

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

LUANA POSSARI MAZIERO

**SISTEMA *FUZZY* DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SÊMEN BOVINO E SUAS
APLICAÇÕES NA INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES DO ANO NA FERTILIDADE**

TUPÃ

2017

LUANA POSSARI MAZIERO

**SISTEMA *FUZZY* DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SÊMEN BOVINO E SUAS
APLICAÇÕES NA INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES DO ANO NA FERTILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de pesquisa: Competitividade de Sistemas Agroindustriais

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientadores: Prof^ª. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel e Prof. Dr. Marcelo George Mungai Chacur

TUPÃ-SP

2017

M427s

Maziero, Luana Possari.

Sistema Fuzzy de avaliação de qualidade do sêmen bovino e suas aplicações na influência das estações do ano na fertilidade / Luana Possari Maziero. – Tupã, 2017.
57 f.

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Luis Roberto Almeida Gabriel Filho.

Co-orientador: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel e Prof. Dr. Marcelo George Mungai Chacur.

1. Lógica difusa. 2. Manejo pecuário. 3. Influência climática. I. Autor. II. Título.

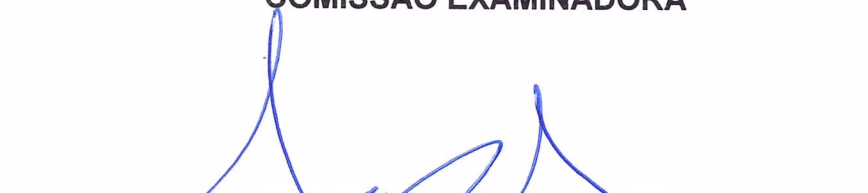
CDD 636.0824

LUANA POSSARI MAZIERO

**SISTEMA FUZZY DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SÊMEN BOVINO E
SUAS APLICAÇÕES NA INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES DO ANO NA
FERTILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e
Desenvolvimento (UNESP/Tupã), como requisito para obtenção do título de Mestre.


COMISSÃO EXAMINADORA



Prof(a). Dr(a). Luis Roberto Almeida Gabriel Filho
(Orientador)



Prof(a). Dr(a). Diogo de Lucca Sartori
(UNESP/Tupã-SP)



Prof(a). Dr(a). Daniel dos Santos Viais Neto
(FATEC/Presidente Prudente-SP)

Dissertação defendida e aprovada em:
21 de fevereiro de 2017

Dedico,
*Aos meus pais, Reinaldo e Marlene, ao meu irmão Guilherme
e ao meu esposo Estéfano que contribuíram para esta
conquista.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, inteligência e saúde para trilhar os caminhos que possibilitassem alcançar este objetivo.

A minha família, em especial meus pais, Reinaldo e Marlene, e meu irmão Guilherme, que se desdoblaram para me possibilitar condições de cumprir mais esta etapa, agradeço por todo incentivo, dedicação e amor. E ao meu esposo Estéfano, pela paciência, carinho e compreensão durante estes anos.

Ao Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho que me acompanha desde a iniciação científica, por acreditar em minha capacidade e me ajudar a evoluir academicamente, permitindo a conclusão de mais esta etapa. Agradeço pela amizade, paciência e direcionamento em todos esses anos de pesquisa.

Aos meus coorientadores Prof^a. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel e Prof. Dr. Marcelo George Mungai Chacur e ao Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti por agregar conhecimento para a construção deste trabalho.

A UNESP Câmpus de Tupã por me acolher na graduação e pós-graduação, propiciando as condições necessárias para o meu aprendizado e desenvolvimento pessoal e profissional, bem como os Docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento que compartilharam seus conhecimentos.

Agradeço aos colegas da Diretoria de Ensino – Região de Tupã, em especial do Núcleo de Finanças, que permitiram a realização deste mestrado, compreendendo minhas ausências e incentivando meu crescimento profissional.

“Gente que não tem dúvida não é capaz de inovar, de reinventar, não é capaz de fazer de outro modo. Gente que não tem dúvida só é capaz de repetir”.

Mario Sergio Cortella

MAZIERO, Luana Possari. *Sistema fuzzy de avaliação da qualidade do sêmen bovino e suas aplicações na influência das estações do ano na fertilidade*. 2017. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2017.

Resumo

Em virtude das mudanças climáticas que vem ocorrendo e da necessidade de tecnologias que melhorem o manejo pecuário, o objetivo desta dissertação é elaborar um modelo matemático baseado em lógica *Fuzzy* capaz de fornecer instantaneamente o escore de fertilidade de touros a partir da avaliação do sêmen animal e, aplicá-lo a um conjunto de dados para validá-lo e verificar a influência das estações do ano na fertilidade. Para isso, o modelo considerou os limites estabelecidos pelo CBRA/MAPA para as variáveis Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais do sêmen, compondo uma base de regras de 735 combinações do tipo “Se...Então”, pelo método de inferência Mamdani para determinar a Fertilidade *Fuzzy*, sendo aplicado a 152 amostras validas coletadas de touros da raça Nelore e Simental durante o período de um ano. Os resultados foram analisados por meio de testes estatísticos (teste Tukey, análises de variância, correlação, clusters, regressão e curva ROC), mostrando que o modelo é eficiente em seu objetivo de classificação e que as condições climáticas afetam os animais de maneira geral, sem indicadores significativos para diferenças entre as raças, sendo que as variáveis apresentaram-se bastante representativas ao modelo, possibilitando uma nova ferramenta de auxílio ao produtor.

Palavras-chave: lógica difusa; manejo pecuário; influencia climática.

MAZIERO, Luana Possari. *Fuzzy system for evaluating the quality of bovine semen and its applications in the influence of the seasons on fertility*. 2017. 57 p. Dissertation (Master in Agribusiness and Development) – School of Sciences and Engineering, Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho", Tupã, 2017.

Abstract

The objective of this dissertation is to elaborate a mathematical model based on *Fuzzy* logic capable of providing instantaneously the fertility score of bulls from the evaluation of the animal semen and apply it to a set of data to validate it and verify the influence of the seasons of the year on fertility. For this, the model considered the limits established by the CBRA / MAPA for the variables Turbidity, Motility, Vigor, Major Defects, Minor Defects and Total Defects of the semen, composing a rule base of 735 "If ... Then" , combined by the Mamdani inference method to determine *Fuzzy* Fertility, being applied to 152 valid samples collected from Nelore and Simmental bulls during a one year period. The results were analyzed by means of statistical tests (Tukey test, analysis of variance, correlation, clusters, regression and ROC curve) showing that the model is efficient in its classification objective and that the climatic conditions affect the animals in general, without significant indicators for differences among races, and the variables were quite representative of the model, allowing a new tool to assist the producer.

Keywords: diffuse logic; livestock management; climatic influence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema geral baseado em regras <i>Fuzzy</i> para a obtenção da avaliação da Fertilidade <i>Fuzzy</i> a partir das características de entrada.	18
Figura 2: Funções de pertinência para características de (A) Restrição mínima e (B) Restrição máxima.....	20
Figura 3: Funções de pertinência da variável de saída Fertilidade <i>Fuzzy</i>	25
Figura 4: Funções de pertinência das variáveis de entrada (A) Turbilhão, (B) Motilidade, (C) Vigor, (D) Defeitos Maiores, (E) Defeitos Menores e (F) Defeitos Totais.	26
Figura 5: Mapa de Contorno das variáveis (1) Turbilhão e Motilidade, (2) Turbilhão e Vigor, (3) Turbilhão e Defeitos Maiores, (4) Turbilhão e Defeitos Menores, (5) Turbilhão e Defeitos Totais, (6) Motilidade e Vigor, (7) Motilidade e Defeitos Maiores, (8) Motilidade e Defeitos Menores, (9) Motilidade e Defeitos Totais, (10) Defeitos Menores e Defeitos Totais, (11) Vigor e Defeitos Maiores, (12) Vigor e Defeitos Menores, (13) Vigor e Defeitos Totais, (14) Defeitos Maiores e Defeitos Menores, (15) Defeitos Maiores e Defeitos Totais.	29
Figura 6: Mapa de Contorno da região apta para as variáveis (1) Turbilhão e Motilidade, (2) Turbilhão e Vigor, (3) Turbilhão e Defeitos Maiores, (4) Turbilhão e Defeitos Menores, (5) Turbilhão e Defeitos Totais, (6) Motilidade e Vigor, (7) Motilidade e Defeitos Maiores, (8) Motilidade e Defeitos Menores, (9) Motilidade e Defeitos Totais, (10) Defeitos Menores e Defeitos Totais, (11) Vigor e Defeitos Maiores, (12) Vigor e Defeitos Menores, (13) Vigor e Defeitos Totais, (14) Defeitos Maiores e Defeitos Menores, (15) Defeitos Maiores e Defeitos Totais.....	31
Figura 7: Quantidade de animais classificados como (A) aptos e (B) inaptos por estação climática.....	40
Figura 8: Distribuição dos animais por conjuntos <i>Fuzzy</i> de classificação durante as estações do ano (A) Primavera, (B) Verão, (C) Outono, (D) Inverno.	41
Figura 9: Desempenho individual dos touros da raça Simental ao longo do estudo.....	42
Figura 10: Desempenho individual dos touros da raça Nelore ao longo do estudo.....	42
Figura 11: Dendograma da relação das variáveis Fertilidade <i>Fuzzy</i> , Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais para os dados da estação da (A) Primavera, (B) Verão, (C) Outono e (D) Inverno.....	47
Figura 12: Dendograma da relação das variáveis Fertilidade <i>Fuzzy</i> , Turbilhao, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais em todas as estações.	48
Figura 13: (A) Superfície e (B) Mapa de Contorno para as variáveis Turbilhão e Defeitos Maiores e sua influência sob a Fertilidade <i>Fuzzy</i>	51
Figura 14: (A) Superfície e (B) Mapa de Contorno para as variáveis Turbilhão e Defeitos Totais e sua influência sob a Fertilidade <i>Fuzzy</i>	51
Figura 15: (A) Superfície e (B) Mapa de Contorno para as variáveis Defeitos Maiores e Defeitos Totais e sua influência sob a Fertilidade <i>Fuzzy</i>	52
Figura 16: Curva ROC para o modelo <i>Fuzzy</i> proposto.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valor permitido para cada variável a ser considerada no estudo de acordo com CBRA/MAPA, 2013.....	19
Tabela 2: Valores do Limite, Limite Inferior, Limite Superior e a denotação de cada variável.	20
Tabela 3: Delimitadores das funções de pertinência das variáveis de entrada com Restrições Mínimas.	21
Tabela 4: Delimitadores das funções de pertinência das variáveis de entrada com Restrições Máximas.	21
Tabela 5: Forma genérica dos limites das funções de pertinência dos conjuntos da variável de saída Fertilidade <i>Fuzzy</i>	24
Tabela 6: Limites numéricos das funções de pertinência dos conjuntos da variável de saída Fertilidade <i>Fuzzy</i>	24
Tabela 7: Limites das funções de pertinência das variáveis de entrada para as variáveis com restrição mínima.	25
Tabela 8: Limites das funções de pertinência das variáveis de entrada para as variáveis com restrição máxima.....	25
Tabela 9: Escore atribuído a cada função de pertinência de cada uma das características.	27
Tabela 10: Informações climáticas obtidas no município de Presidente Prudente, durante o período de estudo.....	37
Tabela 11: Animais mais indicados a reprodução, por raça e por coleta de amostra de sêmen.	43
Tabela 12: Média, desvio-padrão e análise de Tukey para as variáveis de entrada e saída nas estações do ano e raças.	45
Tabela 13: Correlação significativa (com p -valor<5%) entre a variável de saída Fertilidade <i>Fuzzy</i> e as variáveis de entrada Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais.	46
Tabela 14: Indicadores da análise de regressão para as variáveis consideradas na equação de regressão.	50

SUMÁRIO

Introdução	12
Capítulo 1: Sistema <i>Fuzzy</i> de avaliação do grau de fertilidade de bovinos em relação às características do sêmen	15
1 Introdução.....	16
2 Material e Métodos.....	17
2.1 Modelagem Matemática (Sistema Fuzzy)	17
2.2 Método de Avaliação de Fertilidade	19
3 Resultados e Discussão	25
4 Conclusão	32
5 Referências	32
Capítulo 2: Efeitos das estações do ano na qualidade do sêmen de bovinos utilizando um Sistema <i>Fuzzy</i> de avaliação	34
1 Introdução.....	35
2 Material e Métodos.....	36
2.1 Dados de Análise	36
2.2 Análise dos Dados	37
3 Resultados e Discussão	40
4 Conclusão	53
5 Referências	54
Considerações Finais	56
Referências	57

Introdução

O Brasil é possuidor do maior rebanho bovino comercial do mundo, estimado em aproximadamente 209 milhões de cabeças e, desde 2004, líder nas exportações com um quinto do comércio internacional (IBGE, 2014), sendo que a manutenção destas posições frente ao mercado internacional exige a constante melhoria deste rebanho. Para isso, segundo Neves et al. (1999), é importante avaliar o desempenho reprodutivo dos animais, pois sua eficiência influencia diretamente a produção de leite e carne.

É certo que o desenvolvimento de métodos estatísticos cada vez mais avançados e o uso de tecnologias de reprodução assistida ajudaram a maximizar a seleção para ganho genético, de acordo com Singh (2014). Contudo Standerholen (2015) e Singh (2014), relatam que o sucesso dos programas de inseminação artificial bovina depende, em grande parte, do uso de sêmen de boa qualidade, já que as características do espermatozóide estão correlacionadas às diferenças na fertilidade, sendo igualmente importante para se obter uma alta taxa de concepção, a fertilidade das fêmeas, através do exame dos óvulos.

Em consonância, Amaral et al. (2003) relatam que o investimento na Inseminação Artificial torna-se viável a partir de uma taxa de prenhez de 70%, e devido as taxas brasileiras estarem entre 50% e 60%, muitos produtores evitam esta prática. Contudo, é fundamental a adaptação de manejo pecuário, já que de acordo com McManus et al. (2012), as principais raças bovinas tiveram locais de origem e seleção diferentes das condições de criação, sendo necessário a alteração das condições para a manutenção dos rebanhos.

Ainda de acordo com os mesmos autores, alguns estudos têm demonstrado que as raças zebuínas possuem maior adaptabilidade a climas tropicais, porém apresentam menores taxas de reprodução e maciez da carne em comparação com as raças taurinas, que são melhores adaptadas a climas temperados. Isso ocorre devido às características de pele e pêlo das raças zebuínas favorecerem a resistência a parasitas e conferirem maior resistência ao calor, devido ao metabolismo mais baixo, beneficiando a criação em climas tropicais (ACNB, 2017).

No Brasil, as raças zebuínas correspondem a 80% do rebanho, sendo que 90% deste correspondem à criação de animais Nelore, devido a esta raça ser bastante adaptada ao ambiente e sistema de produção brasileira, porém o sul do país caracterizado por baixas temperaturas e pastagens de alto valor nutritivo a predominância de criação é de raças do tipo taurinas, entre eles o Simental (ABIEC, 2016).

Dada a complexidade dos sistemas de pecuária e as condições climáticas que apresentam impacto sobre a oferta de recursos naturais e demandas de mercado, se faz necessário um conjunto de políticas e inovações tecnológicas, principalmente relacionadas à nutrição, saúde e reprodução animal para a evolução do sistema pecuário (THORNTON, 2009).

Desta maneira, é crescente a busca por ferramentas que contribuem para selecionar animais que tenham as melhores características para serem reprodutores, garantindo o permanente aumento da produtividade por meio de ganhos imediatos e permanentes, segundo Faria (1999). Assim, a utilização de sistemas baseados em inteligência artificial tem se destacado, pois apresentam capacidade de trabalhar com a subjetividade (GHARIBI et al., 2012).

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* possui essa capacidade, pois apresenta a tentativa de imitação da capacidade humana de tomada de decisões baseadas em informações imprecisas, tornando possível a interpretação de variáveis quantitativas com retorno de uma variável qualitativa (ZADEH, 2008; REZAEI e ORTT, 2013).

Considerando (1) a necessidade de evolução da pecuária brasileira, a fim de manter o país em uma posição de destaque no comércio internacional, (2) que as condições climáticas têm impacto sobre a produção pecuária, principalmente no que tange a disponibilidade de alimentos para estes animais e a sua fisiologia e que (3) a base de criação brasileira se dá em raças zebuínas, que são bastante adaptadas ao clima tropical, porém com lenta maturidade sexual, o que limita o aproveitamento do rebanho, é necessário questionar como seria possível melhorar os índices de reprodução de bovinos ao clima brasileiro para que a pecuária nacional continue evoluindo.

Para isto é necessário que o produtor tenha ferramentas que o auxiliem a identificar os animais que possuem melhores características de fertilidade, a fim de obter maiores chances de sucesso reprodutivo. Desta forma, o produtor avança na gestão de sua produção por meio da eficiência e, conseqüentemente, melhora sua competitividade.

Assim, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo computacional baseado em lógica *Fuzzy* que seja capaz de avaliar bovinos em relação à qualidade do sêmen de touros para posterior classificação de acordo com o grau de fertilidade atribuído, permitindo verificar os animais que possuem melhores condições de reprodução em um determinado momento.

Constituem como objetivos específicos deste trabalho:

- (1.º) Elaborar um modelo matemático, baseado em lógica *Fuzzy*, que avalie cada animal de acordo com as variáveis de fertilidade descritas no manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal elaborado pelo Colégio Brasileiro de Reprodução Animal (CBRA) em parceria com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), buscando a classificação dos animais de acordo com o escore de Fertilidade *Fuzzy* obtido.
- (2.º) Aplicar o modelo desenvolvido para diversas amostras de sêmen de animais de diferentes raças nas quatro estações do ano, agrupando animais com características semelhantes para a formação de grupos homogêneos e verificando a influência das estações climáticas na fertilidade dos touros.
- (3.º) Validar o modelo desenvolvido por meio de análises estatísticas que evidenciem a qualidade da classificação feita pelo sistema e indicadores de possíveis variáveis que influenciem na qualidade do sêmen bovino.

Para atingir os objetivos propostos, esta dissertação foi dividida em dois capítulos, sendo o primeiro intitulado “Sistema *Fuzzy* de avaliação do grau de fertilidade de bovinos em relação às características do sêmen” que tratará do desenvolvimento da modelagem *Fuzzy* a ser utilizada. E o segundo capítulo intitulado “Efeitos das estações do ano na qualidade do sêmen de bovinos utilizando um Sistema *Fuzzy* de avaliação” que diz respeito à aplicação do modelo desenvolvido a um rebanho, indicando a possível influência do clima sobre a qualidade do sêmen, além de validar o modelo desenvolvido por meio de análises estatísticas.

Capítulo 1: Sistema *Fuzzy* de avaliação do grau de fertilidade de bovinos em relação às características do sêmen

Resumo

Visando a manutenção da competitividade da pecuária brasileira frente ao mercado internacional, os produtores ampliaram os investimentos em tecnologias que melhorassem o manejo produtivo e reduzissem os custos. Desta maneira, ferramentas de auxílio a tomada de decisão desperta o interesse de produtores rurais para a melhoria da gestão pecuária. Assim, o objetivo deste capítulo é elaborar um modelo matemático baseado em lógica *Fuzzy* que seja capaz de fornecer instantaneamente o escore de fertilidade de touros, a partir da avaliação de características do sêmen animal, permitindo o agrupamento de animais com potencialidade reprodutiva semelhante. Tal sistema permitiria eficiência no que diz respeito à taxa de prenhez e capacidade de transmissão de características desejáveis. Para o desenvolvimento do modelo foi considerado os limites estabelecidos pelo Colégio Brasileiro de Reprodução Animal em parceria com o Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento para as variáveis Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais do sêmen. Tais variáveis foram combinadas por meio de uma base de regras do tipo “Se...Então”, pelo método de inferência Mamdani, totalizando 735 regras, que forneceu a variável de saída Fertilidade *Fuzzy*. Desta maneira, tem-se a classificação de touros inaptos para fertilidade menor que 1 e aptos, com graus de classificação em 13 grupos, para resultados maiores ou igual a 1. O modelo mostrou-se eficiente em seu objetivo de classificação, possibilitando uma nova ferramenta de auxílio ao produtor.

Palavras-chave: lógica *Fuzzy*; reprodução animal; ferramenta de decisão.

Abstract

In order to maintain the competitiveness of Brazilian cattle breeding in relation to the international market, producers increased investments in technologies that improve productive management and reduce costs. In this way, tools to aid decision making arouse the interest of rural producers to improve livestock management. Thus, the objective of this chapter is to elaborate a mathematical model based on *Fuzzy* logic that is able to provide instant fertility score of bulls, from the evaluation of characteristics of the animal, allowing the grouping of animals with similar reproductive potential. Such a system would allow efficiency the pregnancy rate and the transmission capacity of desirable traits. For the development of the model, to be considered the limits set the Brazilian College of Animal Reproduction for the Committee on Agriculture and Supply for the variables Tourbillon, Motility, Vigor, Larger Defects, Minor Defects and Total Defects of semen. Such variables were combined by means of a rule-base of the "If ... Then" by inference method Mamdani, totaling 735 rules, which return a *Fuzzy* Fertility output variable. In this way, it has a classification of bulls unfit for fertility when less than 1 and fit, with degrees of classification in 13 groups, for results greater than or equal to 1. The model proved to be efficient in its classification objective, enabling a new tool to assist the producer.

Keywords: *Fuzzy* logic; animal reproduction; decision tool.

1 Introdução

A adoção de tecnologias de informação começou a ser utilizada no campo a partir de questões sanitárias e de segurança alimentar, porém seu uso foi ampliado passando a atender também às necessidades de aprimoramento genético do animal. O melhoramento foi induzido pelas exigências do consumidor em busca de produtos que oferecessem qualidade e rapidez no preparo, por isso as empresas processadoras de carne desenvolveram novos cortes, embalagens e técnicas de conservação e preparo que exigiram que a carne *in natura* apresentasse determinadas características (FRANCISCO; PINO, 2004).

Juntamente com a globalização, que ampliou o acesso à mercados e à informação, os produtores tiveram o aumento da concorrência que passou a ser internacional e para que mantivesse seu crescimento e atendessem as exigências do mercado consumidor, a pecuária brasileira teve necessidade de inovar para seguir competitiva frente ao mercado que se formava (OECD, 2005). Assim, segundo Macedo (2006), a busca dos produtores rurais pela ampliação dos lucros fez com que o investimento na modernização da produção aumentasse, sendo crescente a procura por reprodutores com maior capacidade de transferência de certas características aos descendentes.

Dentre as tecnologias destinadas às propriedades agrícolas existem métodos capazes de elaborar modelos matemáticos que ofereçam resultados para a melhoria do manejo produtivo e que sejam adequadas à propriedade rural. Um destes métodos é o sistema baseado em regras *Fuzzy* que está se tornando uma alternativa extremamente eficiente e eficaz frente aos métodos estocásticos recorrentes, quando aplicados em problemas de avaliação de fenômenos agrônômicos e zootécnicos (PUTTI; GABRIEL FILHO; CREMASCO, 2013).

A necessidade de reduzir os custos de produção e a constante melhoria genética dos animais na atividade pecuária desperta o interesse em ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, possibilitando a redução de custos da atividade. Desta forma, um sistema que fornecesse instantaneamente o escore de fertilidade de touros, a partir da avaliação de características do sêmen do animal, permitindo o agrupamento de animais com potencialidade reprodutiva semelhante seria de extrema importância para a gestão do pecuarista.

Portanto, o objetivo deste capítulo é elaborar um modelo matemático computacional baseado em lógica *Fuzzy* capaz de avaliar bovinos em relação à capacidade reprodutiva de touros utilizando as características do sêmen avaliadas individualmente. O modelo utilizará o manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal elaborado

pelo CBRA e MAPA, em 2013, para definir as variáveis a serem analisadas e indicadores a serem considerados como base de regras para a combinação do Sistema *Fuzzy*. Tal sistema visa à obtenção do escore de Fertilidade *Fuzzy*, que permitirá a verificação do potencial reprodutivo dos animais, no que se refere às características qualitativas (características físicas e morfológicas) do sêmen. A partir deste sistema, o produtor tem um indicador como referência para suas ações, ganhando eficiência produtiva e econômica.

2 Material e Métodos

2.1 Modelagem Matemática (Sistema *Fuzzy*)

A modelagem matemática da determinação da Fertilidade *Fuzzy* utilizando características avaliadas individualmente dos bovinos foi baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* que foi proposta por Lotfi Zadeh em 1965, na qual a noção de associação binária é estendida para acomodar vários graus de pertinência no intervalo real contínuo $[0,1]$, onde infinitos valores estão entre os pontos de extremidade ($0 =$ não pertinência e $1 =$ pertinência total) podendo representar vários graus de pertinência. Desta forma, na formulação *Fuzzy* algo pode pertencer a dois conjuntos com certo grau de pertinência diferente da formulação clássica que se deve pertencer a apenas um conjunto.

Assim, a lógica *Fuzzy* é um método para formalizar a capacidade humana de raciocínio impreciso ou aproximado, por isso, na lógica *Fuzzy*, todas as verdades são parciais ou aproximadas, sendo considerada como um processo de interpolação entre os extremos binário de verdadeiro e falso (ZADEH, 1965).

O Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* (SBRF), de acordo com Baker et al. (2010), calcula o valor numérico da variável de saída, neste caso a Fertilidade *Fuzzy*, tendo variáveis linguísticas associadas a cada conjunto de saída. Tal sistema foi implementado por meio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software* MATLAB® The MathWorks Inc.

Apesar de o modelo possibilitar a determinação de superfícies de respostas das funções, neste trabalho não será possível utilizar tal ferramenta, uma vez que as múltiplas variáveis de entrada inviabilizam o cruzamento de informações para a construção do gráfico de maneira satisfatória, que seria na condição de duas variáveis de entrada e uma de saída. Portanto, será utilizado a ferramenta para produção de mapas de contorno de representação do sistema, possibilitando ao produtor verificar a condição de cada touro avaliado.

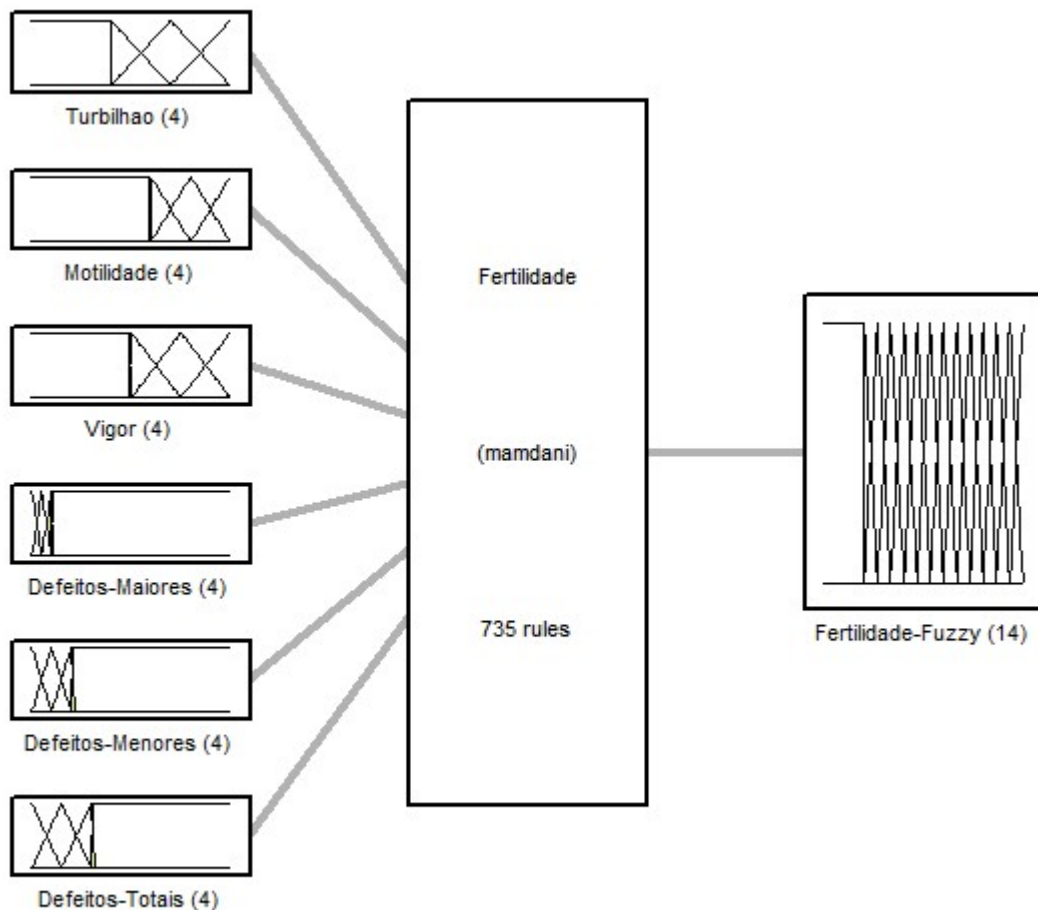
As variáveis de entrada são do tipo triangular para conjuntos aptos e trapezoidal quando devem ser rejeitadas pelo sistema por não atingirem os valores previstos no manual

para exame andrológico e avaliação de sêmen animal do CBRA/MAPA de 2013. Estas variáveis são submetidas ao processamento, onde será aplicado a base de regras elaborada, sendo estas do tipo “Se...então” para que a variável de saída gerada pelo sistema seja a Fertilidade *Fuzzy*.

O método de inferência que será utilizado é o de Mamdani, que agrega as regras por meio do operador lógico *OU*, modelado pelo operador matemático \cup e, em cada regra, os operadores lógicos *SE* e *ENTÃO* são modelados pelo operador mínimo \cap (PEDRYCZ; GOMIDE, 1998).

Na Figura 1 pode ser visto o esquema geral do Sistema *Fuzzy* a ser elaborado para o método, sendo que este possui a característica de múltiplas entradas e única saída.

Figura 1: Sistema geral baseado em regras *Fuzzy* para a obtenção da avaliação da Fertilidade *Fuzzy* a partir das características de entrada.



System Fertilidade29: 6 inputs, 1 outputs, 735 rules

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

2.2 Método de Avaliação de Fertilidade

Tem-se que a classificação do sêmen bovino pode ser feita considerando algumas características morfológicas espermáticas como Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais e características físicas espermáticas que são Turbilhão do Sêmen, Motilidade e Vigor (ADDAD et al., 2009). A partir de estudos feitos pelo CBRA e MAPA, em 2013, as características morfológicas do sêmen quando possuem altos percentuais representa baixa probabilidade de fecundar e resultar em gestação devido à baixa qualidade do sêmen. As características físicas do sêmen apresentam correlações positivas entre si, sendo que o aumento dos escores dessas variáveis representam maior qualidade do sêmen, refletindo em maior chance de fecundação e gestação.

De acordo com o manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal publicado em 2013 os valores permitidos para cada uma das variáveis, representada na Tabela 1, foi considerada para o estabelecimento dos limites das funções de pertinência dos conjuntos considerados no estudo, ou seja, o valor permitido pelo manual representa o Limite (L) de cada variável.

Tabela 1: Valor permitido para cada variável a ser considerada no estudo de acordo com CBRA/MAPA, 2013.

Definição do significado da variável e unidade de medida utilizada	Valor permitido
Turbilhão do sêmen (escore de 0 a 5)	Mínimo 2
Motilidade espermática progressiva (0 a 100%)	Mínimo 60%
Vigor espermático (escore de 1 a 5)	Mínimo 3
Defeitos espermáticos maiores (0 a 100%)	Máximo 10%
Defeitos espermáticos menores (0 a 100%)	Máximo 20%
Defeitos espermáticos totais (0 a 100%)	Máximo 30%
Fertilidade (APTO ou INAPTO)	APTO (todas as variáveis devem estar dentro dos valores permitidos para adequada condição espermática)

Fonte: Elaborado pela pesquisadora a partir de CBRA/MAPA 2013.

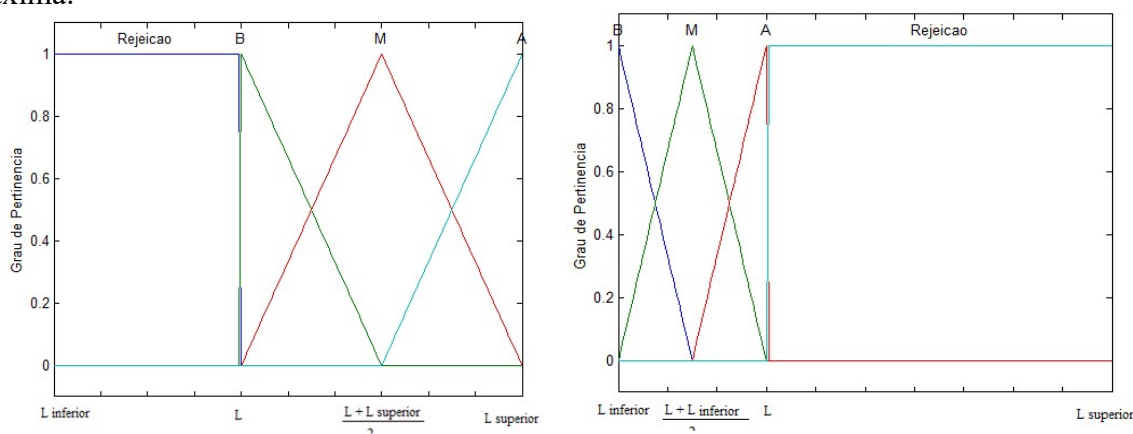
Desta forma, tem-se que:

- a. Características com restrição mínima (turbilhão do sêmen, motilidade e vigor), para serem consideradas aprovadas, devem possuir notas acima ou iguais ao limite estabelecido, ou seja, $nota \geq Limite$. Para estes casos a fórmula para o

estabelecimento dos limites de cada função de pertinência é descrito pela Figura 2 (A).

- b. Características com restrição máxima (defeitos maiores, menores e totais), para serem consideradas aprovadas devem possuir notas abaixo ou iguais ao limite estabelecido pelo CBRA/MAPA, assim $nota \leq Limite$ tendo as funções de pertinência calculadas de acordo com a Figura 2 (B).

Figura 2: Funções de pertinência para características de (A) Restrição mínima e (B) Restrição máxima.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Desta forma, definindo $L_{inferior}$ e $L_{superior}$ como sendo os menores e maiores valores, respectivamente, de cada variável considerada neste trabalho para classificação do sêmen, estabelece-se a Tabela 2 com os valores de tais grandezas para cada variável, na qual denota-se também, a forma que cada característica será utilizada no decorrer deste trabalho.

Tabela 2: Valores do Limite, Limite Inferior, Limite Superior e a denotação de cada variável.

	Variável	L	$L_{inferior}$	$L_{superior}$
Turbilhão do sêmen	<i>Turb</i>	2	0	5
Motilidade espermática progressiva	<i>Mot</i>	60%	0%	100%
Vigor espermático	<i>Vig</i>	3	1	5
Defeitos espermáticos maiores	<i>Def_{maiores}</i>	Máximo 10%	0%	100%
Defeitos espermáticos menores	<i>Def_{menores}</i>	Máximo 20%	0%	100%
Defeitos espermáticos totais	<i>Def_{totais}</i>	Máximo 30%	0%	100%

Fonte: Elaborado pela pesquisadora a partir de CBRA/MAPA 2013.

De acordo com tais fórmulas, os delimitadores de cada função de pertinência foram estabelecidos, sendo que o conjunto “Rejeição” é uma função de pertinência do tipo trapezoidal, tendo 4 pontos e as funções dos demais conjuntos são do tipo triangular, tendo 3

pontos a serem considerados. Para as características que possuem restrição mínima os delimitadores das funções de pertinência foram estabelecidos conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Delimitadores das funções de pertinência das variáveis de entrada com Restrições Mínimas.

Conjunto	Limites das funções
Rejeição	$[L_{inferior} - 0,001; L_{inferior}; L - 0,001; L]$
Baixo	$[L - 0,001; L; \frac{L+L_{superior}}{2}]$
Médio	$[L; \frac{L+L_{superior}}{2}; L_{superior}]$
Alto	$[\frac{L+L_{superior}}{2}; L_{superior}; L_{superior} + 0,001]$

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Desta forma, vale ressaltar, que qualquer valor da variável que seja estritamente maior que L pertencerá aos conjuntos Baixo, Médio ou Alto. Se a variável tiver valor exatamente L pertencerá somente ao conjunto Baixo (no sentido clássico), ou equivalentemente, pertencerá ao conjunto Baixo com grau de pertinência 1 ($\mu = 1$) e aos demais conjuntos com grau de pertinência 0 ($\mu = 0$). Caso o valor da variável seja estritamente menor que L , então ela pertencerá somente ao conjunto Rejeição com grau de pertinência 1.

A Tabela 4 evidencia os delimitadores das funções de pertinência que foram considerados para as características que possuem restrição máxima.

Tabela 4: Delimitadores das funções de pertinência das variáveis de entrada com Restrições Máximas.

Conjunto	Limites das funções
Baixo	$[L_{inferior} - 0,001; L_{inferior}; \frac{L+L_{inferior}}{2}]$
Médio	$[L_{inferior}; \frac{L+L_{inferior}}{2}; L]$
Alto	$[\frac{L+L_{inferior}}{2}; L; L + 0,001]$
Rejeição	$[L; L + 0,001; L_{superior}; L_{superior} + 0,001]$

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

A partir de tais limites é possível traçar os conjuntos *Fuzzy* de cada característica, permitindo inferir em que grau um determinado ponto pertence a um ou mais conjuntos *Fuzzy* de uma mesma característica. Assim, se o valor da variável for exatamente o valor de L pertencerá ao conjunto Alto com grau de pertinência 1 ($\mu = 1$) e aos demais conjuntos com grau de pertinência 0 ($\mu = 0$). Caso o valor da variável seja menor que L pertencerá aos

conjuntos Baixo, Médio ou Alto, porém se o valor for maior que L , pertencerá ao conjunto Rejeição com grau de pertinência 1.

Após o julgamento da amostra de sêmen para cada variável de entrada explicitada anteriormente (Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais) a amostra recebe uma classificação de acordo com os conjuntos *Fuzzy* “Baixo”, “Médio” ou “Alto” para ser qualificada nos conjuntos de Fertilidade.

Portanto, os conjuntos das variáveis de entrada se combinam por meio de uma base de regras para a obtenção da variável de saída “Fertilidade *Fuzzy*”, sendo que esta base de regras pode ser elaborada por um especialista no tema ou qualquer método matemático que possa definir uma regra de combinação. Neste estudo, utilizando um método matemático, foram criadas m^n regras do modelo, em virtude de tal quantidade ser advinda de m conjuntos *Fuzzy* e n variáveis de entrada. Assim, o resultado fornece a quantidade de combinações possíveis que pode ser feita entre os conjuntos *Fuzzy* das variáveis de entrada.

Os conjuntos considerados aptos (Baixo, Médio, Alto) recebem um valor baseado semelhantemente aos níveis de Likert, com três pontos, onde 1 é considerado baixo, 3 médio e 5 alto. De acordo com Cunha (2007), a escala do tipo Likert utiliza as frases para cada ponto-valor para que seja possível a manifestação mais clara do grau de concordância à situação investigada, assim é possível classificar os animais dos mais aptos aos menos aptos à reprodução sob a avaliação das condições espermáticas do animal.

A partir dos valores associados aos conjuntos das seis variáveis deste estudo, desde que todos os valores sejam maiores ou iguais a 1, é necessário que cada combinação receba uma nota (Fertilidade *Fuzzy*), dada pela média de tais valores:

$$FF = \frac{Turb + Mot + Vig + Def_{Maiores} + Def_{Menores} + Def_{Totais}}{n}, \quad (1)$$

onde o numerador é a soma das notas associadas à cada conjunto da combinação e o denominador é o número de características consideradas (variáveis de entrada).

Vale ressaltar que, se uma amostra receber a categoria de “Rejeição” para qualquer variável, ela terá o valor de FF nulo, o que esta de acordo com as regras estabelecidas na Tabela 1. Para fins de sistematização de tal procedimento, denotando-se $x_1 = Turb$, $x_2 = Mot$, $x_3 = Vig$, $x_4 = Def_{Maiores}$, $x_5 = Def_{Menores}$, $x_6 = Def_{Totais}$, define-se então a função FF da forma:

$$FF = \begin{cases} 0, & \text{se } x_i = 0, \text{ para algum } i \\ \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 x_i, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

Para cada valor obtido para a Fertilidade *Fuzzy*, foi associado um conjunto *Fuzzy* da variável de saída, possibilitando uma classificação qualitativa das amostras que podem oferecer melhores resultados de fertilidade. Tais conjuntos, estão associados a valores num intervalo entre 0 a 5, sendo que o intervalo entre o Limite Inferior ($L_{inferior} = 0$) e o Limite 1 é reservado aos animais considerados inaptos, enquanto que o intervalo entre o Limite 1 e o Limite Superior ($L_{superior} = 5$) à classificação dos aptos.

A quantidade de conjuntos *Fuzzy* para a variável de saída será definida a partir da metodologia a seguir. Denotando tal quantidade por $N + 1$, tem-se que os limites das funções de pertinência da variável de saída são definidos pelas seguintes diretrizes:

- A função de pertinência do conjunto *Fuzzy* C_0 , referente à classificação ‘inapto’, será definida pelos delimitadores: $[L_{inferior} - 1; L_{inferior}; L - 0,001; L]$;
- O conjunto *Fuzzy* C_1 , referente à classificação apta mais baixa, será definido pelos delimitadores: $[L - 0,001; L; L + \frac{1}{3}]$;
- Os demais conjuntos *Fuzzy* C_k , $2 \leq k < N$, terão suas funções de pertinência regidas pelos delimitadores: $[L + (k - 2) \left(\frac{1}{3}\right); L + (k - 1) \left(\frac{1}{3}\right); L + k \left(\frac{1}{3}\right)]$
- O conjunto *Fuzzy* C_N , referente à classificação apta mais alta, será definido pelos delimitadores: $[L_{superior} - \frac{1}{3}; L_{superior}; L_{superior} + 1]$

Uma vez que para o conjunto *Fuzzy* C_{N-1} , os delimitadores são da forma:

$$\left[L + (N - 1 - 2) \left(\frac{1}{3}\right); L + (N - 1 - 1) \left(\frac{1}{3}\right); L + (N - 1) \left(\frac{1}{3}\right) \right] \quad (3)$$

ou

$$\left[1 + (N - 3) \left(\frac{1}{3}\right); 1 + (N - 2) \left(\frac{1}{3}\right); 5 \right] \quad (4)$$

então:

$$\begin{aligned} L + (N - 1) \left(\frac{1}{3}\right) = 5 &\Rightarrow 1 + (N - 1) \left(\frac{1}{3}\right) = 5 \Rightarrow (N - 1) \left(\frac{1}{3}\right) = 4 \Rightarrow N - 1 = 12 \\ &\Rightarrow N = 13 \end{aligned} \quad (5)$$

Seguindo tais equações determinam-se os limites de cada conjunto *Fuzzy* estabelecido genericamente de acordo com a Tabela 5 e numericamente conforme a Tabela 6. Assim, o escore de fertilidade será classificado no conjunto de saída em que tiver maior grau de pertinência.

Tabela 5: Forma genérica dos limites das funções de pertinência dos conjuntos da variável de saída Fertilidade *Fuzzy*.

Conjunto	Limites das Funções de Pertinência
C_0	$[L_{inferior} - 1; L_{inferior}; L - 0,001; L]$
C_1	$[L - 0,001; L; L + \frac{1}{3}]$
$C_k, 2 \leq k \leq 12$	$[L + (k - 2) \left(\frac{1}{3}\right); L + (k - 1) \left(\frac{1}{3}\right); L + k \left(\frac{1}{3}\right)]$
C_{13}	$[L_{superior} - \frac{1}{3}; L_{superior}; L_{superior} + 1]$

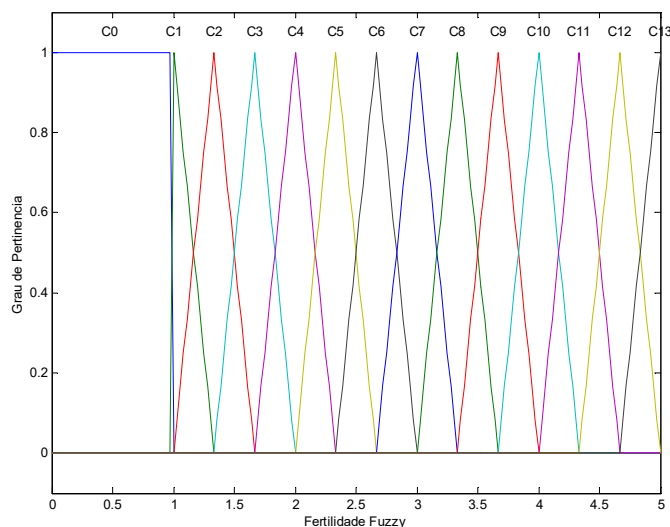
Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Tabela 6: Limites numéricos das funções de pertinência dos conjuntos da variável de saída Fertilidade *Fuzzy*.

Conjunto	Limites das Funções de Pertinência
C_0	[-1 ; 0 ; 0,999 ; 1]
C_1	[0,999 ; 1 ; 1,333]
C_2	[1 ; 1,333 ; 1,666]
C_3	[1,333 ; 1,666 ; 2]
C_4	[1,666 ; 2 ; 2,333]
C_5	[2 ; 2,333 ; 2,666]
C_6	[2,333 ; 2,666 ; 3]
C_7	[2,666 ; 3 ; 3,333]
C_8	[3 ; 3,333 ; 3,666]
C_9	[3,333 ; 3,666 ; 4]
C_{10}	[3,666 ; 4 ; 4,333]
C_{11}	[4 ; 4,333 ; 4,666]
C_{12}	[4,333 ; 4,666 ; 5]
C_{13}	[4,666 ; 5 ; 6]

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Assim, a Fertilidade *Fuzzy* tem as funções de pertinência classificados em 14 conjuntos onde os animais classificados em C_0 são considerados inaptos para fertilidade, C_1 são as amostras que possuem menor condição de fertilidade e os classificados em C_{13} os que possuem maiores condições, conforme Figura 3.

Figura 3: Funções de pertinência da variável de saída Fertilidade *Fuzzy*

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

3 Resultados e Discussão

A partir da metodologia estabelecida para o cálculo dos delimitadores das funções de pertinência de cada uma das características que foram consideradas como variáveis de entrada, tem-se na Tabela 7 os limites para as características de restrição mínima.

Tabela 7: Limites das funções de pertinência das variáveis de entrada para as variáveis com restrição mínima.

	Turbilhão	Motilidade	Vigor
Rejeição	[-0,001 ; 0 ; 1,999 ; 2]	[-0,001 ; 0 ; 59,999 ; 60]	[-1,001 ; 1 ; 2,999 ; 3]
Baixo	[1,999 ; 2 ; 3,5]	[59,999 ; 60 ; 80]	[2,999 ; 3 ; 4]
Médio	[2 ; 3,5 ; 5]	[60 ; 80 ; 100]	[3 ; 4 ; 5]
Alto	[3,5 ; 5 ; 5,001]	[80 ; 100 ; 100,001]	[4 ; 5 ; 5,001]

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

As variáveis de entrada que possuem restrições máximas tem os limites de suas funções de pertinência mostrados na Tabela 8.

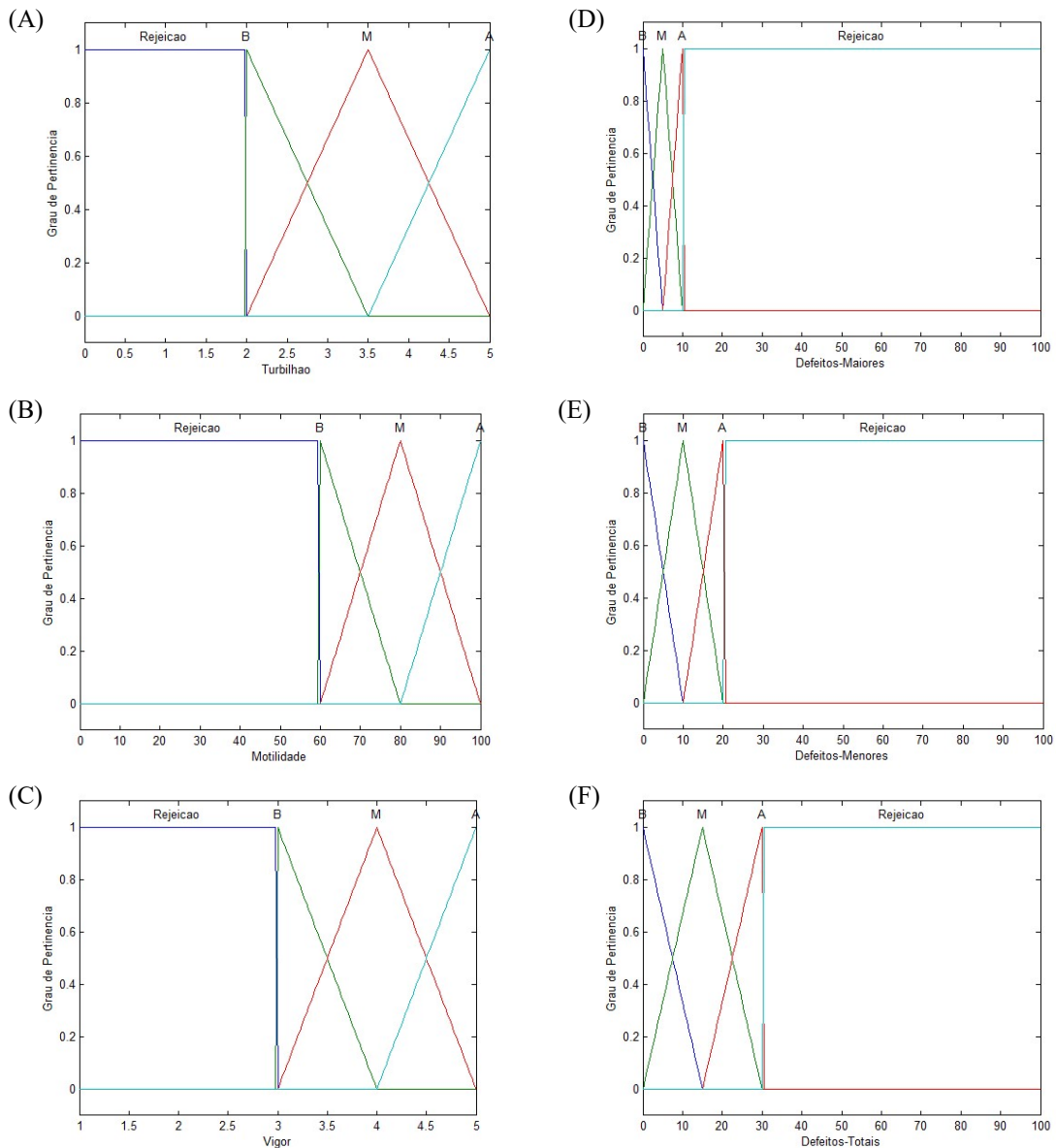
Tabela 8: Limites das funções de pertinência das variáveis de entrada para as variáveis com restrição máxima.

	Defeitos-Maiores	Defeitos-Menores	Defeitos-Totais
Baixo	[-0,001 ; 0 ; 5]	[-0,001 ; 0 ; 10]	[-0,001 ; 0 ; 15]
Médio	[0 ; 5 ; 10]	[0 ; 10 ; 20]	[0 ; 15 ; 30]
Alto	[5 ; 10 ; 10,001]	[10 ; 20 ; 20,001]	[15 ; 30 ; 30,001]
Rejeição	[10 ; 10,001 ; 100 ; 100,001]	[10 ; 20,001 ; 100 ; 100,001]	[30 ; 30,001 ; 100 ; 100,001]

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Desta forma, tem-se que os conjuntos *Fuzzy* das variáveis de entrada estão dispostos conforme a Figura 4, onde é possível observar os limites estabelecidos e o grau de pertinência definido em cada conjunto. Vale ressaltar que as escalas dos gráficos representam os valores possíveis de serem atribuídos a cada variável, sendo que Turbilhão e Vigor são conferidos notas de 0 a 5 e 1 a 5, respectivamente, e as demais variáveis em escalas percentuais de 0 a 100%, como previsto no manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal do CBRA/MAPA.

Figura 4: Funções de pertinência das variáveis de entrada (A) Turbilhão, (B) Motilidade, (C) Vigor, (D) Defeitos Maiores, (E) Defeitos Menores e (F) Defeitos Totais.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Assim, percebe-se que as variáveis (A), (B) e (C) da Figura 4, quando possuem valores exatamente igual a L pertencerão ao conjunto Baixo com grau de pertinência 1 e aos demais conjuntos com pertinência 0. Para qualquer valor menor que L pertencerá ao conjunto Rejeição com pertinência 1 ($\mu = 1$) e se o valor assumido for maior que L pertencerá aos conjuntos Baixo, Médio ou Alto com graus de pertinência constantes no intervalo $[0,1]$.

Diferentemente ocorre para as variáveis (D), (E) e (F) da Figura 4, uma vez que possuem restrições máximas, se os seus valores forem iguais a L pertencerão ao conjunto Alto com grau de pertinência 1 e aos demais conjuntos com pertinência 0. Para valores maiores que L pertencerá ao conjunto Rejeição com pertinência 1 ($\mu = 1$) e para valores menores que L pertencerão aos conjuntos Baixo, Médio ou Alto com pertinência no intervalo $[0,1]$.

As variáveis de entrada (Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais) foram combinadas considerando três conjuntos (Baixo, Médio, Alto) em que o animal será considerado apto à reprodução, do ponto de vista espermático, sendo que em qualquer característica que tenha valores no conjunto “Rejeição” fará com que o animal seja eliminado da análise de possibilidade de reprodução.

Assim, a combinação 3⁶ determinou uma base de regras de 729 diferentes combinações das características consideradas como variáveis de entrada, além de seis regras que definem a eliminação do animal que possui alguma característica no conjunto rejeição.

A fim de permitir a obtenção de um escore de fertilidade como variável de saída, os escores conferidos às funções de pertinência respeitaram as condições de restrição de cada característica, assim as notas foram atribuídas de acordo com a Tabela 9, possibilitando o cálculo da média das combinações.

Tabela 9: Escore atribuído a cada função de pertinência de cada uma das características.

	Baixo (B)	Médio (M)	Alto (A)
Turbilhão	1	3	5
Motilidade	1	3	5
Vigor	1	3	5
Defeitos maiores	5	3	1
Defeitos menores	5	3	1
Defeitos totais	5	3	1

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

A partir da média dos valores dos conjuntos de cada combinação, foi possível determinar a base de regras do Sistema *Fuzzy*, conforme as primeiras combinações:

$$\mathbf{Regra\ 1: FF} = \frac{Turb(B) + Mot(B) + Vig(B) + Def_{Majores}(B) + Def_{Menores}(B) + Def_{Totais}(B)}{n}$$

$$\mathbf{Regra\ 1: FF} = \frac{1 + 1 + 1 + 5 + 5 + 5}{6} = \frac{18}{6} = 3$$

$$\mathbf{Regra\ 2: FF} = \frac{Turb(B) + Mot(B) + Vig(B) + Def_{Majores}(B) + Def_{Menores}(B) + Def_{Totais}(M)}{6}$$

$$\mathbf{Regra\ 2: FF} = \frac{1 + 1 + 1 + 5 + 5 + 3}{6} = \frac{16}{6} = 2,666$$

$$\mathbf{Regra\ 3: FF} = \frac{Turb(B) + Mot(B) + Vig(B) + Def_{Majores}(B) + Def_{Menores}(B) + Def_{Totais}(A)}{n}$$

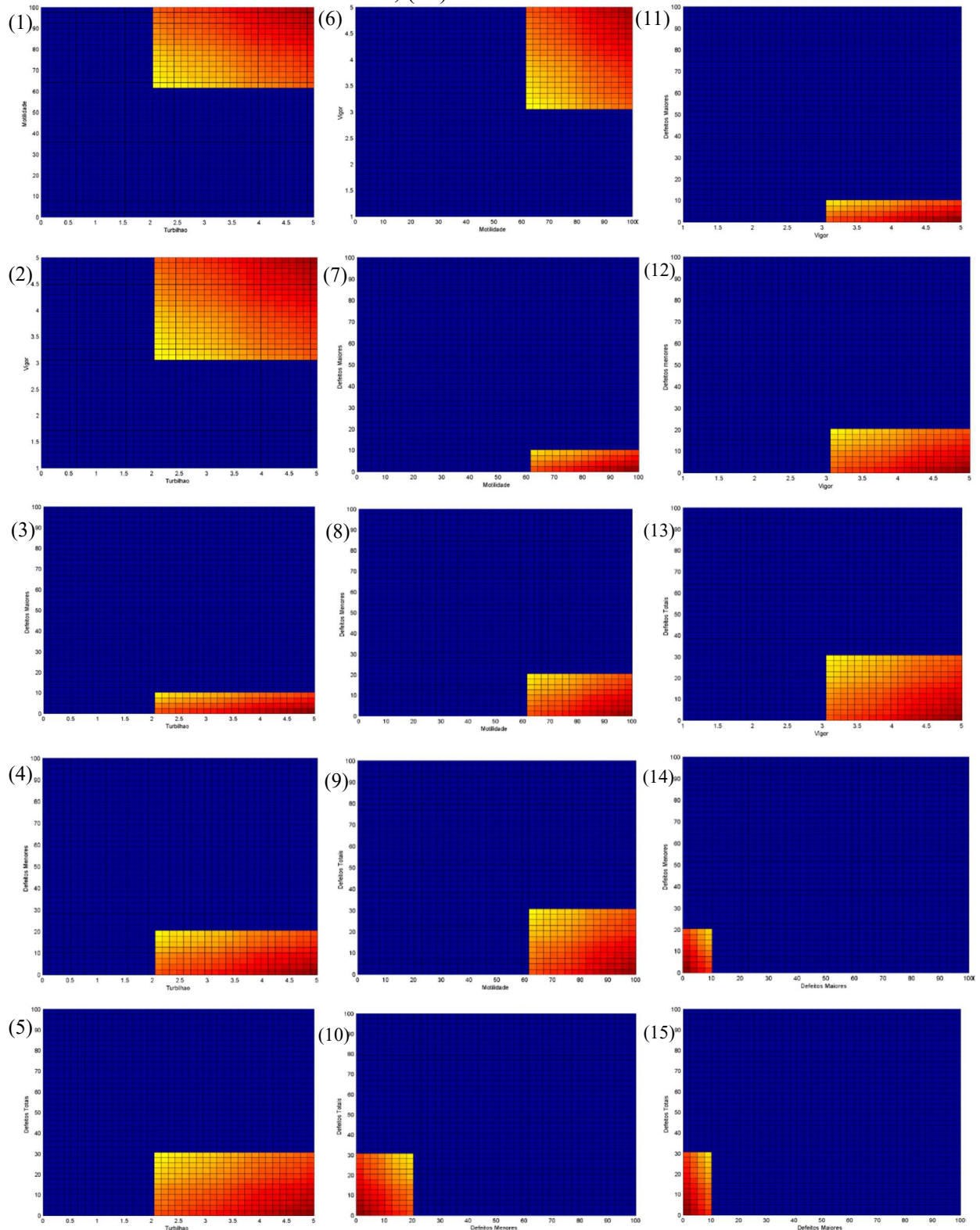
$$\mathbf{Regra\ 3: FF} = \frac{1 + 1 + 1 + 5 + 5 + 1}{6} = \frac{14}{6} = 2,333$$

A partir dos escores de fertilidade atribuídos a cada combinação é necessário determinar o conjunto a qual aquele animal pertence para que a tomada de decisão seja facilitada.

Pode-se perceber a tendência de disposição dos animais ao longo dos conjuntos quando geramos o Mapa de Contorno. A Figura 5 mostra os Mapas de Contorno de todas as combinações entre as variáveis de entrada, desta forma os animais que se localizarem na região azul serão considerados inaptos, e os da região complementar serão considerados aptos e serão classificados nos conjuntos de C_0 a C_{13} , sendo quanto mais próximo do vermelho (C_{13}) melhor será o escore de Fertilidade *Fuzzy* associado ao animal.

Vale ressaltar que os Mapas de Contorno foram elaborados a partir da fixação de valores aptos médios de cada variável: $Turb = 3,5$; $Mot = 80$; $Vig = 4$; $Def_{Majores} = 5$; $Def_{Menores} = 10$ e $Def_{Totais} = 15$, sendo que quando a variável está em um dos eixos do gráfico os valores não são fixos.

Figura 5: Mapa de Contorno das variáveis (1) Turbilhão e Motilidade, (2) Turbilhão e Vigor, (3) Turbilhão e Defeitos Maiores, (4) Turbilhão e Defeitos Menores, (5) Turbilhão e Defeitos Totais, (6) Motilidade e Vigor, (7) Motilidade e Defeitos Maiores, (8) Motilidade e Defeitos Menores, (9) Motilidade e Defeitos Totais, (10) Defeitos Menores e Defeitos Totais, (11) Vigor e Defeitos Maiores, (12) Vigor e Defeitos Menores, (13) Vigor e Defeitos Totais, (14) Defeitos Maiores e Defeitos Menores, (15) Defeitos Maiores e Defeitos Totais.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

A partir da análise da Figura 5 pode-se verificar que o modelo elaborado condiz com o manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal elaborado pelo CBRA/MAPA, uma vez que se tem a ilustração do manual no que diz respeito à visualização das regiões onde os valores das variáveis seriam considerados apto.

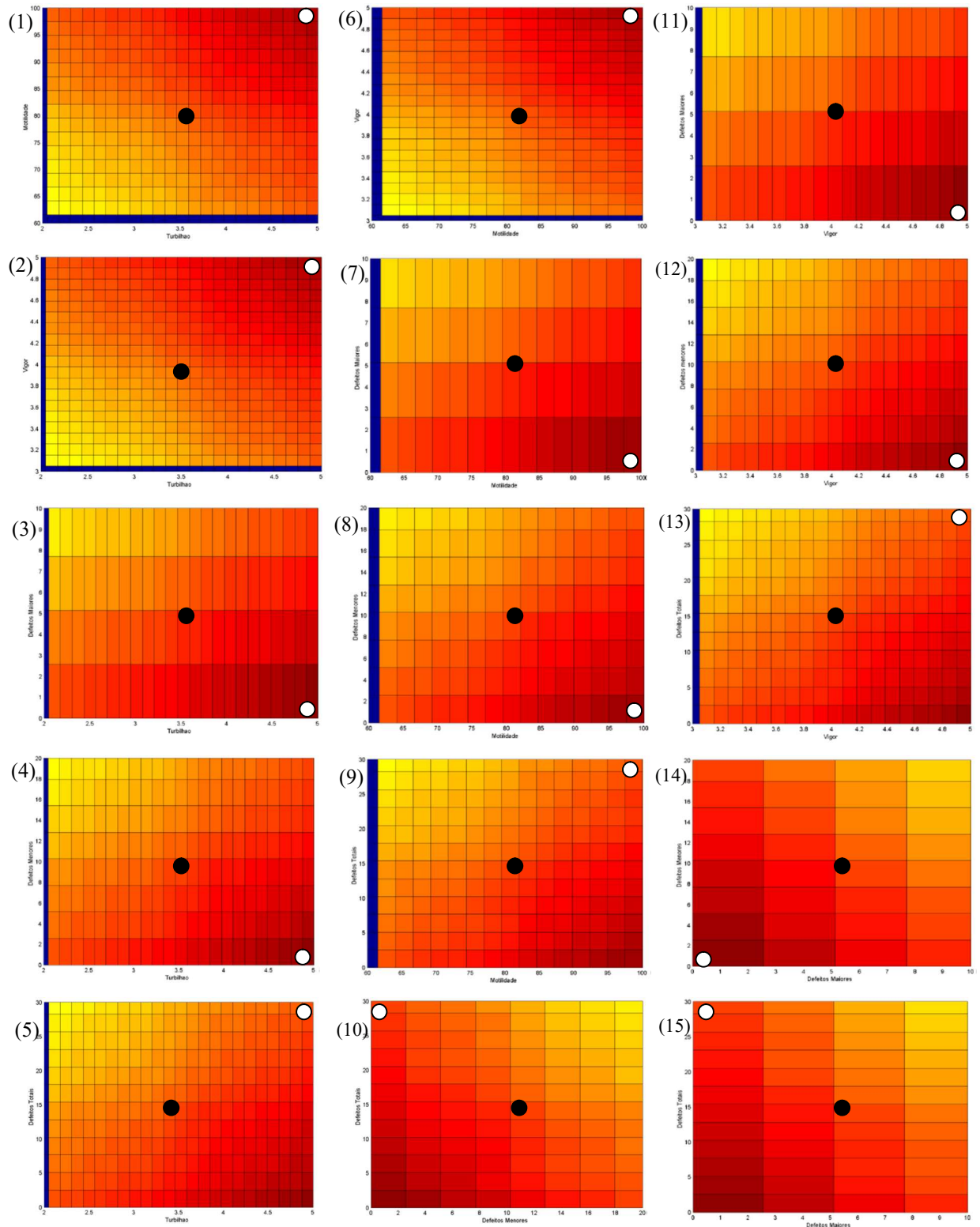
Um avanço do modelo em relação ao manual é a graduação da região apta, com isso as amostras de sêmen em análise são classificadas em conjuntos com possibilidade de migração, por meio dos graus de pertinência, como prevê a teoria *Fuzzy* de Zadeh (1965). Assim, uma amostra pode ser classificada na região azul (inapta) para uma combinação de variáveis e uma análise posterior poderá ser classificada na região amarela (melhores condições de fertilidade).

Tal possibilidade de migração pode ser vista na Figura 6, que retrata somente a área de aptidão das variáveis, onde o ponto preto representa uma amostra de sêmen avaliada com valores medianos de aptidão em todas as características ($Turb = 3,5$; $Mot = 80$; $Vig = 4$; $Def_{Majores} = 5$; $Def_{Menores} = 10$ e $Def_{Totais} = 15$). Neste caso a Fertilidade *Fuzzy* será igual a 3 ($FF = 3$), sendo classificado no conjunto C_7 .

Supondo que do mesmo animal tenha sido coletada uma amostra de sêmen posteriormente e, após análise tenha as seguintes notas $Turb = 5$; $Mot = 100$; $Vig = 5$; $Def_{Majores} = 0$; $Def_{Menores} = 0$ e $Def_{Totais} = 30$, representado na Figura 6 pelo ponto branco. Tais valores representam o ponto ótimo das variáveis, com exceção dos Defeitos Totais, que representa o valor limite para ser considerado apto, a Fertilidade *Fuzzy* desta nova amostra é de 4,33 ($FF = 4,33$), tendo classificação no conjunto C_{11} .

Portanto, pode-se perceber que quando a amostra de sêmen possui valores intermediários, seu ponto se localiza na região laranja, e os pontos que representam valores ótimos se posicionam na área vermelha, evidenciando a possibilidade de migração da região mediana para a ótima. Assim, quando há uma interação dessas regiões a classificação final da amostra é média desses valores, como o que ocorreu com o exemplo dado, onde a amostra mediana teve classificação média e posteriormente recebeu uma classificação mais alta, porém não ótima por influência de uma variável que recebeu uma nota baixa na avaliação.

Figura 6: Mapa de Contorno da região apta para as variáveis (1) Turbilhão e Motilidade, (2) Turbilhão e Vigor, (3) Turbilhão e Defeitos Maiores, (4) Turbilhão e Defeitos Menores, (5) Turbilhão e Defeitos Totais, (6) Motilidade e Vigor, (7) Motilidade e Defeitos Maiores, (8) Motilidade e Defeitos Menores, (9) Motilidade e Defeitos Totais, (10) Defeitos Menores e Defeitos Totais, (11) Vigor e Defeitos Maiores, (12) Vigor e Defeitos Menores, (13) Vigor e Defeitos Totais, (14) Defeitos Maiores e Defeitos Menores, (15) Defeitos Maiores e Defeitos Totais.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

4 Conclusão

A partir da elaboração deste sistema computacional baseado em regras *Fuzzy* é possível avaliar as amostras de sêmen de bovinos de maneira mais rápida e segura, já que se tem o cruzamento de todas as características avaliadas individualmente, para posterior classificação de indicação de fertilidade.

Tal classificação permite que se tenha uma visão instantânea dos animais que possuem melhores condições espermáticas, auxiliando o produtor na escolha de seus reprodutores, já que o sucesso reprodutivo depende dessa e de outras avaliações andrológicas, além da condição das fêmeas.

Desta maneira o produtor tem uma ferramenta de auxílio a sua tomada de decisão baseada em um manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal que possibilita o ganho de eficiência produtiva e melhoria na gestão da produção.

5 Referências

- ADDAD, R. O; FRENEAU, G. E; RESENDE, L. C; SILVA, L. M. da. Avaliação clínico-andrológica em touros nelore e testes de viabilidade espermática, integridade de acrossoma e fragmentação de cromatina ao longo de três estações reprodutivas. *Ciência Animal Brasileira*, v. 10, n. 4, p. 1044-1054, out./dez. 2009.
- BAKER, C. G. J.; LABABIDI, H. M. S. An improved model of plug flow fluidized bed dryers with an emphasis on energy conservation. *Drying Technology*, v. 28, n. 5, p. 730-741, maio. 2010.
- CBRA - COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL. *Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal*. 3 ed. Belo Horizonte: CBRA, 2013. 104 p.
- CUNHA, L. M. A. da. *Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes*. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2007. 78 f. Dissertação (mestrado) – Programa de pós Graduação em Probabilidades e Estatística, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007 .
- FRANCISCO, V. L. F. dos S.; PINO, F. A. Fatores que afetam o uso da internet no meio rural paulista. *Agricultura em São Paulo*, v. 51, n. 2, p. 27-36, jul./dez. 2004.
- MACEDO, L. O. B. Modernização da pecuária de corte bovina no Brasil e a importância do crédito rural. *Informações Econômicas*, v. 36, n. 7, p. 83 – 95, jul. 2006.
- OECD. *Guidelines for collecting and interpreting innovation data* – Oslo Manual, 3ed. 2005.
- PEDRYCZ, W., GOMIDE, F. *An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1998.
- PUTTI, F. F; GABRIEL FILHO, L. R. A; CREMASCO, C. P. Sistema baseado em regras *Fuzzy* para avaliação da vitalidade da Espécie *Catasetum Fimbriatum* (Orchidacea). In: Congresso de Matemática Aplicada e Computacional, 2013, Bauru. *Anais eletrônicos...* São

Carlos: SBMAC, 2013. Disponível em: < <http://www.sbmac.org.br/cmacts/cmacts/2013/trabalhos/PDF/4728.pdf>>. Acesso em: 01 ago 2016.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets. Information and Control*, v. 8, n. 3, p.338-353, jun. 1965.

Capítulo 2: Efeitos das estações do ano na qualidade do sêmen de bovinos utilizando um Sistema *Fuzzy* de avaliação

Resumo

As alterações nas condições ambientais afetam os sistemas pecuários, uma vez que as atividades de cria, recria e engorda serão comprometidas devido a alterações na qualidade de pastagens, disponibilidades de grãos, disseminação de doenças e reprodução animal. Assim, o objetivo deste capítulo é aplicar o modelo *Fuzzy* desenvolvido no Capítulo 1 a um rebanho, para que seja possível verificar a influência das estações do ano na fertilidade, além da validação do sistema elaborado. Para isso, foram analisadas 152 amostras de sêmen válidas coletadas de touros da raça Nelore e Simental durante o período de um ano. Os dados obtidos foram inseridos no modelo *Fuzzy* elaborado e seus resultados foram analisados por meio de teste Tukey de comparação das médias, análises de variância, correlação, clusters, regressão e curva ROC. Com a realização de tais testes estatísticos, pode-se perceber que as condições climáticas registradas nas estações do outono e inverno afetaram os animais de um modo geral, não ocorrendo diferenças significativas entre as raças analisadas. A Fertilidade *Fuzzy* mostrou maior similaridade com algumas variáveis, além de forte correlação com a maioria delas, o que significa que a retirada de alguma variável pode afetar a qualidade de predição do modelo.

Palavras-chave: modelagem *Fuzzy*; fertilidade de bovinos; influências climáticas.

Abstract

Changes in environmental conditions affect livestock systems, as a rearing and recreating activity, they are compromised due to grazing qualities, availability of grains, disease spread and animal reproduction. Thus, the objective of this chapter is to apply the Fuzzy model developed in Chapter 1 to a herd, so that it is possible to verify the influence of the seasons of the year on fertility, besides the validation of the elaborated system. For this, we analyzed 152 samples of valid semen collected from Nelore and Simmental bulls during the one year period. The obtained data were inserted in the elaborated Fuzzy model and its results were analyzed through Tukey test of means comparison, analysis of variance, correlation, clusters, regression and ROC curve. With the accomplishment of such statistical tests, it can be noticed that the climatic conditions registered in the autumn and winter seasons affected the animals in general, not occurring significant differences between the races analyzed. Fuzzy Fertility showed greater similarity with some variables, in addition to a strong correlation with most of them, which means that the withdrawal of some variables may affect the prediction quality of the model.

Keywords: *Fuzzy* modeling; fertility of cattle; climatic influences.

1 Introdução

A atividade pecuária está presente em todo o mundo, de acordo com as condições de pastagem e recursos hídricos, no caso dos bovinos, a criação torna-se possível em todos os agroecossistemas, inclusive regiões de extrema seca (ARAÚJO, 2015). De acordo com o mesmo autor, apesar da adaptabilidade do rebanho bovino às mudanças de temperatura, radiação solar, evapotranspiração, pluviosidade e umidade do solo afetam o bem-estar animal que, conseqüentemente, influenciam na produção animal.

Thornton (2009) diz que as mudanças climáticas que estão ocorrendo permitem prever alterações importantes nos sistemas agropecuários, no que diz respeito às misturas de espécies de animais, culturas e recursos alimentares. De acordo com McManus et al. (2012), tais mudanças afetarão a produção animal por meio do preço e disponibilidade de grãos para a fabricação de ração, na produção e qualidade das pastagens, na reprodução animal e manifestação de doenças. No Brasil a base da pecuária é extensiva, portanto o rebanho será diretamente afetado pela mudança de qualidade/disponibilidade de pastagens.

Pode-se perceber que qualquer alteração nas condições do ambiente afeta a fisiologia animal e, como corrobora Figueiredo et al. (2007), a restrição alimentar, causada pelo estacionamento do desenvolvimento de pastos nas estações frias, afetam o crescimento animal. Chacur et al. (2012), corrobora tal informação ao constatar que as características do sêmen bovino apresentam diferenças entre as estações do ano como é o caso da motilidade e vigor que tem melhor desempenho na primavera e no verão do que no inverno, influenciando os resultados de prenhez.

A fim de obter melhores resultados muitos produtores criam raças melhor adaptadas ao clima brasileiro, porém, de acordo com McManus et al. (2012), existem estudos à respeito da maior adaptabilidade das raças zebuínas expostas a fatores de estresse ambiental, apesar disso tais raças apresentam taxas de reprodução e maciez da carne inferiores às raças taurinas. Portanto, é necessário verificar o objetivo do produtor para a escolha da raça que irá oferecer melhores resultados de produção.

Assim, um modelo matemático que seja capaz de prever quais os animais apresentam melhores condições espermáticas no momento da reprodução é de extrema importância para o produtor, pois desta maneira ele consegue contornar possíveis estresses que o ambiente possa estar causando e manter seus indicadores de eficiência reprodutiva.

Desta maneira é possível que o rebanho seja avaliado e os animais serem comparados aos seus pares, sendo destinado à reprodução aquele que está melhor classificado

no que se refere às características espermáticas no momento da avaliação, aumentando a eficiência de reprodução da unidade produtiva.

Portanto, o objetivo deste capítulo é aplicar o modelo *Fuzzy* desenvolvido no Capítulo 1 a um rebanho, a fim de identificar a disposição dos animais nos conjuntos da variável de saída Fertilidade *Fuzzy* ao longo das quatro estações do ano, verificando a influência das estações climáticas na qualidade do sêmen bovino, além de validar o modelo elaborado a fim de verificar sua qualidade de resposta.

2 Material e Métodos

2.1 Dados de Análise

A obtenção dos dados experimentais para a validação do modelo deste trabalho foi conseguida junto à Chacur et al. (2012), que coletaram amostras de sêmen pelo método de eletroejaculação (Eletroejac®, Neovet, Brasil) de cinco touros adultos da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) e cinco da raça Simental (*Bos taurus taurus*), com idades entre 48 e 72 meses, criados em manejo extensivo em pastagem de *Brachiaria decumbens* com mistura mineral e água *ad libitum*. Os animais do experimento ficaram alojados em uma propriedade rural pertencente ao município de Presidente Prudente-SP na latitude 21°29'50"S; longitude 49°14'20"W e altitude de 475 metros.

Tais raças foram escolhidas devido os animais terem sido nascidos e criados na mesma propriedade rural, submetidos ao mesmo manejo nutricional e sanitário. Dessa forma, os touros estavam adaptados aos fatores climáticos da região geográfica, mesmo sendo de origens genéticas distintas: zebuínos os da raça Nelore e taurinos os animais da raça Simental.

As coletas ocorreram durante o período de um ano (setembro de 2008 a agosto de 2009), sendo realizadas quatro coletas a cada estação do ano (primavera, verão, outono, inverno), totalizando 160 amostras.

Ao coletar os dados periodicamente, permite-se observar se os animais possuem oscilações de fertilidade ao longo do ano, além de verificar a disposição dos animais diante dos grupos classificatórios de Fertilidade *Fuzzy* durante o período observado.

A fim de verificar a influência das estações do ano nas características de fertilidade, foram registradas algumas informações climáticas obtidas no município de criação dos animais, que possui clima caracterizado pela presença de massas de ar tropical e polar, com estação de inverno fria e seca e de verão quente e chuvoso, conforme Tabela 10.

Tabela 10: Informações climáticas obtidas no município de Presidente Prudente, durante o período de estudo.

	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Temperatura ambiente média (em °C)	25,9	26,6	21,9	21,1
Insolação (em horas)	400,9	464,0	721,3	142,6
Índice pluviométrico cumulativo (em mm)	291,8	925,0	273,0	191,8
Umidade relativa média (em %)	65,9	71,7	70,1	66,7

Fonte: Chacur et al. (2012).

2.2 *Análise dos Dados*

Os dados fornecidos por Chacur et al. (2012) foram analisados a fim de verificar a existência de possíveis inconsistências que pudessem prejudicar o funcionamento do modelo, assim foi descartado 8 amostras que não tiveram notas atribuídas em alguma característica, por impossibilidade de análise na ocasião da coleta, são elas:

- **Primavera:** amostra do touro 2 na coleta 1 e do touro 3 na coleta 4, ambos da raça Simental;
- **Verão:** amostra do touro 10 (Nelore) na coleta 7;
- **Inverno:** amostra do touro 1 na coleta 13, do touro 3 na coleta 14 e dos touros 1 e 5 na coleta 15, todos da raça Simental e a amostra do touro 10 da raça Nelore na coleta 16.

A partir das 160 amostras fornecidas houve descarte de 8 delas, ficando 152 amostras aplicadas ao modelo, sendo 38 amostras coletadas na Primavera, 39 no Verão, 40 no Outono e 35 no inverno. Assim, foi possível aplicar os resultados das coletas ao modelo elaborado no Capítulo 1.

Conforme a metodologia elaborada no Capítulo 1, ao inserir as notas de cada uma das características avaliadas (Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores, Defeitos Totais), o Sistema *Fuzzy* as combina e fornece a Fertilidade *Fuzzy*, sendo possível agrupar os animais de acordo com os conjuntos estabelecidos, verificando os animais com melhores condições de fertilidade.

A fim de verificar a qualidade do modelo desenvolvido os dados foram ponderados por análise de variância (ANOVA), que fornece as médias e desvios padrão das variáveis em análise, sendo estas necessárias para o teste de Tukey para múltiplas comparações, que segundo Oliveira (2008), é utilizado quando se quer comparar o contraste entre as médias de tratamento.

Em Chacur et al. (2012), foi realizada uma análise de variância das variáveis Volume, Motilidade, Defeitos Maiores, Defeitos Menores, Defeitos Totais e Concentração, de

acordo com a estação e raça. No presente trabalho, foi considerado uma variável adicional na análise, o Turbilhão. Visando uniformizar a forma de apresentação de dados, estes foram reanalisados buscando detectar diferenças, por isso os fatores estação e raça foram considerados separadamente.

Tais reanálises foram realizadas com nível de significância de $\alpha = 0,05$, utilizando o *software* Minitab 17, tendo como entradas os fatores de estação (primavera, verão, outono e inverno) e raça (Simental e Nelore) tendo como comparação as variáveis adotadas no modelo *Fuzzy* (Fertilidade *Fuzzy*, Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais).

Além da verificação da influência da raça e estações sobre as características de fertilidade, se estabeleceu a análise de correlação linear (Pearson) que, de acordo com Vieira e Wainer (2013), indica o quanto uma variável depende da outra de forma linear considerando o intervalo de zero a um, sendo que quanto mais próximo de um maior é a dependência entre as variáveis. Assim, foi possível averiguar a relação entre as variáveis em estudo, principalmente a influência sobre a variável de saída do modelo (Fertilidade *Fuzzy*) para um nível de significância de $\alpha = 0,05$.

A relação entre as variáveis mostrada na análise de correlação também é reforçada pela a análise de clusters, já que é possível agrupar objetos de tal forma que sejam mais semelhantes que outros dentro de um conjunto de dados heterogêneo, sendo que o resultado desse agrupamento hierárquico pode ser visto por meio de um dendograma (NOIVA; FERNANDEZ; WESCOAT JUNIOR, 2016). Desta forma, é possível verificar por meio do dendograma quais variáveis apresentam maior similaridade e impacto na variável de saída, dependendo do índice de similaridade que se pretende.

A partir do modelo *Fuzzy* elaborado, foi criado um novo modelo matemático, agora com uma equação única, buscando modelar os resultados *Fuzzy* das coletas aferidas. Isto foi feito a partir de uma regressão polinomial múltipla de ordem 2, do tipo:

$$y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^6 \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=i+1}^6 \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^6 \gamma_i x_i^2 \quad (6)$$

onde: x_1, x_2, \dots, x_6 representam respectivamente as variáveis Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais, y é o valor estimado da saída *Fuzzy* e $\alpha_i, \gamma_i, \beta_{ij} \in \mathbb{R}, i = 1, \dots, 6, j \in \mathbb{N}, 6 \geq j > i$. Sendo assim, ressalta-se que tal análise de regressão busca modelar os resultados para os dados coletados na amostra de sêmen utilizado

no presente trabalho, e que para cada novo grupo de amostras, seria possível realizar uma nova análise de regressão.

Para uma regressão significativa, ou seja, com p -valor inferior a 5%, tal equação será representativa para o modelo numérico *fuzzy*. Além disto, também foi feito uma análise de cada coeficiente desta equação, na qual para termos (coeficientes) com p -valor não significativo (maior que 5%), sua consideração no modelo é irrelevante. Sendo assim, o modelo com ou sem este termo não implicará uma diferença significativa no valor de y .

Depois de identificados todos os coeficientes significativos (que evidentemente possuem termos da forma x_i , $x_i x_j$ ou x_i^2 associados), faz-se novamente a análise de regressão, mas agora considerando tais termos.

Para a análise gráfica das superfícies e mapas de contorno gerados é necessário fixar as demais variáveis no modelo, o que foi feito analogamente aos valores estabelecidos na criação das superfícies do modelo *fuzzy*, que são: $x_1 = 3,5$, $x_2 = 80$, $x_3 = 4$, $x_4 = 5$, $x_5 = 10$, $x_6 = 15$.

Visando a validação do modelo, foram testados todos os dados coletados de amostras de sêmen no modelo *fuzzy*. Uma vez que a única classificação de tais dados atualmente existente é a apto (1) ou inapto (0), e que o modelo *fuzzy* retorna valores entre 0 e 5, adotou-se para tal validação que, as amostras seriam inaptas quando o modelo *fuzzy* retornava resultados menores que 1, e aptas caso contrário (maiores ou iguais a 1). Logo, o modelo analisado para validação é dado por:

$$Y = \begin{cases} 0, & \text{se } y_f < 1 \\ 1, & \text{se } y_f > 1 \end{cases} \quad (7)$$

onde y_f representa a saída *fuzzy*.

Desta forma, adotou-se o procedimento da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), identificando o número de ocorrências de verdadeiros positivos (VP), verdadeiros negativos (VN), falsos positivos (FP) e falsos negativos (FN) através da comparação entre as duas classificações (a atual e a *fuzzy*). A partir disto, tem-se o cálculo da sensibilidade que, segundo Martinez, Louzada Neto e Pereira (2003), é a probabilidade de se conseguir um resultado positivo do modelo analisado por meio da equação:

$$S = \frac{VP}{VP + FN} \quad (8)$$

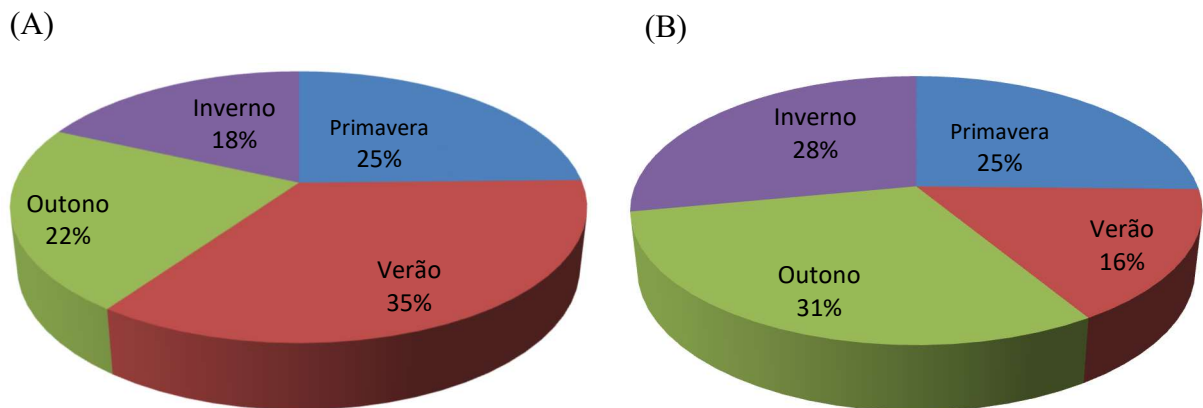
A especificidade, segundo os mesmos autores, é a probabilidade de obtenção de um resultado negativo dado que o modelo tenha a mesma classificação anterior de resultado negativo, sendo calculada por:

$$E = \frac{VN}{VN + FP} \quad (9)$$

3 Resultados e Discussão

Ao analisar o número de amostras de sêmen que foram consideradas aptos ou inaptos, percebe-se, pela Figura 7, que não houve um padrão de classificação devido à grande variação da Fertilidade *Fuzzy* ao longo das coletas de sêmen. Percebe-se que a maior frequência de amostras aptas ocorreram no verão (35%) seguido pela primavera (25%), sendo que no outono e inverno as amostras consideradas inaptas cresceram 9% e 10%, respectivamente, onde podemos inferir que as temperaturas mais baixas, baixa radiação solar e baixo índice pluviométrico influenciaram a disponibilidade/qualidade da pastagem, e por serem criados extensivamente suas condições nutricionais, corporais e fisiológicas foram afetadas influenciando o seu desempenho reprodutivo.

Figura 7: Quantidade de animais classificados como (A) aptos e (B) inaptos por estação climática.



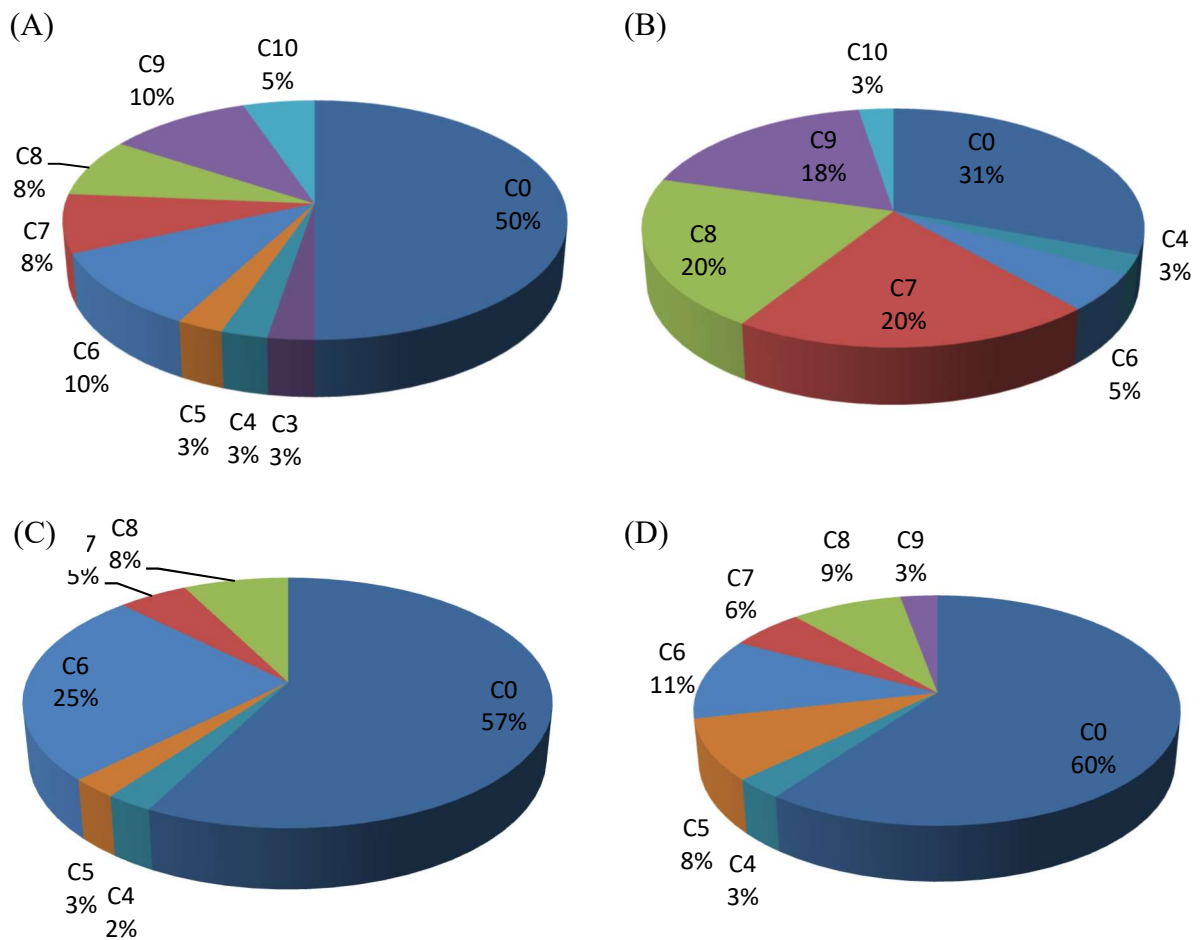
Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

A partir da Figura 8, pode-se perceber com maior clareza que os animais tiveram grande quantidade de amostras classificadas como inaptas, sendo 50% na primavera, 31% no verão, 57% no outono e 60% no inverno, e as amostras aptas tiveram maior frequência nos conjuntos intermediários C_6 , C_7 , C_8 .

Na primavera a metade das amostras que foram classificadas como aptas tiveram distribuição em oito conjuntos, já a estação do verão, que recebeu maior número de aprovações, teve a classificação distribuída principalmente entre os conjuntos C_7 , C_8 e C_9 , totalizando juntos 58%. No outono o conjunto C_6 obteve o maior número de ocorrências de amostras aptas (25%), assim como no inverno, porém com frequência reduzida em 14%.

Levando em conta que o estudo foi iniciado na primavera, percebe-se uma maior pulverização das classificações nesta estação, com a chegada do verão os animais têm seus índices elevados e por isso concentra-se em classificações mais altas, o que reduz no outono e volta a ser pulverizado no inverno. Assim, as estações que proporcionaram conforto corporal, nutricional e fisiológico ao animal apresentaram influencia positiva em sua fertilidade.

Figura 8: Distribuição dos animais por conjuntos *Fuzzy* de classificação durante as estações do ano (A) Primavera, (B) Verão, (C) Outono, (D) Inverno.

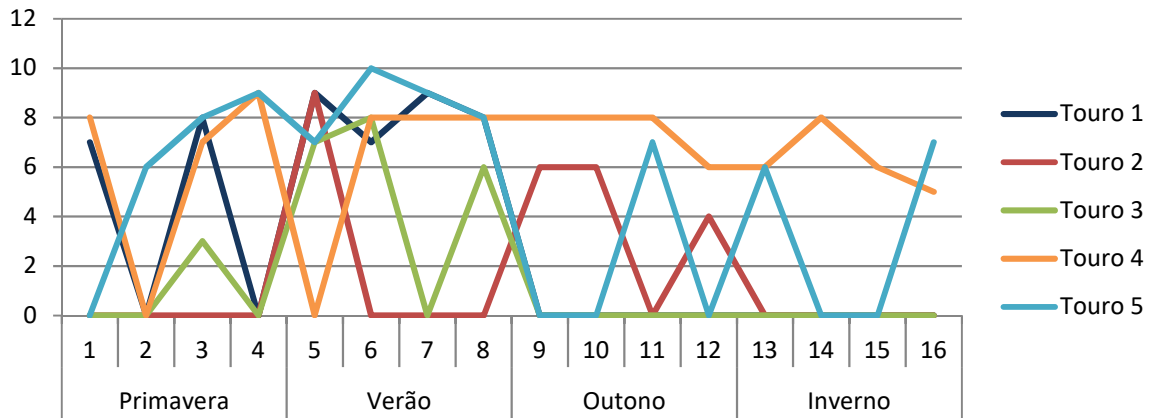


Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Para análise do desempenho de cada touro individualmente, os animais foram divididos por raças, sendo os touros Simental representados na Figura 9 e os touros Nelore representados na Figura 10. Pode-se perceber que nenhum dos touros apresentou, por meio da amostra de sêmen, uma tendência na classificação, seja ela de melhora ou piora, isto demonstra a importância de avaliação periódica para a tomada de decisão, já que um touro bem avaliado em uma coleta pode ser considerado inapto na próxima, como é o caso do Touro 1, que na primeira coleta foi classificado no conjunto C_7 e na seguinte foi considerado inapto,

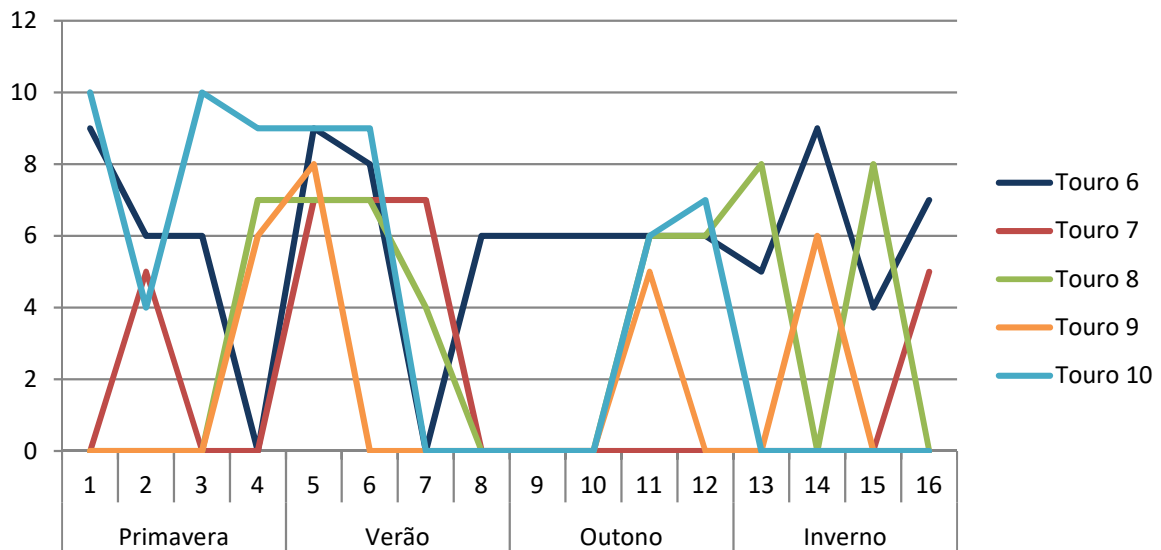
isto ocorreu devido às variáveis de Turbilhão, Vigor e Defeitos Maiores não terem atingido a meta definida pelo CBRA/MAPA.

Figura 9: Desempenho individual dos touros da raça Simental ao longo do estudo.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Figura 10: Desempenho individual dos touros da raça Nelore ao longo do estudo.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Nenhum touro obteve a classificação máxima (C_{13}), sendo que os touros 5 e 10 obtiveram a classificação mais alta dentre os demais e os animais que tiveram menos classificações no conjunto C_0 foram os touros 4 e 6, classificados como inaptos em apenas duas coletas. Ao analisar a Figura 9, percebe-se que entre os touros Simental a maior frequência de amostras aptas ocorreu nas estações mais quentes (primavera e verão), sendo que a melhor classificação ocorreu na coleta 6, em que o animal 5 foi avaliado no conjunto C_{10} . Vale ressaltar, que apenas nas coletas 2, 14 e 15 um único animal foi considerado apto e que os touros 1 e 3 se mostraram mais sensíveis às condições climáticas, pois com a chegada do outono tiveram classificação inapta e permaneceram assim até a primavera.

Entre os touros da raça Nelore (Figura 10) as coletas 8, 9 e 10 tiveram apenas um animal considerado apto, sendo que as baixas temperaturas influenciaram, principalmente, o touro 7 que recebeu classificação inapta no período do outono e inverno, com exceção da coleta 16. Entre os animais considerados aptos, a classificação máxima (C_{10}) foi obtida nas coletas 1 e 3 pelo animal número 10.

Quando o touro é avaliado por coleta de dados, o produtor tem a informação de qual animal é classificado como mais fértil naquele momento, conforme grifo cinza da Tabela 11. Sabendo-se que os touros de 1 a 5 são da raça Simental e os de 6 a 10 são Nelore, tem-se que o touro 3 e o 9 não foram classificados como os mais férteis em nenhuma das coletas, quando comparados a outros da mesma raça, embora tenham tido classificações em conjuntos mais elevados, principalmente no verão.

Os touros indicados como mais férteis para a raça Simental foram o número 4, indicado 10 vezes, cuja classificação mais alta foi no conjunto C_9 seguido pelo touro 5 que teve classificação no conjunto C_{10} no decorrer de oito indicações de fertilidade.

Entre os touros da raça Nelore os mais indicados foram o número 6, indicado oito vezes, sucedido pelo número 10, indicado sete vezes, sendo a maior classificação nos conjuntos C_9 e C_{10} , respectivamente.

Tabela 11: Animais mais indicados a reprodução, por raça e por coleta de amostra de sêmen.

Coletas	Primavera				Verão				Outono				Inverno				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Touro 1	C_7	C_0	C_8	C_0	C_9	C_7	C_9	C_8	C_0	C_0	C_0	C_0	-	C_0	-	C_0	
Touro 2	-	C_0	C_0	C_0	C_9	C_0	C_0	C_0	C_6	C_6	C_0	C_4	C_0	C_0	C_0	C_0	
Touro 3	C_0	C_0	C_3	-	C_7	C_8	C_0	C_6	C_0	C_0	C_0	C_0	C_0	-	C_0	C_0	
Touro 4	C_8	C_0	C_7	C_9	C_0	C_8	C_8	C_8	C_8	C_8	C_8	C_8	C_6	C_6	C_8	C_6	C_5
Touro 5	C_0	C_6	C_8	C_9	C_7	C_{10}	C_9	C_8	C_0	C_0	C_7	C_0	C_6	C_0	-	C_7	
Touro 6	C_9	C_6	C_6	C_0	C_9	C_8	C_0	C_6	C_6	C_6	C_6	C_6	C_5	C_9	C_4	C_7	
Touro 7	C_0	C_5	C_0	C_0	C_7	C_7	C_7	C_0	C_0	C_0	C_0	C_0	C_0	C_0	C_0	C_5	
Touro 8	C_0	C_0	C_0	C_7	C_7	C_7	C_4	C_0	C_0	C_0	C_6	C_6	C_8	C_0	C_8	C_0	
Touro 9	C_0	C_0	C_0	C_6	C_8	C_0	C_0	C_0	C_0	C_0	C_5	C_0	C_0	C_6	C_0	C_0	
Touro 10	C_{10}	C_4	C_{10}	C_9	C_9	C_9	-	C_0	C_0	C_0	C_6	C_7	C_0	C_0	C_0	-	

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Legenda: C_i refere-se aos conjuntos *fuzzy* de saída no qual os animais foram classificados.

Se compararmos os touros sem considerar a separação por raças, conforme grifo amarelo da Tabela 11, tem-se que das 16 coletas, os touros da raça Simental foram indicados 11 vezes e os da raça Nelore foram indicados 9 vezes, sendo que 8 indicações ocorreram na primavera, 10 no verão, 4 no outono e 5 no inverno. Desta maneira o produtor possui mais

indicações no verão e apenas um touro indicado nas coletas do outono e inverno, com exceção da coleta 16, que foram indicados dois touros, um Simental e outro Nelore.

Assim, percebe-se que os animais da raça Nelore foram mais indicados nos períodos de escassez de alimentos enquanto os da raça Simental foram indicados nos períodos de maior abundância, tal fato pode ser explicado pela origem das raças, uma vez que a raça Simental possui origem européia e está melhor adaptada ao clima temperado, sem mudanças bruscas no clima, enquanto a raça Nelore é melhor adaptada ao clima tropical.

A Tabela 12 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) efetuada para a comparação entre as médias obtidas em cada variável para cada estação do ano, assim pode-se verificar que a estação do verão obteve as melhores médias diante das exigências do CBRA/MAPA, com exceção da Motilidade em que a melhor média se deu na estação da primavera. Em consequência, a Fertilidade *Fuzzy* com a maior média foi no verão, sendo classificada no conjunto C_5 da variável de saída.

As médias de Fertilidade *Fuzzy* mais baixas ocorreram no outono e inverno, pois as variáveis Turbilhão, Motilidade e Vigor obtiveram médias baixas no outono e, no inverno, as médias mais baixas foram conferidas às variáveis de exigência máxima (Defeitos Maiores, Defeitos Menores, e Defeitos Totais), impactando negativamente no resultado da Fertilidade *Fuzzy* das amostras coletadas, pois com esta média as amostras são classificadas no conjunto C_2 .

A análise de Tukey, que verifica a semelhança entre as médias, denota que a Fertilidade *Fuzzy* no verão é semelhante à primavera, que por sua vez se aproxima do outono e inverno, que são mais semelhantes, isto pode ter se dado devido às características climáticas apresentadas pelas estações, já que a primavera representa a transição entre a estação quente e a fria. Ressalta-se também, que a variável Vigor se mostrou semelhante nos pares primavera-verão e outono-inverno, porém sem semelhanças entre ambos e a variável Defeitos Menores apresentou afinidade de médias entre todas as estações.

Tabela 12: Média, desvio-padrão e análise de Tukey para as variáveis de entrada e saída nas estações do ano e raças.

		Turbilhão	Motilidade	Vigor	Defeitos Maiores	Defeitos Menores	Defeitos Totais	Fertilidade Fuzzy
Estação	Primavera	2,5±1,6ab	70,3±20,3a	3,4±1,1a	8,7±5,8ab	7,7±4,2a	16,4±8,4ab	1,7±1,5ab
	Verão	3,2±1,3ab	66,7±23,5ab	3,4±1,1a	7,2±4,6b	6,5±3,0a	13,6±6,6b	2,3±1,4a
	Outono	2,3±1,3b	55,7±25,5ab	2,6±1,1b	10,4±4,4a	7,7±3,1a	18,1±6,2a	1,3±1,2b
	Inverno	2,4±1,4b	58,0±21,8b	2,7±1,1b	10,7±5,1a	8,4±4,1a	19,1±7,8a	1,3±1,2b
Raça	Simental	2,9±1,4a	67,4±20,9a	3,3±1,1a	10,7±5,7a	8,2±4,2a	18,9±8,6a	1,7±1,4a
	Nelore	2,4±1,4b	58,2±25,1b	2,7±1,2b	7,8±4,1b	6,9±2,8b	14,7±5,7b	1,6±1,4a

Legenda: Nível de significância de 5% ($P < 0,05$); a,b - os meios que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Considerando a análise das raças, evidenciada pela Tabela 12, a Fertilidade *Fuzzy* foi considerada semelhante para touros Simental e Nelore, embora para todas as variáveis de entrada a análise de Tukey atribuiu letras diferentes, mostrando diversidade entre as raças. Ao analisar cada característica percebe-se que as amostras dos touros da raça Simental possuem melhores médias nas características de restrição mínima (Turbilhão, Motilidade e Vigor), enquanto os da raça Nelore possuem as melhores médias nas variáveis Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais. Desta forma, nota-se que apesar das diferenças entre as raças o impacto das características de restrição máxima e de restrição mínima equilibra o resultado geral de Fertilidade *Fuzzy*, já que ambos os resultados seriam classificados no conjunto C_7 .

A correlação entre as variáveis é mostrada na Tabela 13, onde as variáveis de restrição mínima e a Fertilidade *Fuzzy* apresentam correlação positiva forte, isto indica que quanto maior forem as notas atribuídas a estas variáveis de entrada maior será o escore de fertilidade. A correlação negativa apresentada pelas variáveis de restrição máxima indica que quanto maior forem as notas dessas variáveis menor será o escore de fertilidade, sendo que apenas a variável defeitos menores apresenta correlação fraca com a Fertilidade *Fuzzy*, já que seu índice está abaixo de 0,5, estabelecido para o teste. Vale ressaltar que todos os índices de correlação obtidos tiveram p -valor significativo, ou seja, próximos a zero.

Verifica-se que as variáveis de restrição máxima ao serem cruzadas com as variáveis de restrição mínima apresentam correlação negativa baixa mostrando pouca analogia com as demais, sendo que a variável Defeitos Menores apresentou a mais baixa correlação com as demais. Destaca-se a correlação positiva forte entre os pares de variáveis Defeitos Maiores-Defeitos Totais e Defeitos Menores-Defeitos Totais, o que pode ser explicado pela variável Defeitos Totais ser a soma destas variáveis correlacionadas.

Tabela 13: Correlação significativa (com p -valor<5%) entre a variável de saída Fertilidade *Fuzzy* e as variáveis de entrada Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais.

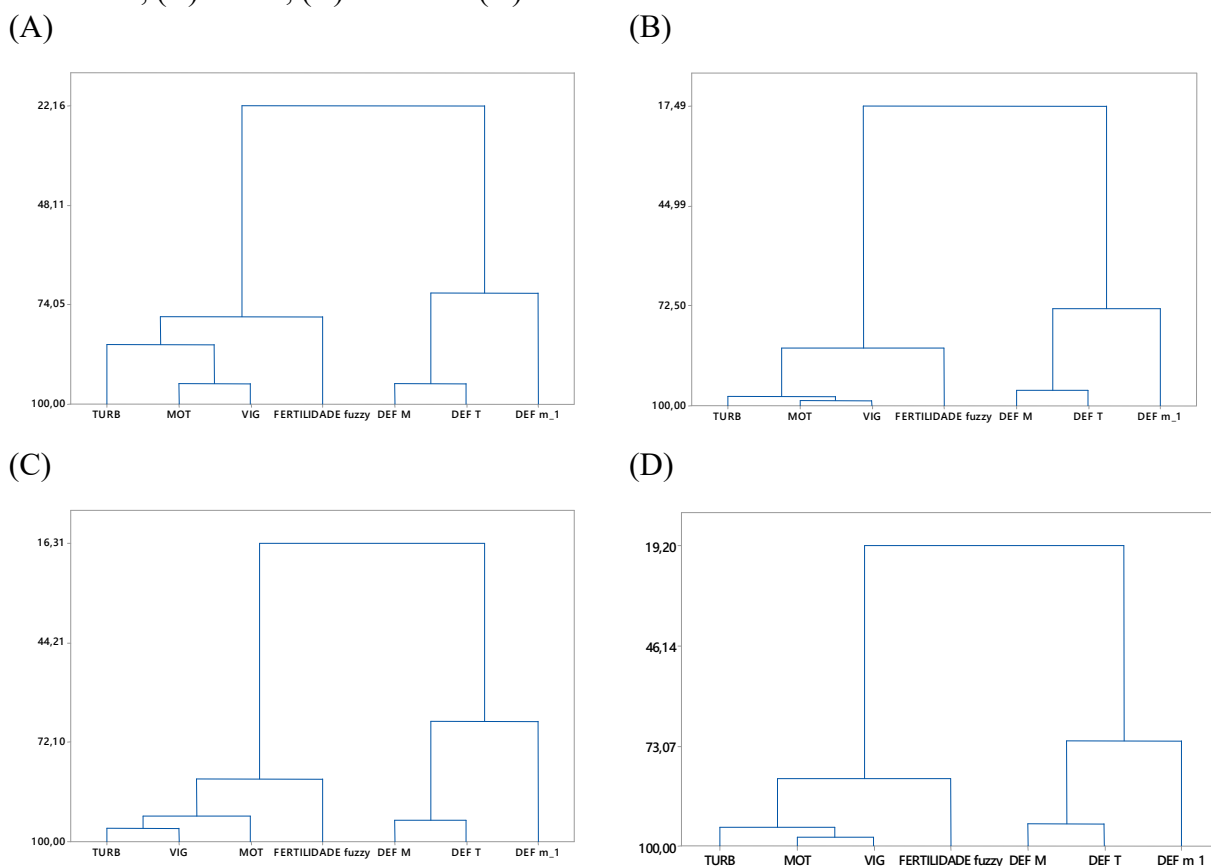
	Fertilidade <i>Fuzzy</i>	Turb	Mot	Vig	Def M	Def m
<i>Turb</i>	0,713					
<i>Mot</i>	0,653	0,817				
<i>Vig</i>	0,678	0,864	0,917			
<i>Def_{Maiores}</i>	-0,646	-0,268	-0,259	-0,279		
<i>Def_{Menores}</i>	-0,299	-0,176	-0,220	-0,168	0,435	
<i>Def_{Totais}</i>	-0,590	-0,273	-0,289	-0,276	0,898	0,786

Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

O resultado da análise de correlação pode ser confirmado por meio de dendogramas, que mostram a de similaridade entre as variáveis. Desta forma, a Figura 11 mostra o dendograma para as coletas de dados realizadas em todas as estações, sendo que na primavera, verifica-se que as variáveis Motilidade e Vigor e, Defeitos Maiores e Defeitos Totais são os clusters que apresentam maior similaridade, pois ambos possuem índice de 95%, aproximadamente. Considerando uma exigência de no mínimo 70% de similaridade, têm-se dois grupos de variáveis distintos, sendo que o primeiro grupo composto pelas variáveis Turbilhão, Motilidade e Vigor possuem maior similaridade com a variável de saída Fertilidade *Fuzzy* (aproximadamente 77%).

Para os dados que foram coletados na estação do verão, a similaridade entre os pares de variáveis foram maiores, sendo 99% para Motilidade-Vigor e 97% destas com a variável Turbilhão, a variável de saída atingindo 84%. Nesta estação, para se isolar os dois grupos de variáveis formados tem-se que aumentar a exigência de similaridade para 73%, isso mostra que apesar de um aumento de similaridade entre algumas variáveis, outras tiveram pouca alteração.

Figura 11: Dendograma da relação das variáveis Fertilidade *Fuzzy*, Turbilhão, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais para os dados da estação da (A) Primavera, (B) Verão, (C) Outono e (D) Inverno.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

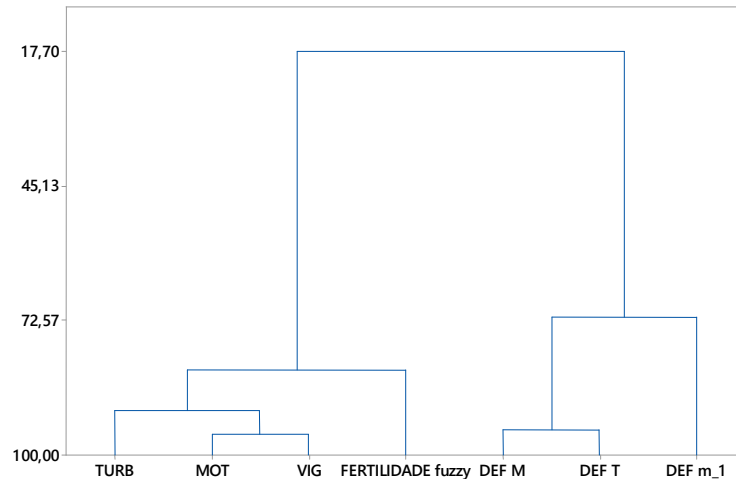
Na estação do outono a Figura 11 mostra mudança nos clusters formados, já que a variável Vigor apresenta-se 96% mais semelhante ao Turbilhão e junto com a Motilidade apresentam-se análogas à variável Fertilidade *Fuzzy* em 82%. Nesta estação a diferença entre os dois grupos de clusters se reduz, sendo possível o isolamento entre eles com 66% de exigência de similaridade.

No dendograma da estação inverno, a formação dos clusters volta a ser igual ao das estações da primavera e verão, sendo que as variáveis Turbilhão, Motilidade e Vigor atingem o índice de similaridade de 81% com a variável de saída. Para o isolamento dos grupos formados é necessário 72% de semelhança, enquanto o grupo das variáveis Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais, se assemelha às demais variáveis em apenas 19%.

Quando se analisa todas as estações concomitantemente, por meio da Figura 12, a formação dos clusters é semelhante à vista na maioria dos dendogramas individuais das estações, sendo que os índices de semelhança assumem os percentuais de 96% para os clusters

Motilidade-Vigor, 95% para Defeitos Maiores-Defeitos Totais, 91% para Turbilhão-Motilidade, 83% para Turbilhão-Fertilidade, 72% para Defeitos Maiores-Defeitos Menores, 16% para Turbilhão-Defeitos Maiores.

Figura 12: Dendograma da relação das variáveis Fertilidade *Fuzzy*, Turbilhao, Motilidade, Vigor, Defeitos Maiores, Defeitos Menores e Defeitos Totais em todas as estações.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Desta maneira, as variáveis Turbilhão, Motilidade e Vigor se assemelham à Fertilidade *Fuzzy* em 83%, enquanto as variáveis de restrição máxima se assemelham em 16%. Apesar da baixa semelhança a análise de correlação e de variância mostrou que estas variáveis são representativas ao modelo, por isso a exclusão delas poderia alterar o modelo de forma significativa.

Tal fato pode ser visualizado por meio da regressão polinomial múltipla que modela os resultados obtidos por meio do Sistema *Fuzzy*, a equação foi obtida com $R^2 = 89,66\%$ e $p - \text{valor} < 0,001$, sendo dada por:

$$\begin{aligned}
 y = & -0,129 + 0,631x_1 - 0,0006x_2 + 0,189x_3 + 0,380x_4 + 0,188x_5 - 0,291x_6 \\
 & + 0,01108x_1x_2 + 0,171x_1x_3 - 0,0456x_1x_4 - 0,0213x_1x_5 \\
 & - 0,0020x_2x_3 - 0,00001x_2x_4 - 0,00077x_2x_5 - 0,0334x_3x_4 \\
 & + 0,0359x_3x_5 - 0,2153x_1^2 + 0,000071x_2^2 - 0,047x_3^2 - 0,00957x_4^2 \\
 & - 0,00590x_5^2 + 0,00505x_6^2
 \end{aligned} \quad (10)$$

Tais resultados mostram que o modelo estimado pela análise de regressão é significativo a um nível de 0,05, explicando, aproximadamente, 90% das ocorrências. A partir da Tabela 14 podem-se verificar os indicadores da análise de regressão, onde o p -valor dos

coeficientes da equação assumem valores entre 0,000 e 0,976, como o nível de significância estabelecido foi de 0,05, todos os valores maiores que este indicam que a variável não está relacionada à Fertilidade *Fuzzy*. Isto sugere que um modelo que não contenha estas variáveis poderia ser mais apropriado.

Ao encontro disto, os índices de qualidade do modelo indicam que a falta de ajuste é a principal causa do erro, pois o erro puro causado pelo desvio dos dados em relação à média é zero, evidenciando que um modelo com todas estas variáveis não consegue descrever adequadamente a relação entre a variável dependente (y) e independente (x) devido ao erro associado, conforme Barros Neto, Scarminio, e Bruns (2001), possivelmente devido ao excesso de resíduos causado pelas repetições. Desta maneira, sugere-se novamente que um modelo sem as variáveis indicadas seria mais adequado aos dados.

Tabela 14: Indicadores da análise de regressão para as variáveis consideradas na equação de regressão.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor de F	Valor de P
Regressão	21	263	12,5238	53,66	0,000
x_1	1	1,119	1,1192	4,8*	0,030
x_2	1	0	0,0002	0	0,976
x_3	1	0,037	0,0366	0,16	0,693
x_4	1	0,417	0,4166	1,79	0,184
x_5	1	0,107	0,1071	0,46	0,499
x_6	1	0,262	0,2622	1,12	0,291
x_1^2	1	2,426	2,4265	10,4*	0,002
x_2^2	1	0,018	0,018	0,08	0,782
x_3^2	1	0,021	0,0207	0,09	0,767
x_4^2	1	1,403	1,4027	6,01*	0,016
x_5^2	1	0,522	0,5216	2,24	0,137
x_6^2	1	1,576	1,5763	6,75*	0,010
x_1x_2	1	0,636	0,6361	2,73	0,101
x_1x_3	1	0,31	0,3103	1,33	0,251
x_1x_4	1	3,287	3,2871	14,08*	0,000
x_1x_5	1	0,321	0,3213	1,38	0,243
x_2x_3	1	0,008	0,0077	0,03	0,856
x_2x_4	1	0	0	0	0,994
x_2x_5	1	0,037	0,0371	0,16	0,691
x_3x_4	1	0,405	0,4047	1,73	0,190
x_3x_5	1	0,154	0,1543	0,66	0,418
Erro	130	30,341	0,2334		
Falta de ajuste	109	30,341	0,2784	-	-
Erro puro	21	0,0000	0,0000		
Total	151	293,341			

Legenda: (*) valores <0,05 para p-valor.

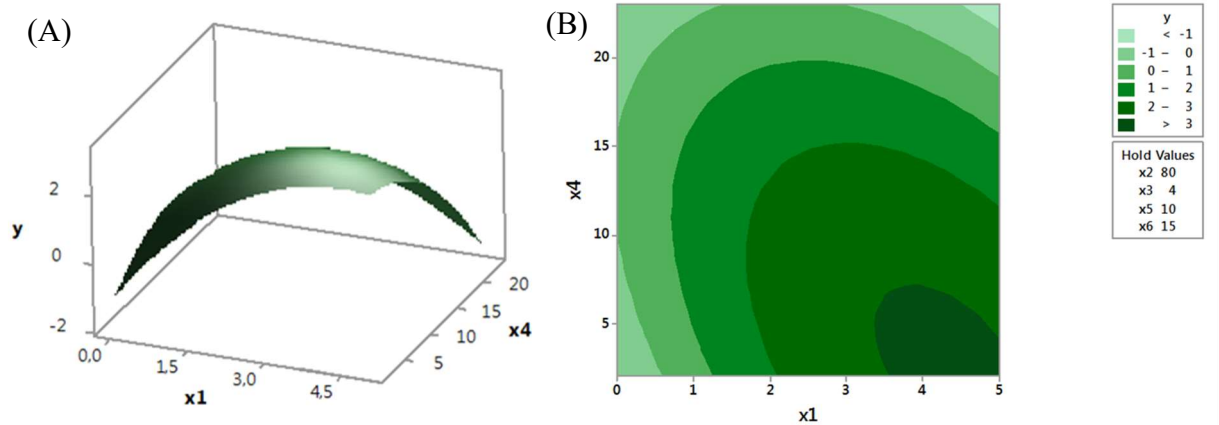
Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Assim, os termos significativos desta análise de regressão são $x_1, x_1^2, x_4^2, x_6^2, x_1x_4$, sendo estes analisados graficamente por meio das superfícies e respectivos mapas de contorno, nos eixos x_1 e x_4, x_1 e x_6, x_4 e x_6 . Vale ressaltar que as demais variáveis foram fixadas nos valores anteriormente estabelecidos ($x_1 = 3,5, x_2 = 80, x_3 = 4, x_4 = 5, x_5 = 10, x_6 = 15$).

Deste modo Figura 13 (A), mostra a superfície para as variáveis Turbilhão e Defeitos Maiores, neste caso a região mais clara apresenta o ponto ótimo, uma vez que ela se cruza com o y (Fertilidade *Fuzzy*) no nível mais alto. O mapa de contorno, mostrado pela

Figura 13 (B), apresenta a região verde mais escura como aquela com maior escore de Fertilidade *Fuzzy*, já que a variável Turbilhão exige altas notas e para os Defeitos Maiores quanto menor for a nota maior será a Fertilidade *Fuzzy*.

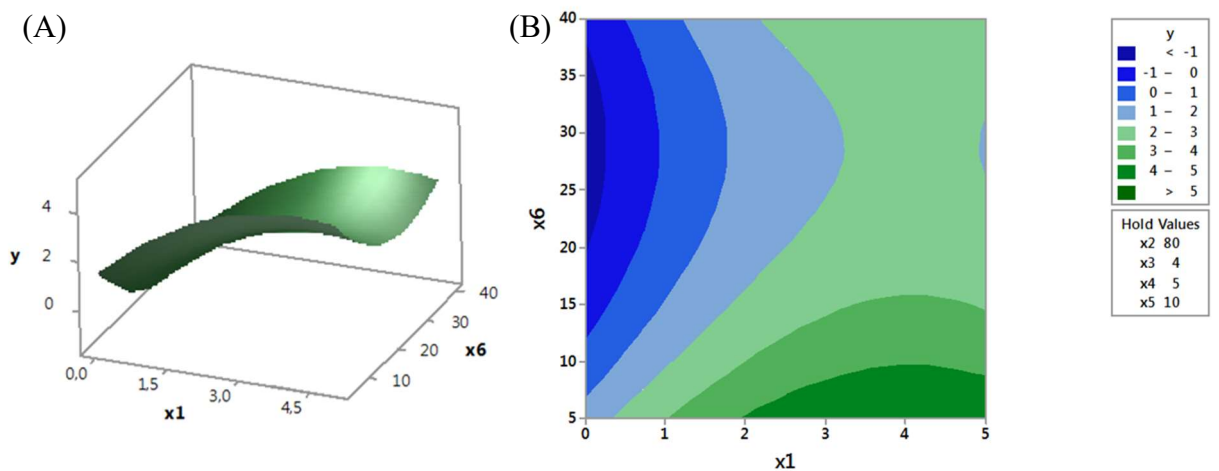
Figura 13: (A) Superfície e (B) Mapa de Contorno para as variáveis Turbilhão e Defeitos Maiores e sua influência sob a Fertilidade *Fuzzy*.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Para a Figura 14 (A) a superfície mostra o contorno crescente à medida que a variável Turbilhão (x_1) cresce e os Defeitos Totais (x_6) caem. Assim, o mapa de contorno (Figura 14 (B)) evidencia pela região verde mais escura os valores da variável de saída que apresentem escore maior que dois para a variável (x_1) e menor que dez para a variável (x_6), tais valores representam os índices exigidos pelo CBRA/MAPA.

Figura 14: (A) Superfície e (B) Mapa de Contorno para as variáveis Turbilhão e Defeitos Totais e sua influência sob a Fertilidade *Fuzzy*.

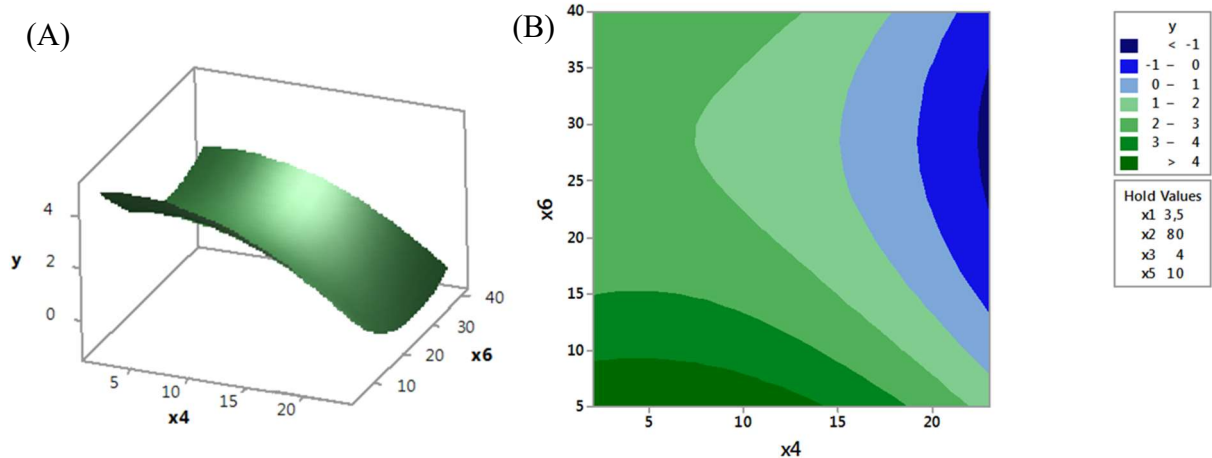


Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Para o cruzamento das variáveis Defeitos Maiores e Defeitos Totais, já que ambas variáveis exigem a menor nota para um alto índice de Fertilidade *Fuzzy*, a Figura 15 (A)

mostra que a superfície apresenta um crescente quando da diminuição das notas e o mapa de contorno representado pela Figura 15 (B) apresenta a região verde mais escura no entre os pontos 10 da variável x_6 (Defeitos Totais) e 15 de x_4 (Defeitos Maiores).

Figura 15: (A) Superfície e (B) Mapa de Contorno para as variáveis Defeitos Maiores e Defeitos Totais e sua influência sob a Fertilidade *Fuzzy*.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Vale ressaltar que no modelo de regressão os valores da Fertilidade *Fuzzy* podem assumir valores negativos, como pode ser percebido pelos gráficos. Considerando que os valores gerados pelo modelo *Fuzzy* são positivos, pode-se gerar uma nova equação Y a partir da Equação (11) tornando todo valor negativo em nulo, da seguinte forma:

$$Y = \begin{cases} y, & \text{se } y > 0 \\ 0 & \text{se } y \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

onde:

$$\begin{aligned} y = & -0,129 + 0,631x_1 - 0,0006x_2 + 0,189x_3 + 0,380x_4 + 0,188x_5 - 0,291x_6 \\ & + 0,01108x_1x_2 + 0,171x_1x_3 - 0,0456x_1x_4 - 0,0213x_1x_5 \\ & - 0,0020x_2x_3 - 0,00001x_2x_4 - 0,00077x_2x_5 - 0,0334x_3x_4 \\ & + 0,0359x_3x_5 - 0,2153x_1^2 + 0,000071x_2^2 - 0,047x_3^2 - 0,00957x_4^2 \\ & - 0,00590x_5^2 + 0,00505x_6^2 \end{aligned} \quad (12)$$

Desta maneira os resultados da regressão se assemelhariam ao modelo *Fuzzy* elaborado, fornecendo apenas valores positivos para a variável de saída considerada. Tal nova equação possui caráter geral, podendo ser utilizada para a classificação de qualquer amostra de sêmen.

A fim de comparar a classificação existente (apto ou inapto) e a classificação *Fuzzy*, fez-se os cálculos para a curva ROC, tendo o índice de sensibilidade dado por:

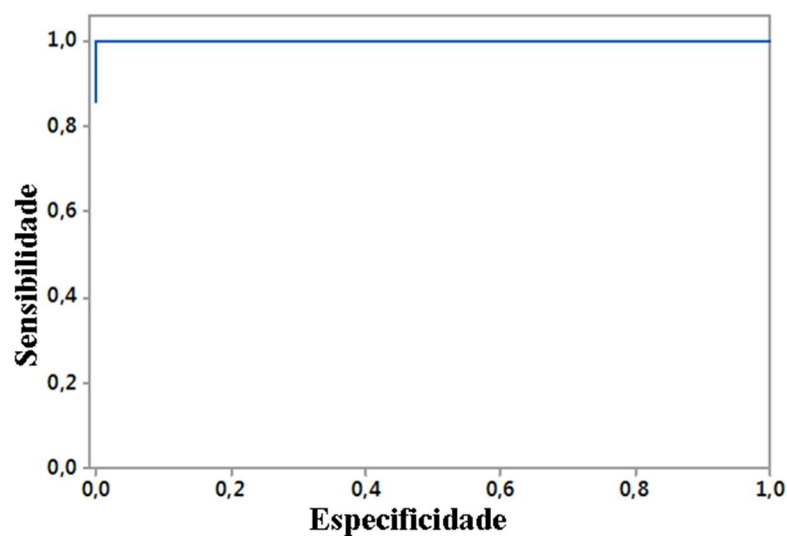
$$S = \frac{77}{77 + 0} = 1 \quad (13)$$

Para a especificidade o índice é dado por:

$$E = \frac{75}{75 + 0} = 1 \quad (14)$$

Desta maneira o modelo *Fuzzy* apresentou sensibilidade e especificidade de 1 ou 100%, ou seja, confirmou 100% da classificação das coletas de amostras de sêmen, tal resultado pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16: Curva ROC para o modelo *Fuzzy* proposto.



Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Segundo Prati, Batista e Monard, (2008), as curvas ROC permitem verificar a otimização da sensibilidade em função da especificidade que corresponde ao ponto que se encontra mais próximo do canto superior esquerdo do diagrama, considerando que a especificidade são os falsos positivos e a sensibilidade são os verdadeiros positivos, o ponto mais próximo do canto superior esquerdo indica que o índice de positivos verdadeiro é 1 e o de falsos positivos é zero. Desta maneira, o modelo *fuzzy* apresentou a otimização no ponto (0; 1,0), revelando que todos os eventos positivos e negativos são corretamente classificados.

4 Conclusão

Ao aplicar o modelo elaborado a um rebanho, pode-se verificar que o modelo é eficiente na separação dos animais, dando ao produtor uma rápida visão de quais os animais que possuem melhores indicadores de fertilidade, trazendo assim maiores chances de capacidade reprodutiva.

O sistema evidencia que ao longo de um período os animais podem sair de uma classificação mais baixa ou até mesmo da situação de inaptidão para uma boa classificação de fertilidade, não existindo um padrão de crescimento ou queda de qualidade para o sêmen coletado de um determinado animal. Tal situação evidencia a necessidade de constante avaliação do rebanho, principalmente no momento de reprodução, visto que as condições de fertilidade dos animais podem se alterar a partir das condições climáticas a que são expostos.

Através da classificação dos animais ao longo das estações do ano, pôde-se verificar que nas estações Outono e Inverno o desempenho dos touros apresenta-se inferior às demais, isso pode ser explicado pelas condições climáticas que afetam a resposta do animal ao ambiente e conseqüentemente influenciam suas condições de fertilidade. Porém, não houve indícios significativos de um desempenho superior de alguma das raças estudadas para a Fertilidade *Fuzzy*.

As análises estatísticas a qual os resultados do sistema foram submetidos mostraram que o modelo *fuzzy* elaborado é eficiente na classificação de fertilidade, sendo bem adequado aos dados e com índices de acerto em suas predições de 100%.

5 Referências

ARAÚJO, G. G. L. de. Os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e a produção animal em regiões semiáridas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 08, n. especial, p. 598 – 609. 2015.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Como fazer experimentos-pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. Campinas: UNICAMP, 2001.

CBRA - COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL. *Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal*. 3 ed. Belo Horizonte: CBRA, 2013. 104 p.

CHACUR, M. G. M. et al. Influência da estação do ano nas características do sêmen e na concentração de hormônios em touros Nelore e Simental. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 64, n. 3, p. 540 – 546. 2012.

FIGUEIREDO, D. M. de. et al. Análise econômica de quatro estratégias de suplementação para recria e engorda de bovinos em sistema pasto-suplemento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 5, p. 1443 – 1453. 2007.

MARTINEZ, E. Z.; LOUZADA NETO, F.; PEREIRA, B. de B. A curva ROC para testes diagnósticos. *Cadernos da Saúde Coletiva*, v. 11, n. 1, p. 7 – 31, 2003.

MCMANUS, C. et al. Pecuária e mudanças climáticas. *Revista UFG*, v.13, n. 1, p. 73 – 82, dez. 2012.

NOIVA, K.; FERNANDEZ, J. E.; WESCOAT JUNIOR, J. Cluster analysis of urban water supply and demand: Toward large-scale comparative sustainability planning. *Sustainable Cities and Society*, v. 27, n. 1, p. 484 – 496, nov. 2016.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 5, n. 6, p.777 – 788, nov./dez. 2008.

PRATI, R. C.; BATISTA, G. E. A. P. A.; MONARD, M. C. Curvas ROC para avaliação de classificadores. *IEEE Latin America Transactions*, v. 6, n. 2, p. 215 – 222, jun. 2008.

THORNTON, P. K. et al. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, v. 101, n. 3, p. 113–127, jul. 2009.

VIEIRA, P. V. M.; WAINER, J. Correlações entre a contagem de citações de pesquisadores brasileiros, usando o Web of Science, Scopus e Scholar. *Perspectivas em Ciência da Informação*, Belo Horizonte, v. 18, n. 3, p. 45-60, set. 2013.

Considerações Finais

O modelo *fuzzy* desenvolvido mostrou-se eficiente na classificação de fertilidade de touros a partir da avaliação do sêmen animal, trazendo resultados satisfatórios quando submetido a testes estatísticos, como é o caso da curva ROC que demonstrou que o modelo acertou 100% quando comparado a avaliação anterior dos animais (apto ou inapto).

Desta maneira, o sistema é eficiente na classificação e possui o diferencial de realizar a classificação dos animais em conjuntos que representam a inaptidão ou a aptidão com graus de fertilidade de maneira instantânea, possibilitando ao produtor uma ferramenta de auxílio no manejo produtivo, no que tange a reprodução animal, já que a constante avaliação animal permite direcionar os animais melhor classificados à reprodução.

Além disso, os dados utilizados possibilitaram a avaliação da influência das estações do ano na fertilidade animal para duas raças de touros (Nelore e Simental), mostrando que as condições climáticas influenciam a fertilidade dos animais, devido à sua necessidade de resposta ao ambiente para a adaptação àquelas condições. Porém, as raças não apresentaram diferenças que se possa afirmar que uma raça é superior a outra na variável fertilidade.

Desta maneira, o produtor rural pode se apoiar no referido modelo para a tomada de suas decisões, uma vez que o sistema é baseado em um manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal e livre de subjetividades na avaliação da fertilidade possibilitará eficiência produtiva e, conseqüentemente, ampliação dos lucros do empreendimento agropecuário.

Para trabalhos futuros pretende-se criar, aleatoriamente, diversos valores das variáveis x_1 a x_6 para ser calculada a respectiva saída *fuzzy* e feita uma análise de regressão similar a elaborada para os dados particulares do experimento realizado. Desta maneira, é possível validar o modelo elaborado para sua aplicação em qualquer amostra de sêmen bovino.

Além disso pretende-se aprimorar o modelo desenvolvido inserindo os graus de infertilidade. Desta maneira o animal que fosse classificado como inapto também seria classificado em subconjuntos, indicando aqueles que estão mais próximos de uma possível classificação de aptidão.

Referências

ABIEC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES). *Rebanho Bovino Brasileiro*. 2016. Disponível em <http://www.abiec.com.br/3_rebanho.asp>. Data de acesso: 12 jul 2016.

ACNB (ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE NELORE DO BRASIL). *Caracterização Racial*. 2017. Disponível em: <<http://www.nelore.org.br/Raca/Caracterizacao>>. Data de acesso: 17 fev 2017.

AMARAL, T. B.; COSTA, F. P.; CORRÊA, E. S. *Touros melhoradores ou inseminação artificial: um exercício de avaliação econômica*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2003.

CBRA - COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL. *Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal*. 3 ed. Belo Horizonte: CBRA, 2013. 104 p.

FARIA, N. R. Programa de inseminação artificial em grande escala em bovinos de corte/ produção de novilho precoce e super precoce. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 1., 1999, Viçosa, *Anais...* Viçosa: UFV, 1999. p. 65-84.

GHARIBI, H. et al. A novel approach in water quality assessment based on *Fuzzy logic*. *Journal of Environmental Management*. n. 112, p. 87 – 95. 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM, 2014*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 02 jan 2014.

MCMANUS, C. et al. Pecuária e mudanças climáticas. *Revista UFG*, v.13, n. 1, p. 73 – 82, dez. 2012.

NEVES, J. P.; GONÇALVES, P. B. D.; OLIVEIRA, J. F. C. Fatores que afetam a eficiência reprodutiva na vaca. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 23, n. 2, p. 99 – 105, 1999.

REZAEI, J.; ORTT, R. Supplier segmentation using *Fuzzy logic*. *Industrial Marketing Management*, v. 42, n. 4, p. 507–517, maio. 2013.

SINGH, U. et. al. Molecular markers and their applications in cattle genetic research: A review. *Biomarkers and Genomic Medicine*, v. 6, n. 2. p. 49-58, jun. 2014.

STANDERHOLEN, F. B. et al. Use of immobilized cryopreserved bovine semen in a blind artificial insemination trial. *Theriogenology*, v. 84, n. 3, p. 413–420, ago. 2015

THORNTON, P. K.; VAN DE STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, v. 101, n. 3, p. 113–127, jul. 2009.

ZADEH, L. A. Is there a need for *Fuzzy logic*? *Information Sciences*, v. 178, n. 13, p. 2751–2779, 2008.