

Jousiane Alves Martins

**LÓGICA FUZZY PARA A AUTOMAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE
AMOSTRAS DE LEITE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Animal Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientador: Alcinei Místico Azevedo

Co-orientadores: Anna Christina de Almeida;
Maximiliano Soares Pinto

**MONTES CLAROS - MG
2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL**

JOUSIANE ALVES MARTINS

**LÓGICA FUZZY PARA A AUTOMAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE AMOSTRAS
DE LEITE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Produção Animal da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Produção Animal Área de
Concentração: Produção Animal Linha de Pesquisa:
Qualidade de produtos de origem animal Orientador:
Dr. Alcinei Místico Azevedo

Montes Claros - MG

2020

Martins, Jousiane Alves.

M3861 Lógica Fuzzy para a automação da classificação de amostras de leite /
2020 Jousiane Alves Martins. Montes Claros, 2020.
84 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Área de concentração em Produção Animal
Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Alcinei Místico Azevedo.

Banca examinadora: Prof.^a Janáina Teles de Faria, Prof. Rodolpho César
dos Reis Tinini, Prof.^a Suerlani Aparecida Ferreira Moreira Ruas.

Inclui referências: f. 41-55; 78-83.

1. Leite -- Produção. 2. Lógica difusa. 3. Automação. I. Azevedo,
Alcinei Místico (Orientador). II. Universidade Federal de Minas Gerais.
Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 637.1

ELABORADA PELA BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA DO ICA/UFMG
Josiel Machado Santos / CRB-6/2577



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Colegiado de Pós-Graduação em Produção Animal

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 27 dias do mês de fevereiro de 2020 às 1400 horas, sob a Presidência do Professor Alcinei Místico Azevedo, D. Sc. (Orientador/ICA-UFMG) e com a participação dos Professores Janaina Teles de Faria, D. Sc. (ICA/UFMG), Rodolpho César dos Reis Tinini, D. Sc. (ICA/UFMG) e Sueriani Aparecida Ferreira Moreira Ruas, D. Sc. (FAS), reuniu-se a Banca de defesa de dissertação de JOUSIANE ALVES MARTINS, aluna do Curso do Mestrado em Produção Animal. O resultado da defesa de dissertação intitulada "Logica fuzzy

para a automação da classificação de amostras de leite

foi expresso pelo conceito "A" (nota 9,0), sendo a aluna considerada (aprovada/reprovada) Aprovada. E, para constar, eu, Professor Alcinei Místico Azevedo, Presidente da Banca, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 64 do regulamento do Curso do Mestrado em Produção Animal, conforme apresentado a seguir:

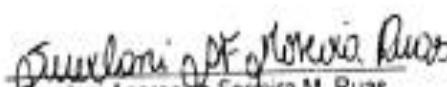
Art. 64 – Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do colegiado do Curso, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 27 de fevereiro de 2020.


Alcinei Místico Azevedo
Orientador


Janaina Teles de Faria
Membro


Rodolpho César dos Reis Tinini
Membro


Sueriani Aparecida Ferreira M. Ruas
Membro

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e ao meu irmão, que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida. Meu esposo e aos meus filhos Helena e Thomaz que, com muito carinho souberam entender os momentos de minha ausência, vocês são os pilares de minha vida e minhas conquistas.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar constantemente presente em minha vida, e nessa fase que por muitas vezes somente tua força me manteve firme.

Ao Professor Alcinei pela orientação, principalmente pela confiança e paciência todas as vezes que o procurei. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados de forma admirável, me guiando durante todo trabalho.

Às amigas Maria Cecília, Ana Clara e Leticia que se fizeram presentes com incentivos e forças para que eu chegasse até o final. Vocês são prova de que Deus coloca anjos em nosso caminho.

EPÍGRAFE

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim
decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou
lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida,
que o mais importante é o DECIDIR.”

Cora Coralina

RESUMO

A demanda de consumo de produtos lácteos tem crescido entre a população brasileira, o que torna o monitoramento da qualidade do leite feito pelos laticínios importante tanto para a indústria como para o consumidor e o produtor. Porém este monitoramento não é tarefa fácil devido ao grande número de produtores que fornecem leite para laticínios. Logo, objetivou-se avaliar a utilização da lógica fuzzy na tomada de decisão para a classificação do leite. Na etapa de fuzzyficação foram consideradas como variáveis linguísticas de entrada as características físico químicas do leite. Foram considerados os teores de Gordura, Proteína, Lactose, Sólidos não gordurosos (ESD), Sólidos totais (EST), Acidez titulável, Densidade relativa a 15°C, Índice crioscópico e Teste de Alizarol, e criou-se uma variável linguística para a saída. Os sistemas fuzzy foram desenvolvidos utilizando o software R, sendo utilizada a metodologia de Mandani Min na etapa de fuzzificação e o método do centroide na Defuzzificação, para qual foram adotadas as classificações de (Adulterado, Inadequado e Adequado) para cada amostra de leite. Computacionalmente, foram feitas simulações de amostras de leite com padrões adulterado, inadequado e adequado conforme a legislação em vigor. Todas estas amostras simuladas de leite foram classificadas corretamente pela lógica fuzzy, totalizando 100% de acerto. Logo, a lógica fuzzy é uma ferramenta eficiente para a classificação do leite, podendo ser usada vantajosamente por profissionais da área a fim de reduzir mão de obra, recursos humanos e financeiros. Além disso, destaca-se que a relação entre a pertinência ao grupo “adequado” e a qualidade do leite permite confirmar a eficiência do sistema fuzzy, o que viabiliza e beneficia o setor leiteiro.

Palavras-chave: Leite. Lógica. Lógica Nebulosa. Teoria Fuzzy.

ABSTRACT

The demand for consumption of milk products has grown among the Brazilian population, which makes the monitoring of the quality of milk dairy products made by important both for industry and for the consumer and the producer. This study aimed to verify the efficiency of automation of the classification as regards the quality of the milk by means of Fuzzy logic. In the stage of fuzzyfication were considered as linguistic variables of the physicochemical characteristics of milk. We evaluated the levels of fat, protein, lactose, solids not fat (ESD), total solids (EST), titratable acidity, relative density at 15°C, crioscópico Index and alizarol Test, and created a linguistic variable for the output. The fuzzy systems have been developed using the R software, being used the methodology of Mandani Min in step of fuzzyfication and the centroid method in defuzzification, for which they were adopted the classifications (adulterated, inadequate and adequate) for each of the milk sample. In the simulation process used for the milk samples inappropriate verifies that the analyzes of fat, protein, lactose, solids not fat, total solids, density and acidity were within the pattern established by current legislation. While all samples (n = 25/100%) presented alteration on Alizarol test. All 25 samples for the analysis of adulterated milk were classified as adulterated by the fuzzy logic. This demonstrates that this methodology allowed the automation of this classification with efficiency. As the system modeled the appropriate milk samples from all showed appropriate values of protein, lactose, fat, solids not fat, total solids and density. All these samples were classified as adequate by the fuzzy logic. fuzzy logic is a powerful tool for the classification of the milk, and can be used advantageously by professionals of the area in order to reduce labor, human and financial resources. Furthermore, it should be emphasized that the relationship between the relevance and quality of the milk allows you to confirm the efficiency of the fuzzy system, which enables and enjoys the dairy sector.

Keywords: Milk. Logic. Fuzzy Logic. Fuzzy Theory.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Revisão de Literatura.....	16
Figura 1 – Estrutura de lactose nas formas a e b.....	24
Figura 2 – Esquema da teoria de conjuntos fuzzy proposto por Zadeh.....	37
Figura 3 – Desenho comparativo da lógica clássica da fuzzy.....	38
Artigo 1 – Lógica fuzzy para a automação da classificação de amostras de leite.....	56
Figura 1 – Funções de pertinências assumidas para as variáveis linguísticas utilizando as formas trapezoidais.....	61

LISTA DE TABELAS

Revisão de Literatura.....	16
Tabela 1 – Composição de leites de espécies mamíferas selecionadas.....	23
Tabela 2 – Estudos que correlacionam a lactose com a qualidade do leite.....	26
Tabela 3 – Eficácia da lógica fuzzy em diferentes áreas da produção animal...	35
Artigo 1 – Lógica fuzzy para a automação da classificação de amostras de leite	56
Tabela 1 – Tabela de confusão para a classificação de amostras simuladas de leite pelo sistema fuzzy.....	63
Tabela 2 – Eficiência do sistema fuzzy para 25 amostras simuladas de leite com classificação “inadequado”.....	65
Tabela 3 – Eficiência do sistema fuzzy para 25 amostras simuladas de leite com classificação “adulterado”.....	68
Tabela 4 – Eficiência do sistema fuzzy para 25 amostras simuladas de leite com classificação “adequado”.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Vigitel	Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico
TAG	Triglicérides ou o Triacilglicerol
PC	Fosfatidilcolinas
PE	Fosfatidiletanolaminas
SM	Esfingomielinas
AG	Ácidos graxos
Pi	Ponto isoelétrico
pH	Potencial Hidrogeniônico
RIISPOA	Regulamento Industrial de Inspeção Sanitária de Produtos de Origem Animal
ATT	Acidez Titulável
UHT	<i>Ultra High Temperature</i> / Temperatura Ultra Alta
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
DPC	Depressão do Ponto de Congelamento
FISs	Sistemas de Inferência Difusa
ESD	Sólidos não gordurosos
EST	Sólidos totais
IC	Índice crioscópico
LINA	Leite instável não ácido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	Consumo e utilização de leite no Brasil.....	16
3.2	Composição do leite.....	18
3.2.1	Sólidos totais (ST) e Sólidos não gordurosos (SNG).....	19
3.2.2	Gordura do leite.....	20
3.2.3	Proteínas do leite.....	22
3.2.4	Lactose.....	23
3.3	Adulteração do leite.....	27
3.4	Formas de adulteração no leite e a importância dos testes físico-químicos....	28
3.4.1	Acidez titulável.....	29
3.4.2	Densidade relativa a 15°C.....	31
3.4.3	Índice crioscópico.....	32
3.4.4	Teste de Alizarol.....	33
3.5	Lógica fuzzy e a Produção Animal.....	34
3.5.1	Conceito da teoria fuzzy.....	37
3.5.2	Sistema de Inferência Mamdani.....	39
	Referências.....	41
4	ARTIGO	55
4.1	Artigo 1 – Lógica fuzzy para a automação da classificação de amostras de leite.....	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84

1 INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira tornou-se de grande relevância para o país, tanto no contexto social quanto no econômico. No Brasil é praticada por produtores em vários níveis organizacionais e tecnológicos, que vão desde a agricultura familiar e pequenas cooperativas até propriedades com elevado nível tecnológico (WILLERS *et al.*, 2014).

A demanda de consumo de produtos lácteos tem crescido entre a população brasileira, o que torna o monitoramento da qualidade do leite feito pelos laticínios importante tanto para a indústria como para o consumidor e o produtor, pois é uma forma de avaliar o atendimento aos padrões de composição e higiene preconizados pela legislação, assegurando ao consumidor um produto de qualidade, sob os aspectos físico-químicos e microbiológicos (CARVALHO *et al.*, 2016).

Observa-se que a qualidade do leite torna-se um problema mundial, pois é necessário detectar produtos fraudados e com qualidade inferior ao oferecido no mercado. Essas fraudes ocasionam prejuízos para as indústrias de laticínios, ocasionando diminuição no rendimento, redução do valor nutricional, modificações na qualidade dos produtos e risco para o consumidor, em especial pela presença de substâncias que podem causar riscos à saúde (ABRANTES; CAMPÊLO; SILVA, 2014).

Neste contexto, verifica-se a necessidade de sistemas inteligentes baseados na lógica fuzzy que são capazes de trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil implementação computacional, com modelo do processo simplificado e

facilidade de incorporação do conhecimento de especialistas humanos (FERREIRA *et al.*, 2010; PANDORFI *et al.*, 2012).

Percebe-se que são várias as utilidades da lógica fuzzy para a produção animal, mas verifica-se a dificuldade de trabalhos específicos que detalhem um método mais próximo com as orientações de como proceder nos tratamentos do leite, ou seja, aplicando a lógica fuzzy na classificação do leite quanto à sua qualidade.

O número de amostras bem como o número de variáveis a serem analisadas, a frequência da realização das análises e a interpretação dos resultados são fatores que podem dificultar na tomada de decisão do analista frente a cada lote de leite. A lógica fuzzy tem-se mostrado como uma ferramenta de grande importância que pode contribuir para tomada de decisão em diferentes áreas, inclusive na produção animal.

Sendo assim, verifica-se a necessidade de métodos que utilizem os processos computacionais, como por exemplo, a lógica fuzzy, uma vez que são relatados diferentes processos na produção animal, podendo citar: elaborar um cenário que indicou os melhores índices de bem-estar para reprodutores suínos (TOLON *et al.*, 2010), estimar o bem-estar de matrizes pesadas em função de frequências e duração dos comportamentos expressos pelas aves (PEREIRA *et al.*, 2008), além do controle do ambiente térmico no interior de galpões para produção de frangos (PONCIANO *et al.*, 2012).

Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de um algoritmo que determine com elevado grau de precisão processos relacionados à qualidade do leite, e aos fatores que podem contribuir com alterações em seu padrão físico-químico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se a avaliar a utilização da lógica fuzzy na tomada de decisão para a classificação do leite.

2.2 Objetivos Específicos

- Demonstrar que a incorporação da lógica fuzzy é uma técnica potencial para facilitar o trabalho de técnicos na classificação do leite;
- Modelar a experiência técnica associada à classificação do leite em sistemas computacionais por lógica fuzzy;
- Testar a eficiência do sistema modelado por meio de sua aplicação em amostras simuladas de leite.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Consumo e utilização de leite no Brasil

A legislação vigente define leite como um produto de derivação da ordenha completa e contínua, em condições higiênicas satisfatórias, de vacas saudáveis, com alimentação apropriada e descansadas. O leite é classificado quanto à quantidade de gordura, sendo denominado integral, semidesnatado e desnatado (BRASIL, 2011).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou os resultados referentes à quantidade de leite no final do último trimestre de 2017, totalizando 6,44 bilhões de litros, 3,2% a mais que no mesmo período de 2016. A captação de leite em 2017 foi de 24,12 bilhões de litros de leite, 4,1% a mais que em 2016. Verifica-se que o clima mais favorável e a queda nos custos referentes à produção em 2017 foram favoráveis para o aumento no volume do leite. Para 2018, espera-se que o crescimento continue, mas de maneira modesta, com taxas entre 1,5% a 2%, ou seja, abaixo do registrado em 2017, mas dando continuidade ao aumento da produção interna (IBGE, 2017).

Este aumento na produção leiteira, associa-se ao acesso e utilização de tecnologias pelos produtores de leite no Brasil, com o objetivo de alcançar melhores índices de produção, através do aumento do rebanho, além de investimentos na estrutura da propriedade (RODRIGUES, 2017).

Conforme dados do Vigitel (2017) ao avaliar o conjunto das 27 capitais brasileiras, verifica-se que a frequência do hábito de consumir leite integral foi maior entre homens (59,0%) do que entre mulheres (51,2%). Percebe-se que

entre os homens, o consumo de leite integral tendeu a diminuir com o aumento da idade, e entre mulheres, essa diminuição ocorreu apenas após os 45 anos. Em ambos os sexos, a menor frequência foi encontrada entre indivíduos no nível de escolaridade mais elevado.

Quando separado por Estados brasileiros, a frequência de adultos que referem o hábito de consumir leite integral variou entre 45,1% no Distrito Federal e 69,0% em Boa Vista. Entre homens, as maiores frequências de consumo de leite integral foram observadas em Belém (69,1%), Rio Branco (68,6%), Teresina e Porto Velho (68,4%), e as menores no Distrito Federal (44,8%), em Porto Alegre (52,1%) e em Campo Grande (52,4%). Entre mulheres, as maiores frequências ocorreram em Boa Vista (71,6%), Porto Velho (68,7%) e Manaus (67,0%) e as menores em Porto Alegre (39,5%), Florianópolis (40,4%) e Vitória (43,3%) (VIGITEL, 2017).

Verifica-se a utilização do leite para a produção de produtos lácteos, sendo tradicional em vários municípios brasileiros, em especial no Estado de Minas Gerais, pois essa produção gera renda, apresentando grande importância social e cultural. Contudo, é interessante ressaltar que essa produção artesanal utilizando o leite cru pode veicular micro-organismos patogênicos, podendo ocasionar algum risco a saúde do consumidor, por isso é de extrema importância obedecer aos cuidados higiênico-sanitários (SABBAG; COSTA, 2015).

3.2 Composição do leite

O leite contém vários nutrientes, podendo-se destacar: proteínas, carboidratos, lipídios, vitaminas (em especial a vitamina A) e minerais (como cálcio e fósforo). A sua composição e proporção de nutrientes varia de acordo com a espécie do animal, sua alimentação, a estação do ano e a época da lactação (PHILIPPI, 2006).

Os principais componentes são:

a) Proteínas, sendo a caseína em maior quantidade e as demais representadas pelas lactoalbuminas, lactoglobulinas.

b) Carboidratos, constituídos da lactose, um dissacarídeo que se dissocia em glicose e galactose pela digestão. Apesar de hidrossolúvel, a lactose é menos solúvel que a sacarose e, algumas vezes, ela cristaliza-se quando submetida ao aquecimento, conferindo uma textura granular ao produto final.

c) Lipídios, formados principalmente por triacilgliceróis com ácidos graxos saturados e insaturados, fosfolipídios (lecitina) e esteróis (colesterol). Os glóbulos de gordura, menos densos do que a água tendem a subir à superfície. O processo de homogeneização diminui o tamanho dos glóbulos de gordura que ficam mais distribuídos no fluido, dificultando a separação da gordura do leite.

d) Vitaminas e minerais, como as vitaminas hidrossolúveis (riboflavina) e lipossolúveis (vitaminas A e D). Os minerais presentes no leite são o cálcio (o mais importante existente no leite), magnésio, potássio e sódio.

3.2.1 Sólidos totais (ST) e Sólidos não gordurosos (SNG)

Os sólidos totais (ST) são divididos em lipídeos (gorduras) e sólidos não gordurosos (SNG – principalmente, proteínas, carboidratos e cinzas). As propriedades físicas, incluindo ponto de fusão e índice de gordura sólida ou teor de gordura sólida, são comumente usadas como especificações para gorduras e óleos. As características de fusão de uma gordura estão entre os preditores mais importantes da funcionalidade da mesma usada na indústria, e atualmente muitos ingredientes de gordura são selecionados para aplicações baseadas nessas características (KAYLEGIAN; HARTEL; LINDSAY, 1993).

Infelizmente, as características de fusão da gordura do leite são incompatíveis com as necessidades de algumas aplicações em que o sabor da manteiga é desejado e, portanto, mudanças nas características de fusão da gordura do leite aumentam as oportunidades de uso da gordura do leite nos alimentos. Por exemplo, a maior parte da manteiga é muito firme para se espalhar facilmente sob refrigeração, mas não é firme nem plástica o bastante para algumas aplicações em baixas temperaturas, como na pastelaria por exemplo. Assim, a modificação da gordura do leite pode ser empregada para produzir uma manteiga mais espalhável ou aumentar a firmeza dos ingredientes da gordura do leite para a indústria de pastelaria (O'SULLIVAN *et al.*, 2018).

Outro importante indicador da funcionalidade da gordura é o seu comportamento de cristalização, que determina a forma cristalina presente (β , β') e as respectivas estabilidades dos cristais. Aspectos funcionais do comportamento de cristalização podem ser ilustrados pelo comportamento da

gordura do leite com outras gorduras, como a manteiga de cacau, para qual a inibição da proliferação de gordura no chocolate que contém gordura do leite indica compatibilidade com a manteiga de cacau. Outros indicadores de compatibilidade com gordura incluem características texturais, como plasticidade e fragilidade (KAYLEGIAN; HARTEL; LINDSAY, 1993).

3.2.2 Gordura do leite

Os lipídios são um dos principais componentes do leite. O componente dominante (cerca de 98%) da gordura do leite é o triglicérides ou o triacilglicerol (TAG) e as classes lipídicas polares mais abundantes são as fosfatidilcolinas (PC), as fosfatidiletanolaminas (PE) e as esfingomielinas (SM). As propriedades físico-químicas e a qualidade nutritiva da gordura do leite são largamente determinadas pela composição de ácidos graxos (AG) (LIU *et al.*, 2018).

A gordura do leite é uma gordura valiosa na fabricação de alimentos devido ao seu sabor atraente. Mais de 230 compostos voláteis foram identificados como constituintes naturais na gordura do leite. Entre os diferentes mamíferos, búfalos e vacas são os principais laticínios, e seu leite é convencionalmente o mais comercializado (YOSHINAGA *et al.*, 2019).

A gordura do leite é considerada um dos principais componentes do leite, que regula as propriedades particulares dos produtos lácteos com alto teor de gordura. O percentual pode ser influenciado pela genética animal e ou por fatores ambientais, como o manejo e a dieta nutricional. As diferentes aplicações nas indústrias de panificação e confeitaria exigem características

específicas da gordura do leite, o que, por sua vez, requer um melhor controle da funcionalidade (ALI *et al.*, 2018).

As frações de gordura do leite são amplamente utilizadas em uma variedade de produtos alimentícios, devido a muitas propriedades físicas, químicas e nutricionais favoráveis da gordura do leite. As pessoas consomem principalmente gordura do leite em diferentes formas de produtos lácteos tradicionais, como leite líquido, creme, manteiga, ghee, queijo e sorvete (KONTKANEN *et al.*, 2011).

O tipo e a quantidade de cristais de gordura láctea à temperatura de aplicação têm um efeito significativo nas propriedades funcionais da gordura do leite. A gordura do leite é caracterizada pela existência de aproximadamente 400 espécies moleculares diferentes de triacilgliceróis com ácidos graxos compreendendo de 2 a 24 átomos de carbono. A estrutura dos triacilgliceróis do leite é responsável pelo comportamento de cristalização, pontos de fusão e propriedades reológicas da gordura do leite como glóbulos (LIU *et al.*, 2018).

Devido ao grande número de triglicérides com uma ampla gama de comprimentos de cadeia e graus de saturação, a gordura do leite demonstra uma ampla variação de pontos de fusão na temperatura de - 40 a 40°C. A gordura do leite contém principalmente frações de alta fusão, frações de fusão média e frações de baixo ponto de fusão. Devido então a esta alta variabilidade da gordura, esta caracteriza-se como o primeiro componente a ser utilizado como parâmetro no pagamento do leite (ALI *et al.*, 2018).

3.2.3 Proteínas do leite

O leite bovino (especialmente da espécie *Bos taurus*) é a matéria-prima predominante para os produtos lácteos, que representa 84% da produção total de leite global e tem sido sujeito a uma caracterização extensiva. O leite bovino contém 3,4% de proteína que inicialmente acreditava-se estar na forma de apenas uma proteína (LIANG *et al.*, 2017).

Entre 1883 e 1885, o cientista sueco Hammersten (1883) mostrou que as proteínas do leite poderiam ser divididas em dois grupos, proteínas de caseína e soro (soro), ajustando o pH do leite bovino ao ponto isoelétrico (pi) das caseínas (pH 4,6). Neste pH, as proteínas da caseína precipitaram do leite enquanto a fração protéica do soro permaneceu solúvel. Posteriormente, os estudos estabeleceriam que as frações de caseína e proteína de soro de leite eram, por sua vez, compostas de várias proteínas diferentes (HAZLETT; SCHMIDMEIER; O'MAHONY, 2019).

As concentrações destas duas frações no leite de qualquer espécie particular de mamífero diferem novamente e presume-se que sejam adaptadas às necessidades nutricionais e fisiológicas dos jovens (Tabela 1). A relação proteína do soro de leite: caseína do leite bovino é de 20:80 (O'MAHONY; FOX, 2013).

As caseínas são definidas como proteínas do leite que precipitam do leite desnatado quando o pH é ajustado para pH 4,6, com temperaturas superiores a 10°C. Em temperaturas inferiores a 10°C, a agregação de caseínas ocorre, mas os agregados são bons o suficiente para permanecer em suspensão (LIANG *et al.*, 2017).

Tabela 1. Composição de leites de espécies mamíferas selecionadas.

Espécies	Sólidos Totais (%)	Proteína (%)					
		Total (%)	Caseína (%)	Soro (%)	Gordura (%)	Lactose (%)	Cinzas (%)
Vaca	12,7	3,4	2,8	0,6	3,7	4,8	0,7
Humano	12,2	1,0	0,4	0,6	3,8	7,0	0,2
Ovelha	19,3	5,5	4,6	0,9	7,4	4,8	1,0
Cabra	12,3	2,9	2,5	0,4	4,5	4,1	0,8
Égua	11,2	2,5	1,3	1,2	1,9	6,2	0,5
Leitão	18,8	4,8	2,8	2,0	6,8	5,5	n.a.
Mula	11,7	2,0	1,0	1,0	1,4	7,4	0,5
Foca	67,7	11,2	n.a.	n.a.	53,1	0,7	n.a.
Urso Polar	47,6	10,9	7,1	3,8	33,1	0,3	1,4

n.a.= não disponível.

Fonte: HAZLETT; SCHMIDMEIER; O'MAHONY (2019).

A natureza heterogênea das caseínas foi descrita pela primeira vez por Linderstrom Lang (1925), que fracionou a caseína isoelétrica / ácida usando um processo de extração com ácido clorídrico etanol (EtOH-HCl). As quatro proteínas que foram identificadas a partir de caseína isoelétrica são: α_{s1} -, α_{s2} -, β - e κ -caseína, que representam 38%, 10%, 35% e 15% do total de caseína, respectivamente. Variações ocorrem entre diferentes proteínas de caseína, como peso molecular e diferenças no perfil de aminoácidos (aa) (O'MAHONY; FOX, 2013).

3.2.4 Lactose

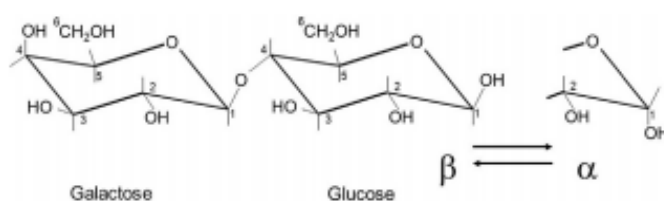
O leite é produzido pelas glândulas mamárias de mamíferos saudáveis para nutrir seus filhotes após o nascimento e exclui as secreções feitas entre

15 dias antes e 5 dias após o parto, ou até que o leite esteja livre de colostro. O leite é o único alimento que se adaptou às necessidades nutricionais dos mamíferos recém-nascidos, de modo que o leite é uma bebida rica em nutrientes que contém todos os nutrientes necessários para apoiar o crescimento e desenvolvimento de um mamífero recém-nascido (CHALUPA-KREBZDAK; LONG; BOHRER, 2018). A lactose é o principal açúcar no leite, constituindo cerca de 40% da matéria seca no leite integral e até 80% no soro (HAILE-MARIAM; PRYCE, 2017).

A lactose é um dissacarídeo composto por uma unidade D-galactose e uma unidade D-glucose ligada através de uma ligação b-1,4-glicosídica. A lactose (4-O-β-D-galactopiranosil-D-glucopiranoose, C₁₂H₂₂O₁₁) pode ocorrer nas formas “a e b”. Como pode ser visto na figura 1, as duas formas são estereoisômeros, que diferem pela disposição espacial do grupo hidroxila no número de carbonos 1 do grupo hemiacetal. A forma “a” tem a maior rotação ótica na direção dextro (HOLSINGER, 1988).

Em solução, a taxa de transformação entre os anômeros “a e b”, denominada mutarotação, é dependente da temperatura e do pH. Por outro lado, a relação em equilíbrio depende apenas da temperatura e não é afetada pelo pH (HOLSINGER, 1997).

Figura 1. Estrutura de lactose nas formas a e b.



Fonte: Schuck (2011).

A lactose pode ser encontrada em um estado cristalino, um estado amorfo ou uma mistura de ambos. Por definição, a lactose cristalina apresenta uma estrutura muito ordenada, com a forma exata do cristal dependendo das condições de cristalização. Na lactose amorfa, as moléculas de lactose não são organizadas de acordo com uma rede regular. Além disso, a lactose é polimórfica, o que significa que ela pode cristalizar em diferentes formas (CARPIN *et al.*, 2016).

As formas atualmente conhecida da lactose são: cristalina, sendo o monohidrato (α -lactose, α -lactose instável e estável- α -lactose) e o anidro (β -lactose e o composto β - / α -lactose). E a forma amorfo (mistura de α -lactose e β -lactose) (LISTIOHADI *et al.*, 2005). A forma cristalina de uma lactose monohidratada tem uma composição química diferente devido à inclusão de água na estrutura cristalina. No entanto, é frequentemente apresentado como um polimorfo de lactose na literatura (KIRK; DANN; BLATCHFORD, 2007).

O leite possui várias propriedades que melhoram a absorção e a biodisponibilidade dos nutrientes que fornece. Foi demonstrado que a lactose aumenta a biodisponibilidade de cálcio e outros minerais, enquanto outros açúcares como glicose, sacarose, maltose e amido não (CHALUPA-KREBZDAK; LONG; BOHRER, 2018). São relatados na literatura estudos que demonstram a associação da quantidade da lactose com a qualidade do leite, conforme descrito na tabela 2.

Tabela 2. Estudos que correlacionam a lactose com a qualidade do leite.

Autor	Ano	Resultados
Reksen <i>et al.</i>	2002	Verificaram que a concentração da lactose do leite está associada à retomada da função luteal em vacas leiteiras norueguesas de segunda paridade.
Buckley <i>et al.</i>	2003	No sistema de produção de leite à base de pasto irlandês, os autores observaram que uma maior porcentagem de lactose estava associada a um aumento na taxa de prenhez, o que significa que o nível de lactose poderia ser uma ferramenta útil para identificar vacas em risco de má reprodução.
Miglior <i>et al.</i>	2006	As vacas com baixas porcentagens de lactose eram mais propensas a serem abatidas do que vacas com alta porcentagem de lactose, sugerindo que a lactose pode potencialmente ser usada como indicador de longevidade. A porcentagem de lactose é um componente de leite menos variável do que a porcentagem de gordura ou proteína.
Park <i>et al.</i>	2007	Os autores observaram que o teor de lactose do leite de vacas com mastite é significativamente menor do que o de vacas saudáveis e, portanto, mudanças no conteúdo de lactose durante a lactação podem ser usadas como preditor da incidência de mastite.

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Sendo assim, qualquer mudança inesperada no conteúdo de lactose pode estar associada a balanço energético negativo ou outras condições de saúde precária. Isso significa que o teor de lactose pode ser uma medida mais

confiável para monitorar a saúde e o bem-estar das vacas leiteiras (MIGLIOR *et al.*, 2006; PTAK; BIENIEK, 2012).

3.3 Adulteração do leite

Observa-se um aumento no consumo de produtos e derivados lácteos, e os consumidores almejam que esses produtos sejam de elevada qualidade. É verificado em muitos países um benefício para o produtor que fornece leite nos laticínios com valores mais altos de gordura e proteína, e no Brasil não é diferente (REIS *et al.*, 2007). As fraudes nos ingredientes alimentares e o processo de adulteração são economicamente motivadas, e estas se caracterizam como riscos emergentes, sendo a adição de ingredientes de baixo custo não só um problema econômico, mas também um risco para a saúde dos consumidores (SHARMA; PARADAKAR, 2010).

Neste contexto são percebidas preocupações relevantes quanto à qualidade físico-química do leite, em especial relacionados à conservação, integridade físico-química, tratamento térmico e controle na adição ou remoção de substâncias químicas que sejam inerentes ou não à composição do leite. Sendo assim, a avaliação da qualidade do leite é um parâmetro de extrema importância, sendo analisados a acidez (determinação de pH) e titulação (grau Dornic e teste de Alizarol), estes testes são realizados com frequência nos laticínios por serem fáceis e de rápida execução (AGNESE, 2002; DONATELE; VIEIRA; FOLLY, 2003).

Além desses testes, na legislação são considerados aptos para o consumo as amostras de leite que apresentarem teores normais de gordura

original para o leite integral, 3% de gordura para leite padronizado, acidez (0,14 a 0,18g ácido láctico/100 mL), estabilidade ao teste de Alizarol 72% (v.v⁻¹), densidade relativa (15/15 °C, g.mL⁻¹) entre 1,028 a 1,034, extrato seco desengordurado mínimo de 8,4% e índice crioscópico máximo entre -0,530 a -0,555 °H (BRASIL, 2002).

Com o intuito de garantir a qualidade do leite, foi criado um Regulamento Industrial de Inspeção Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) que proíbe a adição de qualquer substância química no leite destinado à alimentação humana (BRASIL, 1981). Nesse sentido, a qualidade físico-química do leite está associada não apenas ao cuidado na produção e criação do animal, mas também às boas práticas de ordenha, a adição de água e outras substâncias para mascarar algum dos critérios de qualidade ou para elevar o volume do leite comercializado (AMARAL; SANTOS, 2011).

3.4 Formas de adulteração no leite e a importância dos testes físico-químicos

São relatados vários tipos de fraudes na literatura, podendo citar o acréscimo de água e de soro de leite, que são adicionados ao leite com o objetivo principal de aumentar o volume da produção (ZOCCHÉ *et al.*, 2002; MARTINS *et al.*, 2008). Mas são relatados outros tipos de fraudes tais como os neutralizantes de acidez, reconstituintes de densidade, adição de substâncias antimicrobianas, além de substâncias não usuais como soro fisiológico e soro glicosado (CORTEZ *et al.*, 2010).

Neste sentido são realizadas várias análises para avaliar a qualidade do leite e verificar a presença ou não da fraude. Pode-se citar a densidade, no qual a alteração da densidade pode estar associada com a alimentação do animal, interferindo na gordura do leite. Alterações na acidez podem indicar falhas na refrigeração imediata após a pasteurização, ou mesmo na higiene durante a produção. Outro fator que pode alterar a acidez é a presença dos micro-organismos mesófilos, que funcionam como parâmetro para avaliar a qualidade do leite, pois indicam o grau de metabolização da lactose em ácido láctico, em função da qualidade microbiológica e da conservação inadequadas.

Verifica-se que a aguagem e a adição de conservadores são as principais falsificações praticadas. Além da densidade, a análise crioscópica afere o ponto de congelamento ou depressão do ponto de congelamento do leite em relação ao da água (BEHMER, 1984).

3.4.1 Acidez titulável

Vários outros fatores estão relacionados à coagulação do leite (por exemplo, tipo e concentração da enzima de coagulação, temperatura, acidez e teor de proteína (O'CALLAGHAN; O'DONNELL; PAYNE, 2002). A acidez do leite, e em particular a acidez titulável (TA), afeta a taxa de agregação das micelas de paracaseína, a reatividade do coalho e a taxa de sinérese (DE MARCHI *et al.*, 2009).

Conforme relatado por Formaggioni *et al.* (2001), o leite com baixa acidez é geralmente considerado inadequado para a fabricação de queijos, devido aos efeitos negativos na reologia das moléculas do coalho e nas

propriedades texturais da pasta de queijo. Além disso, vários estudos investigaram as relações favoráveis entre TA e propriedades de coagulação do leite (TOFFANIN *et al.*, 2015). Conforme dados do Instituto Adolfo Lutz (2008) para o cálculo da acidez titulável utiliza-se:

Cálculo:

$$\frac{V \times f \times 100}{P \times c} = \text{acidez em solução molar por cento v/m}$$

P x c

V = nº de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M gasto na titulação.

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M.

P = nº de g da amostra usado na titulação.

c = correção para solução de NaOH 1 M, 10 para solução NaOH 0,1 M e 100 para solução NaOH 0,01 M (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Neste contexto, a acidez titulável (AT) desempenha um papel fundamental em todas as fases da coagulação do leite. Isto inclui a taxa de agregação de micelas paracaseína e a reatividade de coalho. A acidez titulável também influencia na taxa de sinérese e determina a adequação do leite (FORMAGGIONI *et al.*, 2001). O pH do leite afeta tanto a enzima quanto reações de agregações; isto é, abaixando o pH diminui a estabilidade coloidal do leite.

3.4.2 Densidade relativa a 15°C

A densidade do leite depende diretamente da matéria dissolvida e suspensa no volume pesquisado, isto é, do extrato seco desengordurado, gordura e água. Um leite com baixo teor em gordura apresenta maior densidade enquanto que uma amostra com alto teor de gordura mostra menor densidade (BRASIL, 2006).

Por outro lado, uma amostra de leite com maior quantidade de água (como por exemplo, no caso de fraude por adição de água no leite) tem densidade menor do que a amostra normal. Isto acontece porque a densidade da água é menor quando comparada à do leite e o resultado final tende a se aproximar do valor da água. É aplicável para leite fluido in natura ou nas apresentações integrais, semidesnatadas e desnatadas, tratadas por processos de UHT ou pasteurização (BRASIL 2002).

A imersão de um densímetro de massa constante no líquido provoca deslocamento de uma quantidade deste, que é, em volume, igual à do densímetro utilizado e, em massa, proporcional à densidade da amostra. Esse deslocamento faz o líquido alcançar um valor na escala graduada em graus densitométricos (BRASIL, 2006).

A densidade do leite é, em média, 1,032 g/mL, podendo variar entre 1,023 e 1,040 g/mL. A densidade da gordura do leite é aproximadamente 0,927 e a do leite desnatado, cerca de 1,035. Assim, um leite com 3,0% de gordura deverá ter uma densidade em torno de 1,0295, enquanto um com 4,5% deverá ter uma densidade de 1,0277 (BRASIL, 2002).

3.4.3 Índice crioscópico

De acordo com o *Codex Alimentarius*, o leite pode ser definido como a secreção mamária normal dos animais de ordenha sem a adição ou remoção de quaisquer componentes (FAO, 2011). O leite pode ser usado para consumo como leite líquido ou processado posteriormente. O leite bovino tem uma composição aproximada de 87% de água, 3,7% de gordura, 4,9% de lactose, 3,5% de proteína e 0,7% de minerais, além de células epiteliais e leucócitos. A quantidade de leite produzido e sua composição variam devido a vários fatores, incluindo dieta, doença, lactação, ordenha, fraude e adulteração (BEZERRA *et al.*, 2010; FAO, 2011).

Produtos alimentares fraudulentos são relatados por organizações de controle sanitário e envolvem principalmente produtos de alto valor ou com características físico-químicas favoráveis à adulteração. Intencional ou não, a mistura de materiais estranhos em produtos alimentícios é considerada fraude. Em geral, essa atividade é barata, altera a qualidade e causa danos aos consumidores, principalmente em relação à economia (REZENDE; CARMO; ESTEVES, 2015).

Para detectar a diluição do leite com água, dois parâmetros são caracterizados, incluindo a densidade e o índice crioscópico. No entanto, a adição de solutos, como cloreto de sódio, uréia, maltodextrina e citrato de sódio, pode normalizar esses parâmetros, prevenindo a detecção de fraudes (BEZERRA *et al.*, 2010).

O índice crioscópico é a medida do ponto de congelamento ou da depressão do ponto de congelamento (DPC) do leite em relação ao da água. É

uma prova utilizada principalmente para detectar fraude por adição de água ao leite. A temperatura de congelamento do leite é mais baixa do que a da água devido ao efeito das substâncias que nele estão dissolvidas (BRASIL, 2002).

A adição de água altera o índice crioscópico, fazendo com que o mesmo se aproxime de zero (ponto de congelamento da água), porque se diluem as concentrações dos componentes que estão em solução, principalmente a lactose e sais minerais. O ponto de congelamento do leite é praticamente constante, embora a concentração dos constituintes solúveis possa variar substancialmente. Pode apresentar pequenas variações de acordo com: período de lactação, estação do ano, clima, alimentação, raça, doenças dos animais e processamento do leite (pasteurização ou esterilização) (BRASIL, 2006).

3.4.4 Teste de Alizarol

O teste de Alizarol é um método rápido para determinar a acidez e empregado na inspeção do leite para a indústria. No qual considera-se o leite viável para consumo o que apresentar-se sem grumos e com coloração vermelho-tijolo. Um leite fora dos padrões de qualidade, com alta acidez e em início de fermentação, apresentará formação de grumos, flocos ou coágulos grandes e a coloração entre amarela e marrom, e portanto impróprio para o consumo e industrialização (BRASIL, 2011).

Neste processo, verifica-se a importância da correlação das análises de diferentes tipos de fraude no leite, a partir da modelagem do conhecimento técnico em sistemas computacionais por meio da lógica Fuzzy.

3.5 Lógica fuzzy e a Produção Animal

O surgimento da lógica fuzzy ocorreu nos Estados Unidos, com a publicação do artigo Zadeh (1965). A lógica fuzzy possui a capacidade de transformar informações vagas, geralmente ligadas ao intuitivo humano, em numéricas, sendo possível sua manipulação por computadores (SAAVEDRA, 2003). É relatada na literatura a utilização da lógica fuzzy como mecanismo de suporte para a agropecuária. Neste contexto, outras formas para a tomada de decisão e para ações mais precisas, auxiliam no avanço das pesquisas na área da produção animal, conforme a tabela 3.

Tabela 3. Eficácia da lógica fuzzy em diferentes áreas da produção animal.

Título	Autor	Ano	Área	Resultados
Transportation sustainability index in dairy industry e fuzzy logic approach	Djekic <i>et al.</i>	2018	Fábricas de laticínios	O modelo da lógica fuzzy foi validado para dois produtos lácteos a partir de dados apresentados por quatro fábricas de laticínios. Os resultados sugerem que grandes fábricas de laticínios com um sistema de distribuição desenvolvido, juntamente com indicadores sociais e econômicos, têm melhores resultados em termos de sustentabilidade do transporte, utilizando a lógica fuzzy.
A raw milk service platform using BP Neural Network and Fuzzy Inference	Ma <i>et al.</i>	2018	Laticínios	O teste mostrou que o modelo de Rede Neural BP e Inferência fuzzy apresentou um bom desempenho ao prever a temperatura de armazenamento de leite cru e refletir a variação da temperatura e no processo de armazenamento de leite cru. A plataforma e os modelos forneceram um método para gerenciar o leite cru em laticínios e impedir que o

				leite cru se deteriorasse causado pelo aumento da temperatura.
Utilização da lógica fuzzy para a simulação do estro de bovino leiteiro exposto a diferentes valores de temperatura.	Santos e Nääs	2006	Bovinocultura	Utilizaram a lógica fuzzy para simular a taxa de detecção de cio de vacas leiteiras confinadas e expostas a diferentes condições de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR).
Teste de um sistema fuzzy de identificação de estro em uma fazenda comercial de vacas leiteiras.	Brunassi <i>et al.</i>	2006	Bovinocultura	Conseguiram encontrar 100% de eficiência na detecção de estro em vacas leiteiras com um sistema baseado em lógica fuzzy.
Estimated thermal comfort condition for layers according to fuzzy theory.	Oliveira <i>et al.</i>	2005	Ambiência e produção animal	Comprovando a eficácia do uso dessa ferramenta nesse estudo.
Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos fuzzy.	Amendola <i>et al.</i>	2004	Ambiência e produção animal	Comprovando a eficácia do uso dessa ferramenta nessa pesquisa.
Fuzzy control simulation of plant and animal environments.	Gates <i>et al.</i>	1999	Ambiência e produção animal	Comprovando a eficácia do uso dessa ferramenta nesse trabalho.

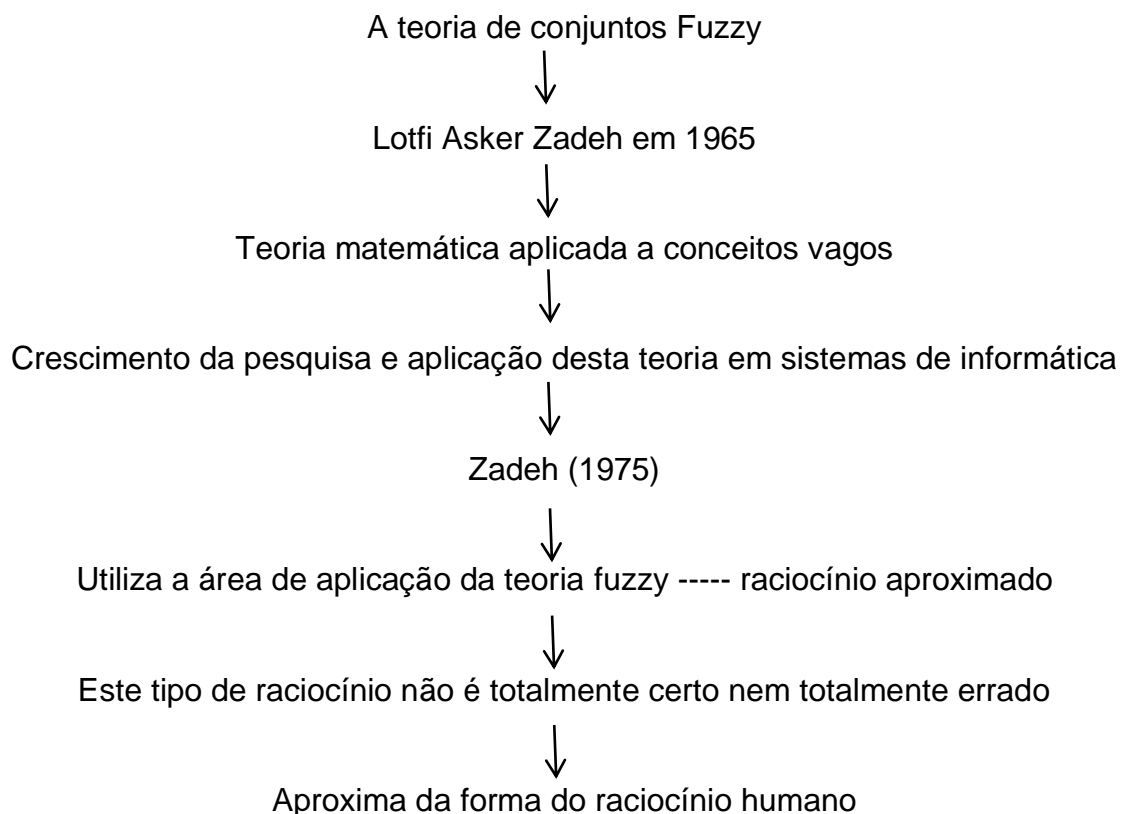
Fonte: Própria autora, 2019.

Verifica-se que a lógica fuzzy está sendo utilizada também na elaboração de produtos e sistemas, além do controle de processos industriais, diversão eletrônica, sistemas de diagnósticos, aplicações domésticas e outros sistemas especializados. Nos países como o Japão e Europa esta tecnologia vem crescendo de maneira significativa (PENRY, 2018).

3.5.1 Conceito da teoria fuzzy

Na teoria de conjuntos fuzzy, são utilizadas variáveis linguísticas por conjuntos fuzzy, que expõem que uma variável linguística apresenta palavras ou sentenças em uma linguagem natural (ZADEH, 1975) (Figura 2).

Figura 2. Esquema da teoria de conjuntos fuzzy proposto por Zadeh.



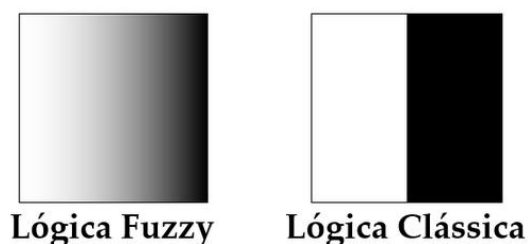
Fonte: Adaptado Zadeh (1965; 1975).

Sendo que estes conjuntos auxiliam na elaboração de sistemas computacionais, caracterizando como uma maneira de programação mais próxima da linguagem e do raciocínio humano (ZADEH, 1975).

Este raciocínio vai além da definição binária de valores verdadeiros ou falsos (0 ou 1) para o elemento analisado como propõe a lógica clássica. Os conjuntos fuzzy indicam possibilidades, e não probabilidades, de uma certa afirmação está correta, atribuindo pesos que indicam o grau de pertinência do objeto do estudo. Essa pertinência varia de 0 a 1, o que permite ao avaliador fazer inferências de que uma afirmação é parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa (KLIR, YUAN, 1995; VAZ, 2006).

Esses conceitos definem a ideia da lógica fuzzy, que são vários tons de cinza, representando a não restrição entre o verdadeiro e falso, ao contrário da lógica clássica do preto e o branco (figura 3).

Figura 3. Desenho comparativo da lógica clássica da fuzzy.



Fonte: SILVA JÚNIOR (2015).

Neste sentido, muitos equipamentos utilizados pela população de uma maneira geral apresentam controladores fuzzy, podendo citar os refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, máquinas de lavar roupa, aspiradores de pó, barbeadores, filmadoras, automóveis, além dos sistemas mais complexos

como metrô urbano, de tráfego de veículos e grupos de elevadores (ZADEH, 1997).

3.5.2 Sistema de Inferência Mamdani

O levantamento das bibliografias indica que as descrições abrangentes e mais detalhes dos sistemas de inferência difusa (FISs) foram delineados por muitos pesquisadores. No entanto, esta técnica é brevemente explicada em 1965, onde Lotfi Zadeh iniciou uma nova ideia como uma teoria de conjuntos difusos. Usando as regras “se-então” nesta teoria, os modelos fuzzy podem representar os parâmetros conceituais ou dados das funções de associação com conjuntos de graus entre 0 e 1 (ZADEH, 1965).

Essa capacidade varia da lógica binária (clássica) na qual o grau de associação de uma variável para um conjunto poderia ser apenas o valor absoluto de 0 ou 1. Por exemplo, a cor de uma variável seria totalmente branca ou totalmente preta na lógica binária. Pelo contrário, a cor de uma variável pode ser simultaneamente branca e preta com diferentes graus de associação de cores na lógica difusa (REZAEI, 2018).

A lógica fuzzy fornece uma metodologia para modelar a incerteza e o modo humano de pensar, raciocinar e perceber. Em modelos clássicos, as variáveis têm valores numéricos reais, as relações são definidas em termos de funções matemáticas e as saídas são valores numéricos. Modelos com lógica difusa possuem variáveis que influenciam o comportamento do sistema e as relações entre as variáveis que descrevem o sistema (ALAVI, 2013).

Na lógica fuzzy, os valores das variáveis são expressos por termos linguísticos como "grande, médio e pequeno", os relacionamentos são definidos em termos em que as regras e os resultados são subconjuntos indistintos que podem se tornar "nítidos", quando utilizadas as técnicas de defuzzificação. Os valores nítidos das variáveis do sistema são fuzzificados para expressá-los em termos linguísticos. A fuzzificação é um método para determinar o grau de associação que um valor tem a um conjunto difuso em particular. Isso é determinado pela avaliação da função de associação do conjunto difuso do valor (REZAEI, 2018; ALAVI, 2013).

Os tipos de sistemas de inferência fuzzy de Sugeno e Mamdani podem ser implementados na caixa de ferramentas de lógica difusa do MATLAB (MATHWORKS, 2004). Quando as funções de associação de saída são conjuntos difusos, a metodologia difusa é mais comumente utilizada (MAZLOUMZADEH; SHAMSI; NEZAMABADI-POUR, 2008). A ideia principal do método Mamdani é descrever os estados do processo por variáveis linguísticas e usar essas variáveis como entradas para controlar as regras (MAMDANI; ASSILIAN, 1975).

O método Mamdani é um tipo particular de sistema de inferência difusa, além da base de conhecimento e um mecanismo de inferência difusa, existe um "*fuzzifier*" que representa entradas numéricas como conjunto fuzzy, e um "*defuzzifier*" que transforma o conjunto de saída em nítido (ALAVI, 2013). Verifica-se a utilização deste modelo que se tornou padrão por vários anos, sendo utilizado na lógica Fuzzy. Este método usa variáveis linguísticas que são expressas por conjuntos tanto na entrada quanto na saída (CARNEIRO, 2015).

Referências

ABRANTES, M. R.; CAMPÊLO, C. S.; SILVA, J. B. A. Fraude em leite: Métodos de detecção e implicações para o consumidor. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 73, n. 3, p. 244-51, 2014. Disponível em: <[https://www.bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/revista-do-instituto-adolfo-lutz/73-\(2014\)-3/fraude-em-leite-metodos-de-deteccao-e-implicacoes-para-o-consumidor/](https://www.bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/revista-do-instituto-adolfo-lutz/73-(2014)-3/fraude-em-leite-metodos-de-deteccao-e-implicacoes-para-o-consumidor/)>.

Acesso em: 09 fev 2019.

AGNESE, A. P. Avaliação físico-química do leite cru comercializado informalmente no município de Seropédica, Rio de Janeiro. **Revista Higiene Alimentar**, v. 17, n. 94, p. 58-61, 2002.

ALAVI, N. Quality determination of Mozafati dates using Mamdani fuzzy inference system. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 12, p. 137-142, 2013. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S1658077X12000367/1-s2.0-S1658077X12000367-main.pdf?_tid=c69936d2-72ba-4bfd-9475-6b33dd31dedf&acdnat=1549935513_4b771f091f40b1e2b19a0b54eddb3ce9>. Acesso em: 09 fev 2019.

ALI, A. H. *et al.* Impact of technological processes on buffalo and bovine milk fat crystallization behavior and milk fat globule membrane phospholipids profile. **LWT - Food Science and Technology**, v. 90, p. 424-432, 2018. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0023643817309520/1-s2.0-S0023643817309520-main.pdf?_tid=84b28240-16ce-46af-a544-7f7269dd5d2e&acdnat=1549723183_d6703a028587886bafc8da4391094d94>. Acesso em: 09 fev 2019.

AMARAL, C. R. S.; SANTOS, E. P. Leite cru comercializado na cidade de Solânea, PB: caracterização físico-química e microbiológica. **Revista Brasileira de Produtos**

Agroindustriais, v.13, n.1, p.7-13, 2011. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev131/Art1312.pdf>>. Acesso em: 09 fev 2019.

AMENDOLA, M. *et al.* Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. **Biomatemática**, v. 14, n. 1, p. 87-92, 2004. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio14_art8.pdf>. Acesso em: 09 fev 2019.

BEHMER, M. L. A. **Tecnologia do leite: leite, queijo, manteiga, caseína, iogurte, sorvetes e instalações: produção, industrialização, análise**. 13. ed. São Paulo: Nobel; 1984.

BEZERRA, J. R. M. V. *et al.* **Introdução à tecnologia de leite e derivados**. Editora UNICENTRO, Guarapuava Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www2.unicentro.br/editora/files/2012/11/raniere.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Animal. **Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes: II: métodos físicos e químicos**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Instrução normativa nº 51 de 18 de setembro de 2002**. Aprova os regulamentos Técnicos de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, do Leite tipo B, do Leite tipo C, do Leite Pasteurizado e do Leite Cru refrigerado e o regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru refrigerado e seu Transporte a Granel. Diário Oficial [da] União, Brasília, p.13, 20 set. 2002. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Métodos Analíticos Físico-Químicos para Controle de Leite e Produtos Lácteos**. Instrução Normativa 68, 12/12/06. Brasília: Ministério da Agricultura, 2006.

BRASIL. **Instrução normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 dez. 2011. Seção 1, p. 6.

BRUNASSI, L. A. *et al.* Teste de um sistema Fuzzy de identificação de estro em uma fazenda comercial de vacas leiteiras. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, SIMCRA 2006, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD.

BUCKLEY, F. *et al.* Relationships among milk yield, body condition, cow weight, and reproduction in spring-calved Holstein-Friesians. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 7, 2308-2319, 2003. Disponível em: <[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(03\)73823-5/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)73823-5/pdf)>. Acesso em: 10 fev 2019.

CARNEIRO, V. Q. **Rede neural e lógica Fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro**. 2015, 180f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

CARPIN, M. *et al.* Caking of lactose: A critical review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 53, p. 1-12, 2016. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0924224416300103/1-s2.0-S0924224416300103-main.pdf?_tid=e50f9f21-b813-4fd0-b55d-7cec2acf23fd&acdnat=1549836756_00744891b6546136c8f199977bf601e2>. Acesso em: 10 fev 2019.

CARVALHO, M. P. *et al.* Cenários para pecuária de leite no Brasil. In: VILELA, V.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. **A pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 432 p.

CHALUPA-KREBZDAK, S.; LONG, C. J.; BOHRER, B. M. Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. **International Dairy Journal**, v. 87, p. 84-92, 2018. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0958694618301900/1-s2.0-S0958694618301900-main.pdf?_tid=3b00c27d-53eb-4ee9-ba26-2c0c5bbc0f77&acdnat=1549832688_8d8e2ca26309d81df4d33c94fe4784ed>. Acesso em: 10 fev 2019.

CORTEZ, M. A. S. *et al.* Características físico-químicas e análise sensorial do leite pasteurizado adicionado de água, soro de queijo, soro fisiológico e soro glicosado. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 65, n. 376, p. 18-25, 2010. Disponível em: <<https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/138/143>>. Acesso em: 10 fev 2019.

DE MARCHI, M. *et al.* Prediction of coagulation properties, titratable acidity, and pH of bovine milk using mid-infrared spectroscopy. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 1, p. 423-432, 2009. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0022030209703467/1-s2.0-S0022030209703467-main.pdf?_tid=a8ad6b4d-f489-4e7c-81e0-7dc00e67934b&acdnat=1549845384_9cb1515d5646211c835d8d5e4b067e05>. Acesso em: 10 fev 2019.

DJEKIC, I. *et al.* Transportation sustainability index in dairy industry e Fuzzy logic approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 107-115, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez27.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618302075>>. Acesso em: 08 jan 2020.

DONATELE, D. M.; VIEIRA, L. F. P.; FOLLY, M. M. Relação do teste de Alizarol 72% (v) em leite “in natura” de vaca com acidez e contagem de células somáticas: Análise Microbiológica. **Revista Higiene Alimentar**, v. 17, n. 110, p. 95-100, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. WHO – **World Health Organization**, **Codex Alimentarius – Milk and Milk Products**. Second ed., FAO and WHO, Rome, Italy, 2011, ISBN: 978-92-5-105837-4.

FERREIRA, L. *et al.* Desenvolvimento de uma rede neuro-Fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte. **RITA**, v. 17, n. 2, p. 221-233, 2010. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/a942/efb2ee898a1ede40afef1c756ae699b0199c.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

FORMAGGIONI, P. *et al.* Milk with abnormal acidity. VI. The role of phosphorus content and the rennet coagulation properties of Italian Friesian herd milks. **Annali Facolta Medicina Veterinaria University of Parma**, v. 21, p. 261-268, 2001. Disponível em: <http://www.academia.edu/20278719/Milk_with_abnormal_acidity._The_role_of_phosphorus_content_and_the_rennet-coagulation_properties_of_Italian_Friesian_herd_milk>. Acesso em: 10 fev 2019.

GATES, R. S. *et al.* **Fuzzy control simulation of plant and animal environments**. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1999, Toronto, Canada. 24p. Online. Disponível em: <<http://www.bae.uky.edu/gates/freebies/ASAE99/993136.pdf>>. Acesso em 28 abr 2018.

HAILE-MARIAM, M.; PRYCE, J. E. Genetic parameters for lactose and its correlation with other milk production traits and fitness traits in pasture-based production systems. **Journal of Dairy Science**, v. 100, p. 3754-3766, 2017. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S002203021730214X/1-s2.0-S002203021730214X-main.pdf?_tid=42a7593a-3803-40df-8a0d-252550a47f75&acdnt=1549836736_9a872872979c962e5a55504dc26cc93f>. Acesso em: 10 fev 2019.

HAZLETT, R.; SCHMIDMEIER, C.; O'MAHONY, J. A. Milk Proteins. **Encyclopedia of Food Chemistry**, v. 1. p. 138-147, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21604-1>>. Acesso em: 10 feb 2019.

HOLSINGER, V. H. **Lactose**. In N. Wong, R. Jenness, M. Keeney, & E. Marth (Eds.), *Fundamentals of dairy chemistry*, 3rd ed, p. 279-342, 1988. Springer US. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-7050-9_6>. Acesso em: 10 feb 2019.

HOLSINGER, V. H. **Physical and chemical properties of lactose**. In P. F. Fox (Ed.), *Advanced dairy chemistry v. 3*, p.1-38, 1997, Springer US. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-4409-5_1>. Acesso em: 10 feb 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, p. 1020, 2008. Versão eletrônica. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/index.php?option=com_remository&Itemid=20&func=fileinfo&id=5>. Acesso em: 10 feb. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores IBGE Estatística da Produção Pecuária**. 2017. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201701caderno.pdf>. Acesso em 28 abr 2018.

KAYLEGIAN, K. E.; HARTEL, R. W.; LINDSAY, R. C. Applications of modified milk fat in food products. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 6, p. 1782-1796, 1993. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0022030293775104/1-s2.0-S0022030293775104-main.pdf?_tid=b1bcad55-ba43-45c4-be05-6fa28ac356a5&acdnat=1549842462_a648057d538a057667cb202e890efd3d>. Acesso em: 10 feb 2019.

KIRK, J. H.; DANN, S. E.; BLATCHFORD, C. G. Lactose: a definitive guide to polymorph determination. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 334, n. 1-2, p. 103-114, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2006.10.026>>. Acesso em: 10 fev 2019.

KLIR, G. J.; BO, Y. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic - Theory and applications**, Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA ©1995, ISBN:0-13-341058-7.

KONTKANEN, H. *et al.* Enzymatic and physical modification of milk fat: A review. **International Dairy Journal**, v. 21, p. 3-13, 2011. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0958694610001317/1-s2.0-S0958694610001317-main.pdf?_tid=971e3e26-69bf-4d3f-9f3c-a55c2778ea28&acdnat=1549832047_2406badda51dfb4e0cb4ac6fe1ba692d>. Acesso em: 10 fev 2019.

LIANG, Y. *et al.* The heat stability of milk protein-stabilized oil-in-water emulsions: A review. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 28, p. 63-73, 2017. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S1359029417300456/1-s2.0-S1359029417300456-main.pdf?_tid=def2082a-4e00-4435-bc79-fee79a704005&acdnat=1549832629_09b8417a95a80191ca535647ad538356>. Acesso em: 10 fev 2019.

LISTIOHADI, Y. *et al.* Properties of lactose and its caking behaviour. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 60, n. 1, p. 33-52, 2005. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300988448>>. Acesso em: 10 fev 2019.

LIU, Z. *et al.* Comparison of methylation methods for fatty acid analysis of milk fat. **Food Chemistry**, v. 261, p. 210-215, 2018. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0308814618306769/1-s2.0-S0308814618306769-main.pdf?_tid=7e6ad5a8-b7c5-4f5e-895f->

320b16ca794f&acdnt=1549721944_4fb894f109dc088c258749fe99c617c4>. Acesso em: 09 fev 2019.

MA, W. *et al.* A raw milk service platform using BP Neural Network and Fuzzy Inference. **Information Processing in Agriculture**, v. 5, p. 308-319, 2018. Disponível em: < <https://www-sciencedirect.ez27.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214317318300167>>. Acesso em: 09 jan 2020.

MAMDANI, E.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **In International Journal of ManMachine Studies**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975. Disponível em: < https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0020737375800022/1-s2.0-S0020737375800022-main.pdf?_tid=73f4c2bf-6326-477a-bef3-13dee1e841fe&acdnt=1549970940_2540bdd8b67ae3384ffcb1bbad38696c>. Acesso em: 09 fev 2019.

MARTINS, A. M. C. V. *et al.* Efeito do processamento UAT (Ultra Alta Temperatura) sobre as características físico-químicas do leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 295-298, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n2/a05v28n2>>. Acesso em: 09 fev 2019.

MATHWORKS, 2004. **Fuzzy logic toolbox user's guide, for the use of Matlab**. The Math Works Inc. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/>>. Acesso em: 09 fev 2019.

MAZLOUMZADEH, S. M.; SHAMSI, M.; NEZAMABADI-POUR, H. Evaluation of general-purpose lifters for the date harvest industry based on a fuzzy inference system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 60, n. 1, p. 60–66, 2008. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0168169907001482/1-s2.0-S0168169907001482-main.pdf?_tid=15ab757e-0906-416c-8a24-3c2221576685&acdnt=1549971014_5ef8322043c2b5514fd2dcdb49b4115b>. Acesso em: 10 fev 2019.

MIGLIOR, F. *et al.* Analysis of milk urea nitrogen and lactose and their effect on longevity in Canadian dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 12, p. 4886-4894, 2006. Disponível em: <[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(06\)72537-1/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(06)72537-1/pdf)>. Acesso em: 10 fev 2019.

O'CALLAGHAN, D. J.; O'DONNELL, C. P.; PAYNE, F. A. Review of systems for monitoring curd setting during cheesemaking. **International Journal of Dairy Technology**, v. 55, p. 65-74, 2002. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0958694614002076/1-s2.0-S0958694614002076-main.pdf?_tid=57bd53fb-5700-4a18-9416-aa7c5d50030a&acdnat=1549844506_7e00d5f2b9f3b50431508385e0ddc793>. Acesso em: 10 fev 2019.

O'MAHONY, J. A.; FOX, P. F. Milk proteins: introduction and historical aspects. In: **Advanced Dairy Chemistry**, Springer US, Boston, MA, p. 43-85, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-4714-6_2>. Acesso em: 10 fev 2019.

O'SULLIVAN, M. *et al.* Milk production of Holstein-Friesian cows of divergent Economic Breeding Index evaluated under seasonal pasture-based management. **Journal of Dairy Science**, v. 102, p. 1-18, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15559>>. Acesso em: 10 fev 2019.

OLIVEIRA, H. L. *et al.* Estimated thermal comfort condition for layers according to Fuzzy theory. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 300-307, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n2/26491.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 2, p. 558-568, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbspa/v13n2/a23v13n2.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

PARK, Y. K. *et al.* The analysis of milk components and pathogenic bacteria isolated from bovine raw milk in Korea. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 12, p. 5405-5414, 2007. Disponível em: <[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(07\)72013-1/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(07)72013-1/pdf)>. Acesso em: 10 fev 2019.

PENRY, J. F. Mastitis Control in Automatic Milking Systems. **Veterinary Clinics: Food Animal**, v. 34, p. 439-456, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez27.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0749072018300331>>. Acesso em: 09 jan 2020.

PEREIRA, D. F. *et al.* Sistema Fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 624-633, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n4/02.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

PONCIANO, P. F. *et al.* Sistema Fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 446-458, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v32n3/04.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

PTAK, E. P. B.; BIENIEK, J. Genetic parameters for lactose percentage in the milk of Polish Holstein-Friesians. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 21, n. 2, p. 251-262, 2012. Disponível em: <<http://www.jafs.com.pl/Genetic-parameters-for-lactose-percentage-in-the-milk-of-Polish-Holstein-Friesians,66072,0,2.html>>. Acesso em: 10 fev 2019.

REIS, G. L. *et al.* Procedimentos de coleta de leite cru individual e sua relação com a composição físicoquímica e a contagem de células somáticas. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.1134-1138, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n4/a35v37n4.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

REKSEN, O. *et al.* 2002. Relationships among body condition score, milk constituents, and postpartum luteal function in Norwegian dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n.6, p.

1406-1415, 2002. Disponível em: <[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(02\)74208-2/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(02)74208-2/pdf)>. Acesso em: 10 fev 2019.

REZAEI, M. Indirect measurement of the elastic modulus of intact rocks using the Mamdani fuzzy inference system. **Measurement**, v. 129, p. 319-331, 2018. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0263224118306481/1-s2.0-S0263224118306481-main.pdf?_tid=bc1ed83c-7b43-457d-907990c5b64dd4a8&acdnat=1549935483_e12f4c6d3b213fe9256c03a2b5a0e3ce>. Acesso em: 11 fev 2019.

REZENDE, P. S.; CARMO, G. P.; ESTEVES, E. G. Optimization and validation of a method for the determination of the refractive index of milk serum based on the reaction between milk and copper(II) sulfate to detect milk dilutions. **Talanta**, v. 138, p. 196-202, 2015. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0039914015001022/1-s2.0-S0039914015001022-main.pdf?_tid=eb4dbcab-f86f-4e0f-8a83-072360432518&acdnat=1549932892_150e3147ee22c2cff49e1e9275274673>. Acesso em: 11 fev 2019.

RODRIGUES, T. F. **Produção de leite no Brasil, a evolução não pode parar**. 2017. Disponível em <www.cnabrasil.org.br>. Acesso em: 10 jun 2018. Brasília, 2018.

SAAVEDRA, O. R. **Introdução aos Conjuntos Difusos – Notas de aula – Inteligência Artificial**. Universidade Federal do Maranhão, 2003.

SABBAG, O. J.; COSTA, S. M. A. L. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. **Revista Extensão Rural, DEAER – CCR – UFSM**, v. 22, n. 1, p. 125-145, 2015. Disponível em: <<http://oaji.net/articles/2015/1572-1430015029.pdf>>. Acesso em: 11 fev 2019.

SANTOS, R. C.; NÄÄS, I. A. Utilização da lógica Fuzzy para a simulação do estro de bovino leiteiro exposto a diferentes valores de temperatura e UR. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, 2006, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD.

SHARMA, K.; PARADAKAR, M. The melamine adulteration scandal. **Food Security**, v. 2, p. 97-107, 2010. Disponível em: <<http://oaji.net/articles/2015/1572-1430015029.pdf>>. Acesso em: 11 fev 2019.

SILVA JÚNIOR, C. H. L. Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicados ao Zoneamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos: Uma Revisão. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, v. 14, n. 3, p. 42-58, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/291693942_Logica_Fuzzy_e_Processo_Analitico_Hierarquico_AHP_aplicados_ao_Zoneamento_de_Areas_Suscetiveis_a_Deslizamentos_Uma_Revisao>. Acesso em: 07 jan 2020.

TOFFANIN, V. *et al.* Effectiveness of mid-infrared spectroscopy for prediction of the contents of calcium and phosphorus, and titratable acidity of milk and their relationship with milk quality and coagulation properties. **International Dairy Journal**, v. 41, p. 68-73, 2015. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0958694614002076/1-s2.0-S0958694614002076-main.pdf?_tid=57bd53fb-5700-4a18-9416-aa7c5d50030a&acdnat=1549844506_7e00d5f2b9f3b50431508385e0ddc793>. Acesso em: 10 fev 2019.

TOLON, Y. B. *et al.* Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 1-13, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a01v30n1.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2019.

VAZ, A. M. **Estudos das Funções de pertinência para conjuntos fuzzy utilizados em Controladores Semafóricos Fuzzy**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília, DF, 158p, 2006.

VIGILÂNCIA DE FATORES DE RISCO E PROTEÇÃO PARA DOENÇAS CRÔNICAS POR INQUÉRITO TELEFÔNICO - **VIGITEL**. 2017. Disponível em: <<http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/02/vigitel-brasil-2016.pdf>>. Acesso em 28 abr 2018.

WILLERS, C. D. *et al.* Determination of indirect water consumption and suggestions for cleaner production initiatives for the milk-producing sector in a Brazilian middle-sized dairy farming. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, n. 1, p.146-152, 2014. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0959652614002017/1-s2.0-S0959652614002017-main.pdf?_tid=71c067ab-0af4-45a5-8daf-bca6ba73dd9d&acdnat=1549974183_e0068c064b1713dcba6f6bd807b726b9>. Acesso em 28 abr 2018.

YOSHINAGA, K. *et al.* Analysis of hydroxy triacylglycerol as a lactone precursor in milk fat using liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 274, p. 298-304, 2019. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez27.periodicos.capes.gov.br/S0308814618315139/1-s2.0-S0308814618315139-main.pdf?_tid=095003e3-9ec3-460a-b0f3-9146b2775b85&acdnat=1549721908_729a0576276dc14d7490b8c6b76d39c1>. Acesso em: 09 feb 2019.

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

ZADEH, L. A. **Calculus of Fuzzy Restrictions**, in Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes, Academic Press, INC, 1975.

ZADEH, L. A. **Computing With Words**, BISC Seminar, Computer Science Division, 1997.

Disponível em: <<http://http.cs.berkeley.edu/projects/Bisc>>. Acesso em 28 abr 2018.

ZOCCHÉ, F. *et al.* Qualidade microbiológica e físico-química do leite pasteurizado produzido na região oeste do Paraná. **Archives of Veterinary Science**, v. 7, n. 2, p. 59-67, 2002.

4 Artigo

4.1 ARTIGO 1 – LÓGICA FUZZY PARA A AUTOMAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE AMOSTRAS DE LEITE

**Este artigo foi elaborado conforme as normas da Revista Brasileira de
Zootecnia**

Lógica fuzzy para a automação da classificação de amostras de leite

Jousiane Alves Martins¹, Alcinei Místico Azevedo²

¹Acadêmica de Mestrado em Produção Animal pelo Instituto de Ciência Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais – ICA/UFMG.

²Professor do Instituto de Ciência Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais – ICA/UFMG.

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a utilização da lógica fuzzy na tomada de decisão para a classificação do leite. Na etapa de fuzzyficação foram consideradas como variáveis linguísticas de entrada as características físico químicas do leite. Para cada variável linguística criaram-se funções de pertinência, e estas foram feitas considerando as formas trapezoidais. Na etapa de inferência estabeleceram-se 5832 regras para a associação das variáveis linguísticas e as variáveis de saída (adulterado, inadequado e adequado). Para verificar a eficiência do sistema modelado, foram simuladas um total de 75 amostras de leite adulteradas, inadequadas e adequadas. Verificou-se precisão na automatização da tomada de decisão na classificação do leite pela lógica fuzzy, totalizando 100% de acerto. Logo, o sistema fuzzy é uma ferramenta eficiente para a classificação do leite, podendo ser usado vantajosamente por profissionais da área a fim de reduzir mão de obra, recursos humanos e financeiros.

Palavras-chave: Leite, Adulteração, Qualidade, Inteligência Computacional, Lógica Nebulosa, Qualidade do Leite.

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the use of fuzzy logic in decision making for the classification of milk. In the fuzzy stage, the physical and chemical characteristics of the milk were considered as linguistic variables. For each linguistic variable, pertinence functions were created, and these were made considering the trapezoidal forms. In the inference stage, 5832 rules were established for the association of linguistic variables and output variables (adulterated, inadequate and adequate). To verify the system efficiency, 75 adulterated, inadequate and adequate milk samples were simulated. The precision was verified in the automation of decision making in the classification of milk by the fuzzy logic. For the 25 samples of inadequate milk, it was observed that the Alizarol Test was altered and the other variables were within the standards established by current legislation, suggesting that this milk may have been incorrectly manipulated or stocked. When analyzing the adulterated milk samples, only the fat content did not change, and all other physical and chemical characteristics were altered, confirming that this group of milk would have been subject to fraud, from the simplest, ones such as watering, to those more elaborated, as addition of reconstituents or neutralizers. For the modeled system of the adequate milk samples, all presented adequate values of protein, lactose, fat, non-fat solids, total solids and density. Therefore, the fuzzy system is an efficient tool for the classification of milk and can be used advantageously by professionals in order to reduce labor, human and financial resources.

Keywords: Milk, Adulteration, Quality, Computational Intelligence, Fuzzy logic, Milk Quality.

Introdução

O leite é uma das bebidas mais consumidas no mundo e apresenta proteínas, açúcares, gorduras, vitaminas e minerais (Altomonte et al., 2018). Como resultado, o leite é um alvo constante de adulteração, causando não apenas perdas

econômicas, mas também um risco significativo para a saúde dos consumidores. Essa adulteração normalmente envolve a diluição e/ou adição de produtos baratos, de baixa qualidade e às vezes perigosos, a fim de aumentar o volume, mascarar a qualidade inferior ou substituir as substâncias naturais no leite para ganho econômico (Nascimento et al., 2017).

A alta demanda de consumo de leite e derivados fez com o mercado consumidor se tornasse mais exigente quanto ao monitoramento da qualidade do leite. Sendo assim, há grande dificuldade dos profissionais técnicos para analisar o grande número de amostras de leite quanto à sua qualidade. Pois, além de ter que se considerarem muitos atributos de qualidade, geralmente há um elevado número de produtores assistidos, os quais necessitam de avaliações diárias do leite. Logo, a possibilidade de automatizar a classificação do leite quanto à sua qualidade pode facilitar o trabalho de profissionais desta área, possibilitando a redução de recursos humanos, financeiros e do tempo para análise.

Neste contexto, observa-se a importância da utilização da lógica fuzzy na automação da tomada de decisões, uma vez que ela traduz expressões verbais, normalmente imprecisas, em valores numéricos, permitindo a automação computacional da experiência de um especialista (Papadopoulos et al., 2011; Mardani et al., 2015). Além disso, essa metodologia lida com valores aproximados, onde os graus de verdade ou pertinência variam entre 0 e 1, permitindo ao especialista fazer inferências de que uma afirmação é parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa (Zadeh, 1965).

Técnicas de inteligência computacional como estas podem contribuir com a identificação de possíveis contaminações ou fraudes no leite, pois possibilita trabalhar com características qualitativas e quantitativas simultaneamente, por

meio da compilação de várias entradas para gerar as saídas, produzindo sistemas de resposta que se aproximam ao máximo à linguagem e raciocínio humanos (Brandao et al., 2018).

É relatada na literatura a utilização da lógica fuzzy como mecanismo de suporte para a agropecuária, e outras formas para a tomada de decisão e para ações mais precisas que auxiliem no avanço das pesquisas na área da produção animal (Alavi, 2013). Logo, o objetivo do estudo foi avaliar a utilização da lógica fuzzy na tomada de decisão para a classificação do leite.

Material e Métodos

O sistema lógico de estruturação do controlador fuzzy foi baseado em três etapas distintas: a “Etapa de fuzzyficação”, “Etapa de inferência” e a “Etapa de Defuzzyficação” (Kaur; Kaur, 2012). Na etapa de fuzzyficação as variáveis linguísticas foram pré-estabelecidas, sendo utilizadas funções de pertinência do tipo trapezoidal, assim, define-se como um número fuzzy trapezoidal a função de pertinência $\mu_A(x)$ conforme mostra a equação abaixo. Sendo que os valores de a , b , c e d foram atribuídos de acordo com os padrões recomendados pela legislação vigente para um leite de qualidade.

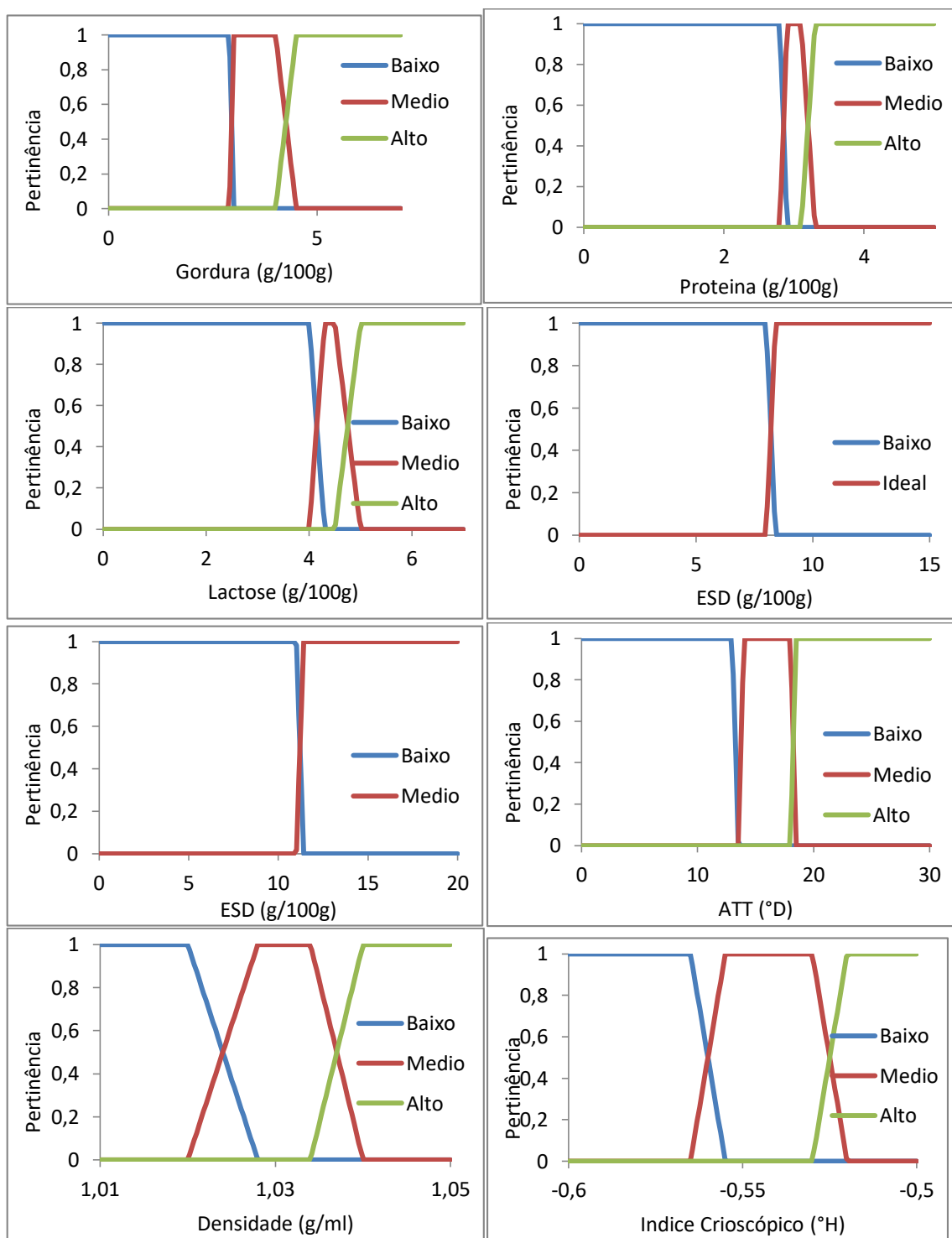
$$f(x; a, b, c, d) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{array} \right.$$

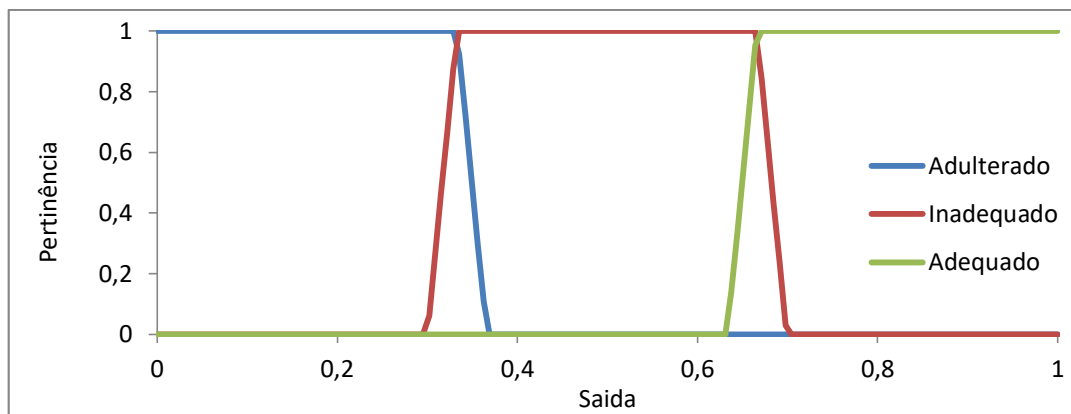
Para a configuração do sistema fuzzy foram utilizadas como variáveis linguísticas de entrada as características: Gordura com as funções de pertinência baixo ($a=0, b=0, c=2.9, d=3,0$), médio ($a=2,9, b=3,0, c=4,0, d=4,5$) e alto ($a=4,0, b=4,5, c=7,0, d=7,0$); Proteína com as funções de pertinência baixo ($a=0, b=0, c=2.8, d=2.9$), médio ($a=2,8, b=2.9, c=3.1, d=3.3$) e alto ($a=3.1, b=3.3, c=5,0, d=5,0$); Lactose com as funções de pertinência baixo ($a=0, b=0, c=4.0, d=4.3$), médio ($a=4.0, b=4.3, c=4.5, d=5.0$) e alto ($a=4.5, b=5.0, c=7,0, d=7,0$); Sólidos não gordurosos (ESD) com as funções de pertinência baixo ($a=0, b=0, c=8,0, d=8,4$), Ideal ($a=8,0, b=8,4, c=15,0, d=15,0$); Sólidos totais (EST) com as funções de pertinência baixo ($a=0, b=0, c=11,0, d=11,4$), Ideal ($a=11,0, b=11,4, c=20,0, d=20,0$); Acidez titulável com as funções de pertinência baixo ($a=0, b=0, c=13,0, d=13.5$), médio ($a=13.5, b=14.0, c=18, d=18.5$) e alto ($a=18, b=18.5, c=30,0, d=30,0$); Densidade relativa a 15 °C com as funções de pertinência baixo ($a=0, b=0, c=1.020, d=1.028$), médio ($a=1.020, b=1,028, c=1.034, d=1.040$) e alto ($a=1.034, b=1.040, c=2,000, d=2,000$); Índice crioscópico com as funções de pertinência baixo ($a=-1,00, b=-1,00, c=-0,565, d=-0,555$), médio ($a=-0,565, b=-0,555, c=-0,530, d=-0,520$) e alto ($a=-0,530, b=-0,520, c=1,00, d=1,00$); e Teste de alizarol (binário). Como variáveis de saída, consideraram-se as classes: adulterado ($a=0.000, b=0.000, c=0.333, d=0.366$), inadequado ($a=0.300, b=0.333, c=0.666, d=0.699$) e adequado ($a=0.633, b=0.666, c=1,000, d=1,000$). Todas as funções de pertinência são apresentadas na figura 1 para melhor visualização.

Na etapa de inferência foram estabelecidas as regras para associação das variáveis linguísticas, e posterior classificação. Foi utilizado o conectivo “E” nas regras, totalizando 5832 regras ($3^6 \times 2^3$ combinações). Estas regras foram estabelecidas baseando-se na classificação que cada possível combinação (regra)

teria considerando a IN 62/2011. Para a realização da inferência Fuzzy foi utilizada a metodologia de “Mamdani min” (Mamdani; Assilian, 1975).

Figura 1. Funções de pertinências assumidas para as variáveis linguísticas utilizando as formas trapezoidais.





Para a defuzzificação, foi utilizado o método centroide. Toda a modelagem estatística foi feita utilizando o pacote FuzzyToolkitUoN do *software* R. Para verificar a eficiência do sistema modelado foram simuladas 1000 amostras de leite adulterado, 1000 amostras de leite inadequado e 1000 amostras de leite adequado considerando a distribuição de probabilidade uniforme. Neste processo de simulação, para as amostras adequadas foram consideradas para cada característica valores variando dentro dos intervalos recomendados IN 62/2011(G: 3,01 a 5 g/100ml; PT: 2,91 a 4,00 g/100ml; 4,31 a 13,00 g/100ml; ESD 8,41 a 13,00 g/100ml, 11,4 a 13,00 g/100ml; 14,00 a 18,00 g de ác. láctico/100ml; DR:1,028 a 1,034 g/ml; IC:-0,530 a - 0,555°H; Teste de alizarol: cor vermelho tijolo). Para as amostras inadequadas foram simuladas valores com pelo menos uma característica fora dos limites recomendados pela IN 62/2011. Para todas as amostras adulteradas foram considerada a ausência da cor vermelho tijolo para o teste alizarol. Metade das amostras adulteradas foram simulados com as características dentro dos limites recomendados pela IN 62/2011 e metade com pelo menos uma característica fora destes limites. A partir destas 1000 amostras simuladas foi feita uma tabela de confusão para demonstrar a eficiência da metodologia (porcentagem de acerto nas classificações). Para a melhor discussão

dos resultados, 25 amostras de cada uma das classes (adulterado, inadequado e adequado) foram seleccionadas aleatoriamente para a apresentação neste artigo.

Resultados

Para as 3000 amostras simuladas foram verificadas 100% de acerto na classificação pelo sistema Fuzzy (Tabela 1).

Tabela 1. Tabela de confusão para a classificação de amostras simuladas de leite pelo sistema Fuzzy.

Simulação	Classificação		
	Adulterado	Inadequado	Adequado
Adulterado	1000	0	0
Inadequado	0	1000	0
Adequado	0	0	1000
Taxa de acerto	100%		

Para as amostras de leite inadequado apresentadas na tabela 2 verifica-se que as análises de gordura, proteína, lactose, sólidos não gordurosos (ESD), sólidos totais (EST), densidade, acidez e índice crioscópico estavam dentro do padrão estabelecido pela legislação vigente. Enquanto que todas as amostras (n = 25/100%) apresentaram alteração no teste do Alizarol. No teste Alizarol é importante que o resultado apresente a cor vermelho tijolo (resultado negativo para o teste do Alizarol) que foi identificada com o valor 2. O valor 1 indica que o leite é inadequado. Desta forma, mesmo com o leite apresentando valores ideais para as outras características, o mesmo foi classificado como inadequado devido ao

Alizarol, confirmando a evidência da tomada de decisão realizada pela classificação adequada da lógica Fuzzy.

Tabela 2. Eficiência do sistema fuzzy para 25 amostras simuladas de leite com classificação “inadequado”.

Amostra	Variáveis simuladas							Pertinências				
	Gordura	Proteína	Lactose	ESD	EST	ATT	Densidade	IC	Alizarol	Inadequado	Adulterado	Adequado
1	4,992	3,197	5,869	10,868	11,933	14,598	1,032	-0,534	1	51,257	0	0
2	4,370	3,769	4,736	10,211	12,830	15,617	1,029	-0,534	1	52,628	0	0
3	3,626	3,194	5,054	9,928	11,799	15,794	1,030	-0,532	1	52,637	0	0
4	3,534	3,920	4,809	12,939	11,719	17,306	1,030	-0,534	1	61,866	0	0
5	4,313	3,790	4,482	11,121	12,761	15,975	1,030	-0,534	1	62,753	0	0
6	3,915	3,817	4,814	12,224	12,645	15,159	1,032	-0,545	1	62,972	0	0
7	4,724	2,932	4,668	11,539	12,924	14,193	1,033	-0,543	1	66,283	0	0
8	3,368	3,238	5,418	9,172	11,952	17,356	1,031	-0,546	1	69,207	0	0
9	3,929	3,306	4,857	12,202	12,834	16,384	1,033	-0,540	1	71,545	0	0
10	3,585	3,246	4,561	12,818	11,796	17,048	1,032	-0,550	1	73,180	0	0
11	3,739	3,737	4,876	11,664	12,420	16,206	1,033	-0,550	1	75,379	0	0
12	4,007	3,407	4,593	11,478	12,882	14,361	1,030	-0,547	1	81,324	0	0
13	4,738	3,768	4,586	8,793	12,516	14,002	1,030	-0,542	1	82,713	0	0
14	4,067	3,977	5,188	10,911	12,705	14,284	1,030	-0,539	1	86,475	0	0
15	4,061	3,953	5,155	10,885	12,123	15,068	1,029	-0,546	1	87,774	0	0
16	4,449	3,961	4,332	12,265	11,570	16,764	1,033	-0,545	1	89,805	0	0
17	4,573	3,461	4,542	8,500	11,668	17,455	1,028	-0,535	1	91,481	0	0

18	3,265	3,781	5,422	10,775	12,440	16,798	1,033	-0,554	1	100	0	0
19	3,232	3,344	5,649	9,748	12,799	14,717	1,028	-0,535	1	100	0	0
20	3,432	3,363	5,052	12,691	12,823	17,789	1,033	-0,545	1	100	0	0
21	3,159	3,832	4,369	8,782	11,807	14,814	1,031	-0,543	1	100	0	0
22	3,497	3,739	5,314	12,024	12,429	15,753	1,028	-0,545	1	100	0	0
23	3,034	3,056	5,714	9,991	12,871	15,713	1,029	-0,549	1	100	0	0
24	4,634	3,080	5,386	9,443	12,529	14,208	1,031	-0,535	1	100	0	0
25	3,565	2,929	5,281	12,764	11,625	17,404	1,033	-0,532	1	100	0	0

Legenda: Sólidos não gordurosos (ESD); Sólidos totais (EST); Acidez titulável (ATT); Índice crioscópico (IC).

Quanto ao modelo testado para as análises de leite adulterado constatou-se que apenas o teor de gordura apresentou valores permitidos. Pela análise de sólidos não gordurosos (ESD), 4 (16%) amostras (nº 2, 4, 10 e 20) estavam fora do padrão estabelecido pela legislação vigente (Tabela 3). Pelo teor de proteínas, as amostras 1, 3, 5, 19 e 23 apresentaram valores inadequados. Para a concentração de lactose (nº 1, 6, 7, 14 e 24) e de sólidos totais (EST) (nº 11, 17, 18, 21 e 25), 5 (20%) amostras de cada um, respectivamente, apresentaram valores insatisfatórios. Quanto à densidade (nº 9, 13 e 16) e a acidez (nº 4, 12 e 21), 3 (12%) amostras de cada análise apresentaram valores alterados para o permitido pela legislação em vigor. As amostras 5, 8, 14, 15 e 22 referentes ao índice crioscópico, não atendem aos padrões estabelecidos (Tabela 3). Todas estas 25 amostras, apresentadas na tabela 3, foram classificadas como adulteradas pela lógica fuzzy.

Tabela 3. Eficiência do sistema fuzzy para 25 amostras simuladas de leite com classificação “adulterado”.

Amostra	Variáveis simuladas							Pertinências				
	Gordura	Proteína	Lactose	ESD	EST	ATT	Densidade	IC	Alizarol	Inadequado	Adulterado	Adequado
1	4,231	2,453	4,222	12,408	12,447	15,063	1,031	-0,544	2	0	53,764	0
2	3,134	3,121	4,730	3,183	12,502	15,135	1,028	-0,554	2	0	53,886	0
3	4,318	1,990	5,498	12,395	12,466	16,097	1,029	-0,538	2	0	63,670	0
4	4,592	3,808	5,330	3,667	11,834	13,820	1,033	-0,536	2	0	64,144	0
5	4,626	2,186	5,459	10,232	11,560	17,756	1,029	-0,526	2	0	64,172	0
6	4,174	3,503	3,639	9,049	12,056	16,262	1,028	-0,545	2	0	65,011	0
7	4,143	3,640	3,004	12,747	12,505	16,266	1,028	-0,550	2	0	71,301	0
8	4,369	3,151	5,548	10,001	12,391	16,389	1,033	-0,566	2	0	73,928	0
9	4,123	2,984	5,037	9,944	11,927	14,192	1,041	-0,553	2	0	75,342	0
10	4,508	3,038	4,907	4,001	11,538	17,145	1,033	-0,542	2	0	81,403	0
11	3,633	3,136	5,830	11,794	9,468	16,460	1,034	-0,540	2	0	81,542	0
12	4,426	3,376	5,856	8,670	12,555	12,657	1,029	-0,538	2	0	85,375	0
13	4,596	3,545	4,940	11,999	11,955	14,397	1,013	-0,545	2	0	88,042	0
14	3,425	3,098	3,420	11,296	11,036	14,265	1,029	-0,571	2	0	100	0
15	3,445	3,402	5,685	11,407	12,785	14,160	1,031	-0,518	2	0	100	0
16	3,457	2,979	5,894	9,041	12,567	14,400	1,015	-0,534	2	0	100	0
17	3,158	3,483	5,530	10,644	10,522	16,833	1,033	-0,533	2	0	100	0

18	3,749	3,850	5,693	12,224	9,614	15,039	1,031	-0,552	2	0	100	0
19	4,850	2,319	5,024	11,776	12,324	17,794	1,029	-0,531	2	0	100	0
20	4,624	2,960	4,463	3,797	12,962	15,632	1,031	-0,543	2	0	100	0
21	3,657	2,955	5,322	9,381	10,756	11,446	1,032	-0,532	2	0	100	0
22	3,090	3,452	5,783	8,721	12,735	15,124	1,030	-0,592	2	0	100	0
23	4,619	2,386	4,346	12,498	11,683	16,704	1,031	-0,538	2	0	100	0
24	4,685	3,354	3,128	9,816	11,852	17,403	1,030	-0,541	2	0	100	0
25	4,538	3,693	5,646	8,865	9,615	15,969	1,031	-0,530	2	0	100	0

Legenda: Sólidos não gordurosos (ESD); Sólidos totais (EST); Acidez titulável (ATT); Índice crioscópico (IC).

Quanto ao sistema modelado das amostras de leite adequado todas as amostras apresentaram valores adequados de proteína, lactose, gordura, sólidos não gordurosos (ESD), sólidos totais (EST), acidez, densidade, índice crioscópico e teste de Alizarol (Tabela 4). Todas estas amostras foram classificadas como adequadas pela lógica fuzzy.

A pertinência demonstrada na tabela 4 das primeiras amostras (nº 1 ao 8) é menor que as das últimas para o grupo do leite adequado. Isso possivelmente deve-se a pior qualidade das primeiras amostras de leite em relação às demais. Neste contexto, verifica-se a associação entre o valor de pertinência das amostras analisadas e a qualidade do leite, o que sugere a utilização desse critério como bonificação dos produtores.

Tabela 4. Eficiência do sistema fuzzy para 25 amostras simuladas de leite com classificação “adequado”.

Amostra	Variáveis simuladas							Pertinências				
	Gordura	Proteína	Lactose	ESD	EST	ATT	Densidade	IC	Alizarol	Adulterado	Inadequado	Adequado
1	4.082	3.952	5.845	12.327	11.637	14.546	1.030	-0.534	2	0	0	50.201
2	4.248	3.101	5.318	11.650	12.161	16.258	1.030	-0.553	2	0	0	50.261
3	4.252	3.291	5.123	10.447	12.692	17.422	1.033	-0.532	2	0	0	50.552
4	4.263	3.169	4.857	12.667	12.413	14.408	1.028	-0.530	2	0	0	52.722
5	4.265	3.886	4.727	10.724	12.998	15.384	1.030	-0.532	2	0	0	53.141
6	4.511	3.191	5.597	10.608	12.156	17.353	1.032	-0.539	2	0	0	54.417
7	4.227	3.273	4.650	12.506	12.945	16.931	1.029	-0.547	2	0	0	54.430
8	3.321	3.062	4.724	8.613	11.626	15.614	1.030	-0.552	2	0	0	55.073
9	4.838	2.934	4.615	12.373	11.546	16.964	1.033	-0.539	2	0	0	76.989
10	4.065	3.033	4.614	12.826	12.025	16.179	1.030	-0.536	2	0	0	77.118
11	3.091	3.143	4.904	11.669	11.610	17.665	1.032	-0.539	2	0	0	78.434
12	4.102	3.656	5.577	12.352	11.495	14.828	1.031	-0.545	2	0	0	79.525
13	4.671	3.579	4.914	11.857	11.541	15.210	1.030	-0.538	2	0	0	82.965
14	3.619	3.298	4.578	10.469	11.670	17.167	1.030	-0.541	2	0	0	84.258
15	3.217	3.269	4.995	10.663	12.479	15.520	1.031	-0.530	2	0	0	84.853
16	4.070	3.363	4.334	11.412	11.709	15.418	1.029	-0.543	2	0	0	85.882
17	4.060	2.976	5.241	11.466	12.869	17.250	1.030	-0.536	2	0	0	87.844

18	3.436	3.276	4.939	12.086	11.538	14.142	1.032	-0.544	2	0	0	87.874
19	3.298	3.949	5.922	10.890	12.315	17.861	1.030	-0.539	2	0	0	100.000
20	3.452	3.765	5.524	10.359	11.743	17.462	1.029	-0.547	2	0	0	100.000
21	4.819	3.452	5.272	10.989	12.014	16.220	1.033	-0.539	2	0	0	100.000
22	4.516	3.790	5.211	8.515	12.310	17.180	1.033	-0.554	2	0	0	100.000
23	4.724	3.672	4.427	12.196	12.624	15.103	1.028	-0.554	2	0	0	100.000
24	4.573	3.029	5.677	12.484	12.368	16.105	1.028	-0.531	2	0	0	100.000
25	3.500	3.788	4.436	12.294	11.947	16.850	1.031	-0.544	2	0	0	100.000

Legenda: Sólidos não gordurosos (ESD); Sólidos totais (EST); Acidez titulável (ATT); Índice crioscópico (IC).

Discussão

Na literatura são relatados vários tipos de fraudes no leite fluido, podendo citar a adição de água e de soro de leite ao leite a mais frequente, cujo objetivo principal é aumentar o volume da produção (Zocche et al., 2002; Martins et al., 2008). Mas também são relatados outros tipos de fraudes tais como adição de neutralizantes de acidez, reconstituintes de densidade, substâncias antimicrobianas, além de substâncias não usuais como soro fisiológico e soro glicosado (Cortez et al., 2010).

Para a classe de amostras de leite inadequado (Tabela 2), observou-se que todas as 25 amostras apresentaram valores do teste de Alizarol diferentes do exigido pela IN 62/11, ou seja, apresentaram resultado positivo. Neste caso, a instabilidade ao Alizarol poderia estar associado à acidez microbológica devido ao manejo incorreto desde a ordenha ao armazenamento ou por se tratar de um leite instável não ácido (LINA) (Sezer *et al.*, 2018).

Ao analisar as amostras de leite adulterado (Tabela 3), notou-se que a amostra 4, apresentou valor de ESD inferior ao recomendado, fato que associaria à fraude mais comum no mercado leiteiro, a adição de água (Robin *et al.*, 2012). Nesta amostra também observa-se ATT inferior ao mínimo preconizado pela legislação, o que leva a inferir que este leite teria sofrido adição de neutralizantes como hidróxido e/ou bicarbonato de sódio, com intuito de mascarar uma proliferação bacteriana ou até mesmo um manejo inadequado do leite (Oliveira; Santos, 2012).

Na amostra 9, o valor de densidade apresenta-se superior perante ao recomendado pela legislação em vigor, sugerindo que este leite poderia ter sido

objeto de fraude por desnate ou adição de constituintes (Rosa et al., 2015). Em relação à alteração na densidade, verifica-se que, se o leite sofrer adição fraudulenta de água, haverá uma redução no valor da densidade. Contudo este não é um teste conclusivo para detectar aguagem, pois uma fraude dupla, como adição de água e desnate, por exemplo, pode manter a densidade do leite dentro dos valores preconizados pela legislação (Brasil, 2006).

O leite pode apresentar alteração no teor de lactose, e este fator representa redução no peso específico e no ponto de congelamento do leite, produzindo efeitos semelhantes à fraude pela adição de água (Júnior et al., 2016). Na amostra 14 observou-se valores de lactose e IC menores que os valores de referência. Uma forma para descartar a suspeita de fraude é a determinação dos sólidos não gordurosos (ESD) e dos sólidos totais (EST). Se estes parâmetros estiverem dentro do padrão estabelecido pela legislação fica confirmada então que não passa de um leite com baixo valor nutricional (Robin et al., 2013). Porém ao analisar o EST da amostra, notou-se que este encontrava-se com valor inferior ao recomendado, confirmando que este leite teria sido objeto de fraude por aguagem.

Com relação às amostras do grupo adequado (Tabela 4), observou-se que todas apresentaram valores dentro do intervalo de referência para o leite considerado de boa qualidade, sendo que as amostras com valores de defuzzyficação, cuja pertinência foi igual a 100 representariam aquelas que continham todas as características simultaneamente mais próximas do que é considerado um leite de boa qualidade.

Verifica-se a importância de estratégias que detectem e assim coíbam as fraudes no setor leiteiro e melhorem o desempenho agrícola. Na literatura são citadas utilizações da lógica fuzzy como mecanismo de suporte para a

agropecuária. No estudo de Oliveira et al. (2005), Amendola et al. (2004) e Gates (1999), os autores comprovaram a eficácia do uso da lógica Fuzzy quando utilizada para melhorar a ambiência e a produção animal.

Nos últimos anos, a lógica fuzzy é um dos métodos de inteligência artificial usado na solução dos problemas que são eliminados de situações de avaliação de qualidade que consistem em casos de incerteza. A teoria da lógica fuzzy possui estrutura mais flexível do que a teoria da lógica clássica, pois descreve os eventos com grau de precisão que está entre "0" e "1" apontados para o objeto. O sistema de suporte à decisão é baseado em lógica difusa que oferece às pessoas uma perspectiva mais realista e objetiva na tomada de decisões (Akilli; Atil; Kesenaş, 2014).

De Mol e Woldt (2001) utilizaram um modelo de lógica fuzzy para a classificação dos alertas de mastite em um conjunto de dados de vacas ordenhadas em um sistema de ordenha automática. Os autores observaram que o número de casos detectados reduziu ligeiramente após a classificação com a lógica Fuzzy e o número de alertas falso-positivos diminuiu consideravelmente. Mediante aos achados, a classificação por um modelo lógico difuso mostrou-se muito útil para aumentar a aplicabilidade do monitoramento automatizado no *status* das vacas.

Verifica-se que a lógica fuzzy vem sendo utilizada também na elaboração de produtos e sistemas, além do controle de processos industriais, diversão eletrônica, sistemas de diagnósticos, aplicações domésticas e outros sistemas especializados. No estudo de Sami *et al.* (2013), os autores avaliaram a sustentabilidade em fazendas agrícolas e mediante a esta necessidade foi desenvolvido um modelo baseado no sistema de inferência fuzzy. Os resultados da análise do modelo desenvolvido comprovaram que o modelo é satisfatório quanto

à complexidade para a sustentabilidade no setor agrícola. Já que o modelo baseado na lógica fuzzy tem como vantagem a possibilidade de trabalhar com dados linguísticos e incertos, oferecendo uma precisão benéfica quanto às informações que não estão disponíveis.

Akgül, Akgül e Doğan (2014), utilizaram o método de Mamdani, com os valores da função de filiação determinados pelo peso médio, usando três áreas trapezoidais de funções de filiação criadas, para avaliarem a finalização da fermentação com o pH de 4,6 na produção industrial do kefir. Nos sistemas de controle convencionais, o valor do pH pode ser encontrado pelo método experimental. Porém, ao se utilizar a lógica fuzzy, pode-se obter uma otimização do sistema encontrado, comparando os valores numéricos obtidos com valores de pH que deveriam ser. Eventualmente, para atingir o valor de pH desejado de 4,6 na produção de kefir, com o uso da lógica fuzzy a carga de trabalho das pessoas irá diminuir e a produtividade dos negócios poderá ser aumentada. Nesse caso, pode-se economizar tanto no custo quanto no tempo.

Xie, Ni e Su (2017), ao estudarem os sistemas de confinamentos, a temperatura, a umidade e a qualidade do ar para a criação de suínos, verificaram que estes fatores são importantes para a saúde e a produtividade dos animais. Neste contexto, a teoria de avaliação abrangente fuzzy (FCE) foi adotada para a avaliação multifatorial da qualidade ambiental em dois sistemas de confinamentos comerciais de suínos usando dados reais de medição. Os autores verificaram que o método de FCE pode aumentar significativamente a sensibilidade e realizar uma avaliação eficaz e integrativa. Pode ser usado como parte do controle ambiental e nos sistemas de alerta para o gerenciamento do ambiente de construção de suínos para melhorar a produção e o bem-estar dos animais.

Perrot et al. (2006) observaram na revisão realizada que a lógica fuzzy é usada em aplicações em alimentos visando capturar e formalizar a avaliação sensorial descritiva realizada por uma equipe de qualidade. Em estudos que desenvolveram uma medida indireta das propriedades de um produto alimentício, além de controlar os processos alimentares.

Akilli, Atil e Kesenaş (2014) desenvolveram um sistema de suporte de decisão baseado na lógica fuzzy que visou classificar a qualidade das amostras de leite cru. As variáveis de entrada do sistema foram a contagem de bactérias, contagem de células somáticas e os valores para quantidades de proteínas nas amostras de leite. As variáveis de saída da lógica fuzzy foram projetadas pela medição do valor da qualidade do leite cru e o cálculo do sucesso da análise. Os autores perceberam que os resultados foram comparados com as decisões dos especialistas e, devido à comparação, verificou-se que o sistema possui 80% de sucesso.

Sendo assim, verifica-se que a lógica fuzzy apresenta boa eficácia em diferentes estudos, visando melhorar o sistema agropecuário, alimentar e leiteiro. No sistema leiteiro, o número de amostras, o número de variáveis a serem analisadas, a frequência da realização das análises e a interpretação dos resultados são fatores que podem dificultar na tomada de decisão do analista frente a cada lote de leite. A lógica fuzzy mostrou-se eficiente para a tomada de decisão neste trabalho, possibilitando análise qualitativa simultânea das características físico-químicas na classificação de leite. Neste contexto, a lógica fuzzy permite uma classificação rápida e eficiente do leite, otimizando o processo em todo mercado leiteiro.

Conclusão

Há precisão na automatização da tomada de decisão referente à classificação do leite por meio da lógica fuzzy, possibilitando a otimização de tempo, recursos financeiros e humanos em laticínios, fazendas e cooperativas.

Referências

Akgül, H. N.; Akgül, F. Y. e Doğan, T. 2014. Bulanık Mantık ile Kefir Üretiminin Modellenmesi. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2(6): 251-255.

Akilli, A.; Atil, H. e Kesenkaş, H. 2014. Çiğ Süt Kalite Değerlendirmesinde Bulanık Mantık Yaklaşım. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 20(2): 223-229.

Alavi, N. 2013. Quality determination of Mozafati dates using Mamdani fuzzy inference system. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 12: 137-142.

Amendola, M.; Castanho, M. J.; Naas, I. A. e Souza, A. L. 2004. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. *Biomatemática* 14(1): 87-92.

Altomonte, I.; Salari, F.; Licitra, R. e Martini, M. 2018. Use of microalgae in ruminant nutrition and implications on milk quality – A Review. *Livestock Science* 214: 25-35.

Brandao, M. P.; Neto, M. G.; Anjos, V. C. e Bell, M. J. V. 2018. Detection of adulteration of goat milk powder with bovine milk powder by front-face and time resolved fluorescence. *Food Control* 81: 168-172.

Brasil. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017.

Carvalho, B. M. A.; Carvalho, L. M.; Coimbra, J. S. R.; Minim, L. A.; Barcellos, E. S.; Júnior, W. F. S. e Carvalho, G. G. P. 2015. Rapid detection of whey in milk powder samples by spectrophotometric and multivariate calibration. *Food Chemistry* 174: 1-7.

De Mol, R. M. e Woldt, W. E. 2001. Application of Fuzzy logic in automated cow status monitoring. *Journal of Dairy Science* 84(2): 400-410.

Garcia, J. S.; Sanvido, G. B.; Saraiva, S. A.; Zacca, J. J.; Cosso, R. G. e Eberlin, M. N. 2012. Bovine milk powder adulteration with vegetable oils or fats revealed by MALDI-QTOF MS. *Food Chemistry* 131: 722-726.

Gates, R. S. Fuzzy control simulation of plant and animal environments. In: ASAE Annual International Meeting, 1999, Toronto, Canada. 24p. Online. Disponível em: <<http://www.bae.uky.edu/gates/freebies/ASAE99/993136.pdf>>. Acesso em 28 abr 2019.

Jeong, H.; Chung, H.; Song, S.; Kim, C.; Lee, J. e Kim, Y. 2015. Validation and determination of the contents of acetaldehyde and formaldehyde in Foods. *Toxicological Research* 31: 273-278.

Jha, S. N.; Jaiswal, P.; Borah, A.; Gautam, A. K. e Srivastava, N. 2015. Detection and quantification of urea in milk using attenuated total reflectance-Fourier Transform infrared spectroscopy. *Food and Bioprocess Technology* 8: 926-933.

Kaur, A. e Kaur, A. 2012. Comparison of fuzzy logic and neuro Fuzzy algorithms for air conditioning system. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* 2: 417-420.

Lu, Y.; Xia, Y.; Liu, G.; Pan, M.; Li, M.; Lee, N. A. e Wang, S. 2016. A review of methods for detecting melamine in food samples. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10408347.2016.1176889>.

Mamdani, E. e Assilian, S. 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. In *International Journal of ManMachine Studies* 7: 1-13.

Mardani A., Jusoh, A. e Zavadskas, E. K. 2015. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications–Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications* 42 (8), 4126-4148.

Martins, M. E. P.; Nicolau, E. S.; Mesquita, A. J.; Neves, R. B. S. e Arruda, M. T. 2008. Qualidade de leite cru produzido e armazenado em tanques de expansão no estado de Goiás. *Ciência Animal Brasileira* 9(4): 1152-1158.

Nascimento, C. F.; Santos, P. M.; Pereira-Filho, E. R. e Rocha, F. R. P. 2017. Recent advances on determination of milk adulterants. *Food Chemistry* 221: 1232-1244.

Oliveira, H. L.; Amendola, M. e Nääs, I. A. 2005. Estimated thermal comfort condition for layers according to Fuzzy theory. *Engenharia Agrícola* 25(2): 300-307.

Oliveira E. e Santos D. C. 2012. Avaliação da qualidade físico-química de leites pasteurizados. *Rev Inst Adolfo Lutz* 71(1): 193-197.

Papadopoulos A.; Kalivas D. e Hatzichristos T. 2011. Decision support system for nitrogen fertilization using fuzzy theory. *Computers and Electronics in Agriculture* 78: 130-139.

Perrot, N.; Ioannou, I.; Allais, I.; Curt, C.; Hossenlopp, J. e Trystram, G. 2006. Fuzzy concepts applied to food product quality control: A review. *Fuzzy Sets and Systems* 157: 1145-1154.

Rani, A.; Sharma, V.; Arora, S.; Lal, D. e Kumar, A. 2015. A rapid reversed-phase thin layer chromatographic protocol for detection of adulteration in ghee (clarified milk fat) with vegetable oils. *Journal of Food Science and Technology* 52: 2434-2439.

Robin, M. S.; Cortez, M. A. S.; Silva, A. C. O.; Filho, R. A. T.; Gemal, N. H. e Nogueira, E. B. 2013. Pesquisa de fraude no leite UAT integral comercializado no estado do rio de janeiro e comparação entre os métodos de análises físico-químicas oficiais e o método de ultrassom. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, [S.l.], v. 67, n. 389, p. 43-50.

Rodrigues Júnior P. H.; Oliveira, K. S.; Almeida, C. E. D.; Oliveira, L. F. C.; Stephani, R.; Pinto, M. S.; Carvalho, A. F. e Perrone, I. T. 2016. FT-Raman and chemometric tools for rapid determination of quality parameters in milk powder: Classification of samples for the presence of lactose and fraud detection by addition of maltodextrin. Food Chemistry 196: 584-588.

Rosa, L. S. e Garbin, C. M. 2015. Avaliação da qualidade físico-química do leite ultra pasteurizado comercializado no município de Erechim – RS. Vigil. sanit. Debate 3(2): 99-107.

Sami, M.; Shiekhdavoodi, M. J.; Almassi, M. e Marzban, A. 2013. Assessing the sustainability of agricultural production systems using fuzzy logic. Journal of Central European Agriculture 14(3): 318-330.

Sezer, B.; Durna, S.; Porão, G.; Berkkan, A.; Yetisemiyen, A. e Boyaci, I. H. 2018. Identification of milk fraud using laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). International Dairy Journal. Elsevier 81: 1-7.

Souza, G. C. S.; Silva, P. A. B.; Leotério, D. M. S.; Paim, A. P. S. e Lavorante, A. F. 2014. A multicommutated flow system for fast screening/sequential spectrophotometric determination of dichromate, salicylic acid, hydrogen peroxide and starch in milk samples. *Food Control* 46: 127-135.

Xie, Q.; Ni, J-Q. e Su, Z. 2017. Fuzzy comprehensive evaluation of multiple environmental factors for swine building assessment and control. *Journal of Hazardous Materials* 340: 463-471.

Zadeh, L. A. Fuzzy sets. 1965. *Information and Control* 8: 338-353.

Zocche, F.; Bersot, L. S.; Barcellos, V. C.; Paranhos, J. K.; Rosa, S. T. M. e Raymundo, N. K. 2002. Microbiological and physicalchemistry quality of pasteurized milks produced in the west region, Parana. *Archives of Veterinary Science* 7(2): 59-67.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lógica Fuzzy é uma ferramenta eficiente para a classificação do leite, podendo ser usada vantajosamente por profissionais da área a fim de reduzir mão de obra, recursos humanos e financeiros. Observa-se também uma precisão na automatização da tomada de decisão referente à classificação do leite por meio da lógica Fuzzy, possibilitando a otimização de tempo, recursos financeiros e humanos em laticínios, fazendas e cooperativas. Além disso, destaca-se a relação entre a pertinência e a qualidade do leite permite confirmar a eficiência do sistema Fuzzy, que viabiliza e beneficia o setor leiteiro.