de coincidência) ou a qualidade do uso de IA em relação ao uso dos métodos de agrupamento para definir a resposta dos animais a verminose determinada com base no grau de acerto definido pela função discriminante, foram submetidos também a análise multivariada e análises

univariadas.

Na análise multivariada (Manova) com as características OPG, EC e FAMACHA©, as médias multivariadas serviram para comparar os métodos de agrupamento simultaneamente, quanto a discriminar os animais como sendo Resistente, Resiliente ou Sensível fenotipicamente ao endoparasitismo. Cada método de agrupamento foi analisado separadamente, recorrendo-se a análise univariada, considerando-se Resistente, Resiliente e Sensível como três tratamentos e aplicado teste de Tukey, ( $P < 0,05$ ). Analisou-se também o efeito de estágio fisiológico e idade da cabra no dia da coleta de dados, consideradas como efeitos fixos no modelo. Todas as análises estatísticas foram realizadas com emprego do software R<sup>(19)</sup>.

## 3. Resultados e discussão

Nesse estudo a resposta de cabras à infecção por endoparasitas gastrintestinais é avaliada com base nas informações de OPG, ECC e FAMACHA© coletadas apenas em fêmeas. Ao se correlacionarem positivamente e ambas negativamente com o ECC, propicia vantagens ao serem usadas em conjunto <sup>(8)</sup>. São tratadas como relacionadas com a resposta dos animais a verminose em vários estudos nos quais o interesse é que seja maior o escore e menores os valores do OPG e FAMACHA© <sup>(11,6)</sup>, que é uma exigência a ser atendida ao se usar funções com lógica *Fuzzy*, como fez-se nesse estudo.

Com as três características (OPG, ECC e FAMACHA©) combinadas numa outra denominada Resistência a Verminose (RV), que apresentou valores de 1 a 10, o seguinte laudo foi liberado pelo Software: a) Tratar os animais; b) Não tratar, mas sim mantê-los em observação e c) Não tratar. Percebe-se que os três agrupamentos de animais (resistente, resiliente e sensível ao parasitismo) foram estatisticamente distintos ( $P < 0,05$ ) e as médias são apresentadas na Tabela 1, com valores de 2,47 (sensíveis), 4,87 (Resilientes) e 7,31 (Resistente).

Percebe-se que as médias do OPG, do FAMACHA© e do Escore da Condição corporal (Tabela 1), que foram estatisticamente distintos ( $P < 0,05$ ) em análise univariada, confirmam os três grupos de animais como resistente, resiliente e sensível, corroborando com a análise da característica RV. Observa-se na Tabela 1 que, no grupo de animais resistentes, a condição fisiológica não interferiu na resposta da cabra ao parasitismo ( $P > 0,05$ ). Já no grupo de animais classificados como sensíveis, esse comportamento depende muito da condição fisiológica que a cabra se encontra. A maior sensibilidade ocorre principalmente durante a gestação e peri-parto, com efeito significativos detectados nas 4 características analisadas ( $P < 0,05$ ). No grupo de animais resilientes esse comportamento tem grande contribuição das mensurações realizadas nas cabras quando se

encontravam vazias, prevalecendo nelas a tendência de resistência a verminose nessa condição fisiológica.

**Tabela 1.** Médias das características RV, OPG, ECC e FAMACHA®, de coletas ocorridas em diferentes estágios fisiológicos de cabras da raça Anglonubiana, classificadas fenotipicamente como resistente, resiliente ou sensível ao parasitismo por verminose a campo, em rebanho destinado a pesquisa

Grupos <sup>1</sup> Estágio Fisiológico <sup>2</sup>	Resposta a Verminose (RV)	OPG	ECC	FAMACHA ®
<b>Resistente<sup>1</sup></b>	<b>7,31<sup>A</sup></b>	<b>222<sup>A</sup></b>	<b>3,13<sup>A</sup></b>	<b>2,35<sup>A</sup></b>
Gestação	7,33 <sup>a</sup>	202 <sup>a</sup>	3,19 <sup>a</sup>	2,64 <sup>a</sup>
Lactação	7,33 <sup>a</sup>	222 <sup>a</sup>	3,12 <sup>a</sup>	2,55 <sup>a</sup>
Periparto	7,29 <sup>a</sup>	251 <sup>a</sup>	3,15 <sup>a</sup>	2,64 <sup>a</sup>
Vazia	7,27 <sup>a</sup>	211 <sup>a</sup>	3,09 <sup>a</sup>	2,46 <sup>a</sup>
<b>Resiliente<sup>1</sup></b>	<b>4,87<sup>B</sup></b>	<b>612<sup>B</sup></b>	<b>2,53<sup>B</sup></b>	<b>3,18<sup>B</sup></b>
Gestação	5,16 <sup>ab</sup>	697 <sup>b</sup>	2,66 <sup>a</sup>	3,26 <sup>b</sup>
Lactação	5,06 <sup>ab</sup>	535 <sup>ab</sup>	2,42 <sup>b</sup>	3,23 <sup>ab</sup>
Periparto	4,99 <sup>b</sup>	710 <sup>b</sup>	2,53 <sup>ab</sup>	3,11 <sup>a</sup>
Vazia	5,25 <sup>a</sup>	507 <sup>a</sup>	2,51 <sup>ab</sup>	3,10 <sup>a</sup>
<b>Sensível<sup>1</sup></b>	<b>2,47<sup>C</sup></b>	<b>1945<sup>C</sup></b>	<b>2,05<sup>C</sup></b>	<b>3,93<sup>C</sup></b>
Gestação	2,62 <sup>a</sup>	1.561 <sup>a</sup>	2,15 <sup>a</sup>	3,89 <sup>a</sup>
Lactação	2,39 <sup>a</sup>	2.162 <sup>b</sup>	1,96 <sup>a</sup>	4,00 <sup>a</sup>
Periparto	2,40 <sup>a</sup>	2.325 <sup>b</sup>	2,06 <sup>a</sup>	3,87 <sup>a</sup>
Vazia	2,46 <sup>a</sup>	1.732 <sup>a</sup>	2,04 <sup>a</sup>	3,94 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Médias com letra maiúscula igual na coluna indicam que os grupos de animais não diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey, na sua resposta ao parasitismo. <sup>2</sup> Médias nos estágios fisiológicos com letra minúscula igual na coluna não diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey dentro de grupos. OPG = ovos por grama de fezes; ECC = escore da condição corporal; FAMACHA® = grau de coloração da mucosa conjuntiva.

Espera-se que o fato de todas as fêmeas terem sido vermifugadas após cada parto, exerça pouca interferência nesse resultado, pois a coleta de dados antecedeu às vermifugações, com pelo menos 40 dias de intervalo (vermifugação - coleta), que foi tempo suficiente para ocorrer a recontaminação dos animais. Porém, se influenciou de forma diferenciada os grupos, foi em razão dos animais apresentarem níveis de resistência diferentes. Além dessas considerações, é importante mencionar que os resultados apresentados na Tabela 1 são oriundos de cabras que foram expostas à presença de verminose ao longo do ano no período analisado. Essa afirmação tem por base informações do banco de dados analisado, mas também do levantamento bibliográfico realizado em estudos que foram realizados nos últimos 20 anos, os quais também utilizaram dados coletados no mesmo rebanho.

A presença de endoparasitos hematófagos é uma constatação também apresentada por Lima et al.<sup>(14)</sup>, e isso ocorreu como consequência do uso de área irrigada para pastejo na época seca do ano, que é uma prática de manejo que favorece muito a ocorrência, principalmente do *H. contortus*, como destacaram Costa Júnior et al.<sup>(20)</sup> e Batista et al.<sup>(21)</sup>. Estas são as duas literaturas que dão suporte para constar no banco de dados do rebanho, como

sendo essa uma importante informação para orientar o uso de pastos irrigados destinados à criação de caprinos na região.

Aceitando-se que o valor mais elevado de OPG foi um indicador fenotípico de sensibilidade ao parasitismo, o valor baixo de OPG indicador de resistência e o valor intermediário de OPG como de Resiliência, ou situação na qual o animal mesmo parasitado consegue se manter em produção, ou ser visto como indicação de tolerância ao parasitismo<sup>(10,22)</sup>, considera-se que a característica RV foi consistente na sua variação e caracterizou bem os três níveis de resposta das cabras avaliados. O mesmo foi observado nas três outras características analisadas, portanto, é uma demonstração que o software se adequa ao manejo sanitário de caprinos.

Assim, destaca-se como relevantes para verificação da eficiência do uso de lógica *Fuzzy* nesse estudo os seguintes pontos: a) A oscilação de peso pode ser um bom indicador da busca de animais com perfil desejado de resistência a verminose nos rebanhos. A esse respeito, de acordo com Hayward et al.<sup>(10)</sup>, a associação negativa entre a carga parasitária e o peso corporal pode ter como causa a anorexia induzida pelo parasita. Danos na parede intestinal que tem a diarreia como sinal clínico tem como consequência a diminuição da absorção de proteína. b) Cabras resistentes se mostram mais estáveis à influência da condição fisiológica ( $P < 0,05$ ), ou seja, são mais estáveis funcionalmente, com menos oscilação da condição corporal ou menor influência do parasitismo na variação do ECC ( $P > 0,05$ ), em relação a animais com sensibilidade ou resiliência (Tabela 1); e c) A gestação e o periparto foram identificados como fases de maior sensibilidade ao parasitismo (Tabela 1).

Na Tabela 2 estão apresentadas as médias multivariadas das características ovos por grama de fezes (OPG), escore da condição corporal (ECC) e grau de coloração da mucosa conjuntiva (FAMACHA®), de grupos de cabras classificadas como Resistente, Resiliente e sensíveis a verminose, estimadas com uma função discriminatória com base em lógica *Fuzzy* e de médias multivariadas de grupos estimados por métodos de agrupamento Ward, Average e k-means.

Observa-se que os três métodos de agrupamento utilizados apresentaram resultados similares ao obtido como o uso IA, todos detectando significância multivariada das médias das três características incluídas na análise estatística, dos grupos nos quais considerou-se os animais os animais como Resistente, Resiliente ou sensível a verminose. Os animais classificados como resistentes apresentaram simultaneamente menor OPG, menor FAMACHA®, e maior ECC enquanto os animais classificados como sensíveis apresentaram resultados opostos. Está em concordância com diversos estudos que têm mostrado que caprinos/ovinos classificados como resistentes apresentam menor OPG e FAMACHA®, em

comparação com animais sensíveis<sup>(8, 23)</sup>.

**Tabela 2.** Médias multivariadas das características OPG, ECC e FAMACHA© de grupos de cabras da raça Anglonubiana classificadas apresentando resistência, resiliência ou sensibilidade ao parasitismo por verminose, por métodos de agrupamentos multivariado

Método	Classificação	Característica <sup>1</sup>		
		OPG	ECC	FAMACHA©
Lógica <i>Fuzzy</i>	Resistência	270 <sup>a</sup>	3,22 <sup>c</sup>	2,95 <sup>a</sup>
	Resiliência	637 <sup>b</sup>	2,58 <sup>b</sup>	3,33 <sup>b</sup>
	Sensibilidade	1.657 <sup>c</sup>	2,12 <sup>a</sup>	3,83 <sup>c</sup>
Ward	Resistência	362 <sup>a</sup>	2,61 <sup>c</sup>	3,29 <sup>a</sup>
	Resiliência	1254 <sup>b</sup>	2,42 <sup>b</sup>	3,59 <sup>b</sup>
	Sensibilidade	3228 <sup>c</sup>	2,27 <sup>a</sup>	3,86 <sup>c</sup>
Average	Resistência	638 <sup>a</sup>	2,56 <sup>c</sup>	3,38 <sup>a</sup>
	Resiliência	2407 <sup>b</sup>	2,25 <sup>b</sup>	3,78 <sup>b</sup>
	Sensibilidade	4610 <sup>c</sup>	1,91 <sup>a</sup>	4,15 <sup>c</sup>
K-means	Resistência	436 <sup>a</sup>	2,62 <sup>c</sup>	3,32 <sup>a</sup>
	Resiliência	1431 <sup>b</sup>	2,31 <sup>b</sup>	3,65 <sup>b</sup>
	Sensibilidade	3228 <sup>c</sup>	2,27 <sup>a</sup>	3,84 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>Diferença significativa a 5% entre todos os vetores de médias dos agrupamentos a 5%, pela MANOVANP com a função Adonis do pacote Vegan. OPG= ovos por grama de fezes; ECC= escore da condição corporal; FAMACHA© = grau de coloração da mucosa conjuntiva.

Esses resultados estão de acordo com os observados por Araújo et al. <sup>(11)</sup>, que utilizaram o algoritmo K-means em estudo com ovinos da raça Santa Inês, em que animais do grupo sensíveis apresentaram forma bem evidente de sinais clínicos de anemia indicados pelo maior escore FAMACHA©, por ser o *H. contortus* um dos endoparasitas mais frequente no rebanho <sup>(20, 21)</sup>.

O vetor de médias multivariada das características diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ). Os animais considerados sensíveis apresentaram OPG 4,5 vezes mais elevados do que os resistentes (Tabela 3). Os resultados com esse perfil são semelhantes aos que foram observados por Coutinho et al. <sup>(25)</sup> em caprinos, sendo no caso justificado pelos autores como diferença relacionada à genética do animal e a outros fatores relacionados ao

hospedeiro, como idade e estado fisiológico, que se refletem em diferenças na resposta de animais de raças diferentes ou da mesma raça.

Ao se levar em consideração o aspecto diferença estatística, observa-se que a utilização de análise multivariada (utilizando OPG, FAMACHA© e ECC), mostra que os três métodos de agrupamentos foram similares entre si e também similar ao uso do algoritmo de IA para a separar os animais em três grupos denominados nesse estudo de Resiste, Resiliente e Sensível ao parasitismo. Entretanto, observa-se que os métodos de agrupamento, influenciaram as médias das características ( $P < 0,05$ ).

Considerando-se como exemplo o grupo de animais apresentados como resistente pela lógica *Fuzzy* e Average, respectivamente (Tabela 2), as médias do OPG foram 270 e 638, ou seja, uma variação em mais de 200%. Esse comportamento se repete nos dois outros grupos, o de animais considerados Sensível e no de resilientes.

O resultado apresentado com o uso de inteligência artificial com a lógica *Fuzzy* apresentou as médias de OPG para os grupos de fenótipos Resistência, Resiliência e Sensibilidade compatível com a recomendação que constam na literatura. A média de OPG está dentro da faixa de variação desse parâmetro constatada por Idika et al. <sup>(26)</sup>. As médias do FAMACHA© e ECC ficaram dentro dos valores normais para estas características <sup>(8, 27)</sup>. Por sua vez, os métodos multivariados de agrupamentos tenderam a elevar essas médias em consequência de alocarem maior quantidade de animais com perfil de Resistência a verminose.

Apresenta-se na Tabela 3 os resultados aferição por função discriminante da taxa de acerto (eficiência), ao serem comparados o uso de IA e os métodos de agrupamentos para separar cabras da raça Anglonubiana como Resistente, Resiliente ou Sensível a verminose, com base no OPG, ECC e FAMACHA©.

**Tabela 3.** Aferição por função discriminante da eficiência do uso de métodos de agrupamento e de IA para distribuir cabras da raça Anglonubiana em três grupos: Resistente, Resiliente e Sensível ao parasitismo com base no com base no OPG, ECC e FAMACHA©

Método	Classificação	n	Particionamento no n			Acerto (%)	Acerto global (%)
			Resistente	Resiliente	Sensível		
Lógica <i>Fuzzy</i>	Resistente	29	17	12	0	58,62	77,00
	Resiliente	101	5	88	8	87,13	
	Sensível	70	0	21	49	70,00	
Agrupamento Ward D	Resistente	110	86	16	0	77,78	92,00
	Resiliente	72	0	72	0	100	
	Sensível	18	0	0	18	100	
Agrupamento Average	Resistente	172	172	0	0	100	100
	Resiliente	23	0	23	0	100	
	Sensível	5	0	0	5	100	
Agrupamento K-means	Resistente	131	131	0	0	100	96,00
	Resiliente	51	7	44	0	86,27	
	Sensível	18	0	1	17	94,40	

n = número de animais.



Nessa situação é conveniente considerar que esse resultado não representa limitação estatística da capacidade de o método formar os grupos, mas é uma indicação que não se adequa bem para atender aos objetivos pretendidos em situação similar à desse estudo, na qual pode-se considerar como suficiente os animais como resistente, resiliente ou sensível.

Na Tabela 3, a eficiência para alocar os animais nos grupos de acordo com uma mesma função discriminante. Observou-se que abordagem da análise discriminante com a lógica *Fuzzy* apresenta menor percentual de acerto global (77,00%), enquanto o maior percentual (100%) de coincidência na discriminação dos animais foi apresentado pelos métodos de agrupamento Average. Porém, em termos da finalidade da ferramenta de classificação para fins zootécnicos, a ordem crescente da quantidade de animais apresentando resiliência, sensibilidade e resistência, que foi obtida com a função discriminatória por lógica, está em concordância com o constatado em literaturas com esse tema<sup>(13)</sup>. Porém não apareceu no resultado quando se utilizou os métodos de agrupamento tradicionais, que apresentaram sendo maior a quantidade de animais com perfil de resistência ao parasitismo nos rebanhos.

É importante entender que, ao se considerar uma cabra como fenotipicamente mais resistente que outra, pode ser que esteja sendo quantificado apenas que uma se encontra mais sensível que a outra temporariamente, que equivaleria a quantificação de picos sazonais de carga parasitária desses animais. No animal resistente esse risco é menor. Além disso, há um direcionamento bem definido para atender a interesses zootécnicos com o uso de lógica *Fuzzy*. A aplicação da lógica *Fuzzy* envolveu aspecto interativo no processo de agrupamento, que de acordo com Castro et al.<sup>(13)</sup>, o interesse é que o animal apresente maior escore corporal associado a menores valores de OPG e FAMACHA©. Consequentemente, se os valores da correlação parcial entre essas três características diferir, aquela correlação de maior valor pode funcionar como fator de ponderação ou peso no processo de agrupamento, que pode deslocar o animal de um grupo para outro.

Por não levar em consideração a natureza dessa correlação, o método multivariado de agrupamento pode se expor mais ao risco de não atender ao interesse zootécnico do que a lógica *Fuzzy*, que seria alocar um animal como resistente em razão dele ser parasitado por vermes não hematófagos e apresentar valor baixo de anemia indicada pelo FAMACHA©, associado a valor elevado de OPG.

Pelo exposto, percebe-se que o menor percentual de acerto geral de alocação dos animais nos três agrupamentos (resistente, resiliente ou sensível) apresentado pela lógica *Fuzzy* (77,00%), seja

considerado um indicador de inadequação do método para estudo da resposta dos animais ao parasitismo. Porém, a abordagem lógica *Fuzzy* corrigiu a tendência dos métodos multivariados de ampliar a quantidade de animais resistentes, descolando da literatura quanto a maior ocorrência de animais sensíveis a verminose. Tal ponto requer atenção para não confundir a excelência ou robustez estatísticas desses métodos para agrupar, com a excelência zootécnica necessária, se utilizados como critério de seleção dos produtores ou em estudo da resposta dos animais a verminose<sup>(2)</sup>.

A concordância dos resultados da lógica *Fuzzy* com os achados de porcentagem de animais resistentes a verminose<sup>(24, 28)</sup>, indicou que a inteligência artificial aplicada no manejo de verminose insere um componente de excelência desta ferramenta para a aplicação zootécnica. Assim, considerou-se que a lógica *Fuzzy* formou estrutura do perfil fenotípico com potencial para atender melhor os interesses zootécnicos do que os algoritmos multivariados. Assim, se consideramos que evitar a disseminação de doenças deve fazer parte das boas práticas do manejo sanitário, uma medida simples poderia ser constar nas estratégias de manejo do rebanho, o uso de informações de OPG, ECC e FAMACHA©, a serem trabalhadas com os recursos avaliados nesse estudo, de modo a indicar que a sensibilidade a verminose é uma fragilidade do animal que aumenta o risco de morte, que o torna passível de descarte.

#### 4. Conclusão

A aplicação da lógica *Fuzzy* possibilitou formar categorias da resposta a verminose para atender a interesse zootécnico, mostrando ser uma ferramenta que pode auxiliar a seleção de animais fenotipicamente mais resistentes ao parasitismo.

#### Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse

#### Contribuições do autor

*Conceituação:* W. P. S. Oliveira, N. P. S. Santos e A. M. Araújo. *Curadoria de dados:* N. P. S. Santos e M. B. Oliveira. *Investigação:* W. P. S. Oliveira e A. M. Araújo. *Metodologia:* N. P. S. Santos, M. B. Oliveira e A. F. Evangelista. *Redação (revisão e edição):* W. P. S. Oliveira, N. P. S. Santos, A. F. Evangelista, R. T. Costa Filho e A. M. Araújo.

#### Agradecimentos

Ao Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo, pelo zelo com que tratou a formação do banco de dados de caprinos da UFPI durante 28 anos de manejo do rebanho.

## Referências

- Lima CM, Tomazella VL, Evangelista AF, Campelo JE, Sousa Junior SC. Gamma-Gompertz mixture model with cure fraction to analyze data on Anglo-Nubian goats with positive EPG. *Small Ruminant Research*. 2022;106879. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106879>
- Oliveira WPS, Santos NPS, Oliveira MB, Araújo AM. Lógica Fuzzy para discriminar a resposta de caprinos a verminose: resistência, resiliência e sensibilidade. *Revista Sodebras*. 2022;17(197): 70-77. <http://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.197.70>
- Embrapa Pecuária Sudeste, SARA, Software para análise de risco de desenvolvimento de resistência parasitária a anti-Helmínticos em ovinos. Embrapa Pecuária Sudeste-Fólder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E), 2014.
- Assenza F, Elsen JM, Legarra A, Carré C, Sallé G, Robert-Granié C, Moreno CR. Genetic parameters for growth and faecal worm egg count following *Haemonchus contortus* experimental infestations using pedigree and molecular information. *Genetic Selection Evolution*. 2014;46(1): 13. doi: <http://doi.org/10.1186/1297-9686-46-13>
- Dobson RJ, Hosking BC, Besier RB, Love S, Larsen JWA, Rolfe PF, Bailey JN. Minimizing the development of anthelmintic resistance, and optimizing the use of the novel anthelmintic monepantel, for the sustainable control of nematode parasites in Australian sheep grazing systems. *Australian Veterinary Journal*. 2011;89(5): 160- 166. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2011.00703.x>
- Torres TS, Sena LS, Santos GV, Figueiredo Filho LAS, Barbosa BL, Sousa Junior A, Brito FB, Sarmiento JLR. Genetic evaluation of sheep for resistance to gastrointestinal nematodes and body size including genomic information. *Animal Bioscience*. 2021;34(4):516. doi: <http://doi.org/10.5713/ajas.19.0816>
- Santos GV, Santos NPDS, Figueiredo Filho LAS, Britto FB, Sena LS, Torres TS, Carneiro PLS, Sarmiento JLR. Comparison of genetic parameters and estimated breeding values for worm resistance in meat sheep obtained using traditional and genomic models. *Tropical Animal Health and Production*. 2021;53(2): 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02705-3>
- Rodrigues FN, Sarmiento JLR, Leal TM, Araújo AM, Figueiredo Filho LAS. Genetic parameters for worm resistance in Santa Inês sheep using the Bayesian animal model. *Animal Bioscience*. 2021;34(2):185. doi: <http://doi.org/10.5713/ajas.19.0634>
- Vieira LS. Alternative methods for the control of gastrointestinal nematodes in goats and sheep. *Tecnol & Ciên Agropec*. 2008;2(2): 49-56.
- Hayward AD, Nussey DH, Wilson AJ, Berenos C, Pilkington JG, Watt KA, Pemberton JM, Graham AL. Natural selection on individual variation in tolerance of gastrointestinal nematode infection. *PLoS biology*. 2014;12(7): e1001917. doi: <http://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001917>.
- Araújo JIM, Santos NPS, Oliveira MB, Sena LS, Biagiotti D, Rego Neto ADA, Sarmiento JLR. Non-hierarchical cluster analysis for determination of resistance to worm infection in meat sheep. *Tropical Animal Health and Production*. 2021;53(1): 1-8. doi: <http://doi.org/10.1007/s11250-020-02484-3>.
- Bitar SD, Campos CP, Freitas CEC. Applying Fuzzy logic to estimate the parameters of the length-weight relationship. *Brazilian Journal of Biology*. 2016;76(3): 611-618. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.20014>
- Castro O, Borges L, Pereira A, Lima F, Parentes M, Sarmiento L, Santos P. Módulo computacional para indicação de tratamento anti-helmíntico em caprinos e ovinos. In *Anais da IV Escola Regional de Informática do Piauí* (pp. 274-279). SBC. 2018.
- Lima CM, Tomazella VL, Campelo JE, João Filho LA, Bironi Junior W, Sousa Junior SC. Gamma-Gompertz shared frailty model for analysis of the time of stay in an Anglo-Nubian goat herd. *Small Ruminant Research*. 2021;199: 106368. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106368>
- Costa VMM, Simões SVD, Riet-Correa F. Controle das parasitoses gastrintestinais em ovinos e caprinos na região semiárida do Nordeste do Brasil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2011;31(1): 65-71. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2011000100010>
- Gordon H, Whitlock HV. A new technique for counting nematode eggs in sheep faeces. *Journal Council Scientific and Industrial Research*. 1939;12(1): 50-2. <http://hdl.handle.net/102.100.100/339340?index=1>
- Osório JDS. Produção de carne ovina: técnicas de avaliação "in vivo" e na carcaça. Universidade Federal de Pelotas. 2003;73.
- Borges LS, Rocha FSB, Neri VS, Maia FSP, Castro OCC, Campelo JEG, Sarmiento JLR. Gestão zootécnica e genética informatizadas em pequenos ruminantes: uma revisão. *Medicina Veterinária (UFRPE)*. 2019;13(2): 251-257. <https://doi.org/10.26605/medvet-v13n2-3083>
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.Rproject.org/>
- Costa Júnior GS, Mendonça IL, Campelo JEG, Cavalcante RR, Dantas Filho LA, Nascimento IMR, Almeida ECS, Chaves RM. Efeito de vermifugação estratégica, com princípio ativo à base de Ivermectina na incidência de parasitos gastrintestinais no rebanho caprino da UFPI. *Ciência Animal Brasileira*. 2006;6(4): 279-286.
- Batista JF, Campelo JEG, Morais MF, Silva PO, Magalhães PC, Barçante FPDS, Mendonça IL. Endoparasitismo gastrintestinal em cabras da raça Anglonubiana. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Anima*. 2014;15(2): 318-326. doi: <http://doi.org/10.1590/S1519-9940.2014000200016>
- Bishop SC. A consideration of resistance and tolerance for ruminant nematode infections. *Frontiers in Genetics*. 2012;3(1): 168. <https://doi.org/10.3389/fgene.2012.00168>
- Rosalinski-Moraes F, Fernandes FG, Munaretto A, Oliveira S, Wilmsen MO, Pereira M W, Meirelles ACF. Método FAMA-CHA©, escore corporal e de diarreia como indicadores de tratamento anti-helmíntico seletivo de ovelhas em reprodução. *Bioscience journal*. 2012;28(6): 1015-1023.
- Carneiro ART, Sanglard DA, Azevedo AM, Souza TLPOD, Pereira HS, Melo LC. Fuzzy logic in automation for interpretation of adaptability and stability in plant breeding studies. *Scientia Agricola*. 2019;76(2): 123-129. doi: <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0207>
- Coutinho RMA, Benvenuti CL, Andrade Júnior ALF, Silva FC, Neves MRM, Navarro AMC, Vieira LS, Zaros LG. Phenotypic markers to characterize F2 crossbreed goats infected by gastrointestinal nematodes. *Small Ruminant Research*. 2015;123(1): 173-178. doi: <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.10.002>
- Idika IK, Chiejina SN, Mhonga LI, Nnadi PA, Ngongeh LA. Changes in the body condition scores of Nigerian West African Dwarf sheep experimentally infected with mixed infections of

*Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis*. *Veterinary Parasitology*. 2012;188(1-2): 99-103. doi: <http://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.02.020>

27. Mexia AA, Macedo FAF., Oliveira CAL, Zundt M, Yamamoto SM, Santello GA, Carneiro RDC, Sasa A. Susceptibilidade a nematóides em ovelhas Santa Inês, Bergamácia e Texel no Noroeste do Paraná Susceptibility to nematodes of Santa Inês, Bergamácia and Texel ewes on northwest of Paraná. *Semina: Ciências Agrárias*. 2011;32(1): 1921-1928. doi: <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1921>

28. Blanco-Fernández A, Casals MR, Colubi A, Corral N, Garcia-Barzana M, Gil MA, González-Rodríguez G, López MT, Lubiano MA, Montenegro M, Ramos-Guajardo AB, Sinova, B. A distance-based statistical analysis of fuzzy number-valued data. *International Journal of Approximate Reasoning*. 2014;55(7): 1487-1501. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijar.2013.09.020>