

# Proposta de sistema baseado em lógica fuzzy como modelo de apoio a decisão para a qualidade do produto acabado em uma microcervejaria brasileira

## Proposal of a system based on fuzzy logic as a decision support model for the quality of the finished product in a Brazilian microbrewery

Luana HOFFMANN de Assis [1](#); Giovane QUADRELLI [2](#); Nelio Domingues PIZZOLATO [3](#); Fernando Oliveira de ARAUJO [4](#)

Recibido: 23/11/16 • Aprobado: 15/12/2016

### Conteúdo

- [1. Considerações iniciais](#)
- [2. Revisão da literatura](#)
- [3. Proposição do modelo fuzzy de apoio à decisão sobre a inspeção da qualidade cervejeira](#)
- [4. Aplicação do modelo proposto para decisões da qualidade da cerveja tipo pilsen em uma microcervejaria](#)
- [5. Conclusões e sugestões de novos estudos](#)

### Referências

#### RESUMO:

O presente artigo visa a propor um sistema de apoio à decisão baseado em lógica fuzzy para a qualidade do produto acabado de uma microcervejaria (cerveja pasteurizada do tipo pilsen), considerando-se 07 distintos parâmetros físico-químicos. Em termos teóricos, o modelo fundamenta-se na literatura técnica e científica sobre lógica fuzzy. Empiricamente, o estudo oferece a aplicação do modelo proposto considerando 80 amostras de produtos acabados (maio-outubro/2016) de uma microcervejaria brasileira. Como resultados, depreende-se que o sistema proposto foi contributivo para a automação das práticas de inspeção da qualidade cervejeira, além de permitir a formalização de padrões de qualidade intrinsecamente tácitos.

**Palavras-chave:** Lógica Fuzzy; Qualidade Cervejeira; Sistema de apoio à decisão.

#### ABSTRACT:

The present article aims to propose a decision support system based on fuzzy logic for the quality of the finished product of a microbrewery (pasteurized beer of the pilsen type), considering 07 different physical-chemical parameters. In theoretical terms, the model is based on the technical and scientific literature on fuzzy logic. Empirically, the study offers the application of the proposed model considering 80 samples of finished products (May-October 2016) of a Brazilian microbrewery. As a result, it can be seen that the proposed system was contributory to the automation of brewing quality inspection practices, besides allowing the formalization of intrinsically tacit quality standards.

**Keywords:** Fuzzy Logic; Quality Brewery; Decision Support System

## 1. Considerações iniciais

Segundo o relatório global de consumo de cerveja por países de 2014, gerado pela Kirin Beer University (2015a), o Brasil é terceiro maior consumidor do mundo, em um mercado que comercializa 13.146 milhões de litros, segundo dados de 2014. A China é o país que mais consome cerveja (44.853 milhões de litros), e em segundo os Estados Unidos com um consumo total de 24.172 milhões de litros no ano de 2014.

Em relação ao consumo de cerveja no Brasil, segundo o SINDICERV – Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (2016), a cerveja tipo *pilsen* representa a preferida dos brasileiros. No Brasil, o consumo da *pilsen* é 98% do total, seguido pela comercialização das cervejas do tipo *bock*, *light*, *malzbier* e *stout*.

Quanto à produção, os valores são levemente distintos do consumo, em razão da formação de estoques. De acordo com Kirin Beer University (2015b), o Brasil é terceiro maior produtor do planeta, sendo superado, respectivamente, pelos Estados Unidos e pela China – a maior. A produção total de cerveja no ano de 2014 da China, Estados Unidos e Brasil foram, respectivamente, 44.933,3; 22.547,4; e 14.137 milhões de litros.

Fato relevante a se destacar é o expressivo aumento da produção de cerveja no Brasil, especialmente a partir da primeira década dos anos 2000, quando foi percebido um aumento de 64%, saltando de 8,2 bilhões para 13,4 bilhões de litros anuais, segundo dados do Sistema de Controle de Produção de Bebidas da Receita Federal (SICOBEBE/ RFB, 2016). A Tabela 01 ilustra a produção de cerveja mensal no Brasil, do ano de 2011 até 19 de julho de 2016.

Tabela 01 – Produção mensal de cerveja no Brasil

MÊS	CERVEJAS (litros)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016

<b>Janeiro</b>	1.188.599.896	1.164.256.108	1.326.014.858	1.294.348.457	1.302.576.249	1.294.134.811
<b>Fevereiro</b>	1.090.053.114	1.101.319.466	1.072.343.929	1.231.795.174	1.159.547.135	1.129.681.117
<b>Março</b>	1.068.045.066	1.113.327.213	967.398.213	1.197.182.464	1.118.056.127	918.728.355
<b>Abril</b>	962.881.032	987.500.126	912.981.841	1.056.314.238	921.240.500	1.020.810.829
<b>Mai</b>	997.678.034	1.024.499.098	960.388.087	1.117.099.639	999.745.101	1.006.140.573
<b>Junho</b>	850.544.129	949.727.117	987.626.986	1.049.587.172	975.912.510	966.507.696
<b>Julho</b>	967.655.587	1.001.804.166	1.026.963.650	1.056.138.444	984.252.459	962.782.648
<b>Agosto</b>	1.060.025.925	1.123.765.927	1.064.620.833	1.039.776.462	1.097.740.637	1.089.416.323
<b>Setembro</b>	1.138.271.527	1.167.635.043	1.130.607.395	1.058.808.542	1.206.685.397	1.207.058.760
<b>Outubro</b>	1.244.746.064	1.319.323.584	1.256.796.027	1.230.874.061	1.282.146.883	1.254.442.087
<b>Novembro</b>	1.277.884.170	1.332.322.941	1.282.599.761	1.309.608.627	1.325.684.787	-
<b>Dezembro</b>	1.432.332.697	1.457.503.943	1.481.553.970	1.495.516.578	1.483.929.922	-
<b>Total</b>	<b>13.278.717.241</b>	<b>13.742.984.732</b>	<b>13.469.895.550</b>	<b>14.137.049.858</b>	<b>13.857.517.707</b>	<b>10.851.243.834</b>

Fonte: SICOBE/ RFB (2016). Disponível em: [http://gerencialpublico.cmb.gov.br/PROD\\_BEBIDAS\\_MENSAL.html](http://gerencialpublico.cmb.gov.br/PROD_BEBIDAS_MENSAL.html). Acesso em: 01/11/2016.

Em particular, o Brasil tem experimentado, de acordo com o BNDES (2014), um aumento do número de microcervejarias, sendo atualmente em torno de 200, sendo a maior parte concentrada nas regiões Sul e Sudeste. Apesar dessa concentração nessas regiões, o relatório aponta para, um gradativo incremento da atividade cervejeira nas demais regiões do país, especialmente no nordeste brasileiro.

Apesar de o Brasil figurar entre os principais países produtores e ter a maior companhia de bebidas do mundo, além de um número crescente de novas microcervejarias, Hoffmann e Araujo (2016) evidenciam que as publicações técnicas e, sobretudo científicas, acerca de atributos de qualidade na indústria cervejeira são escassas na literatura em língua portuguesa. Além disso, o número de periódicos referentes à classificação da qualidade da cerveja é restrito.

Sobre a qualidade da cerveja, a literatura comumente apresenta 12 parâmetros físico-químicos que devem ser considerados para aferição e confiabilidade do produto (Debska e Guzowska-Swider, 2011a; Debska e Guzowska-Swider, 2011b; Hoffmann e Araujo, 2016). Por outro lado, é importante reconhecer que a literatura internacional sobre a temática focaliza nas grandes produtoras, não observando particularidades e eventuais restrições percebidas por microcervejarias.

Nesse sentido, o presente estudo visa a oferecer uma contribuição na inspeção do produto final por meio da proposição de um modelo de apoio à decisão sobre a qualidade cervejeira em microcervejarias que considere os parâmetros específicos de cada produto (diferentes tipos de cerveja possuem distintas especificações de qualidade).

Para a proposição teórica do modelo, dadas as incertezas provenientes da combinação de análises físico-químicas com análises sensoriais, entende-se como possível a reflexão sobre um modelo de apoio à decisão baseado em lógica fuzzy.

No que concerne à possibilidade de aplicação do modelo teórico proposto, em particular, o estudo investiga o produto final (cerveja tipo pilsen pasteurizada) de uma microcervejaria brasileira. Sobre essa microcervejaria, é relevante observar que a aferição da qualidade é realizada através de análises físico-químicas do técnico responsável pelo setor de qualidade, além da análise sensorial realizada pelo mestre cervejeiro. O referido técnico da qualidade realiza de maneira tácita a análise da qualidade, de modo que são incorporados graus de incerteza sobre a decisão da qualidade cervejeira.

Espera-se que o modelo fuzzy proposto seja capaz de avaliar a cerveja tipo pilsen da mesma maneira que um especialista, quando expostos a condições similares. Além disso, o estudo tem o objetivo de possibilitar, a partir do modelo fuzzy, a interpretação dos limites aceitáveis para cada parâmetro e integração dos diferentes parâmetros envolvidos na avaliação da qualidade cervejeira, gerando uma classificação final da qualidade da cerveja tipo pilsen. Finalmente, almeja-se, por meio do sistema fuzzy, ampliar as reflexões sobre a qualidade cervejeira para além do conforme e não conforme, utilizado nos métodos convencionais, permitindo que uma amostra pertença, simultaneamente, a dois conjuntos com distintos graus de pertinência.

Em termos metodológicos, aplica-se o modelo teórico proposto em uma microcervejaria. Para fins de análise, foram considerados 07 parâmetros físico-químicos da cerveja pasteurizada (produto final) do tipo pilsen, sendo investigadas séries históricas referentes a seis meses de produção (maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro de 2016). Adicionalmente, ao longo do período, foram realizadas observações *in loco* e entrevistas com técnico do setor de qualidade, gerente industrial e mestre cervejeiro.

No que concerne à estrutura, para além da primeira seção de caráter introdutório, o artigo está subdividido em mais quatro seções, a saber: a segunda contempla uma breve revisão da literatura sobre os principais conceitos da lógica fuzzy, além da classificação e qualidade da cerveja. Na seção 3 é proposto um modelo teórico de apoio à decisão, utilizando a lógica fuzzy, para a aferição da qualidade da cerveja tipo *pilsen* pasteurizada. Na quarta seção estão apresentados e discutidos os resultados provenientes da aplicação do modelo em uma microcervejaria brasileira. Na quinta e última seção são tecidas as conclusões e

## 2. Revisão da literatura

### 2.1. Lógica Fuzzy

Segundo Lin e Lee (1996), as técnicas de lógica fuzzy têm diversas aplicações, em áreas como: controle, sendo a área mais amplamente aplicada; o reconhecimento de padrões; análise quantitativa; inferência, por exemplo, sistema de planejamento e previsão; processamento de linguagem natural; robôs inteligentes; e engenharia de software.

Para Castillo e Melin (2008), os sistemas baseados em lógica fuzzy têm sido aplicados com sucesso a problemas de decisão, controle, diagnóstico e classificação, dado que os sistemas são capazes de gerenciar o raciocínio complexo intrínseco a essas áreas de aplicação. Segundo Alves (2015), o sistema de inferência fuzzy é uma ferramenta que tem sido explorada e tem auxiliado diversas áreas do conhecimento, principalmente associado à tomada de decisão.

De acordo com Campos Filho (2004), a lógica fuzzy é utilizada no apoio à decisão, dado que é uma ferramenta que contém o princípio da dualidade. Ou seja, um elemento pode pertencer a um conjunto com certo grau e, concomitantemente, a outro conjunto com outro grau.

Segundo Ross (2010), a incerteza em um problema representa um aspecto importante, que os engenheiros devem ponderar antes da seleção de um método adequado para expressar a incerteza. E os conjuntos fuzzy fornecem uma maneira matemática para representar incerteza e imprecisão nos sistemas humanistas.

Para Lin e Lee (1996), os benefícios do sistema de inferência fuzzy incluem maior generalidade, maior poder expressivo, maior capacidade para modelar problemas do mundo real, e, por fim, uma metodologia para explorar a tolerância para imprecisão. Adicionalmente, a lógica fuzzy pode ajudar a conseguir rastreabilidade, robustez e menor custo de solução.

De acordo com Silva (2005), ao contrário da lógica booleana que admite valores binários, a lógica fuzzy considera que um elemento pode pertencer a um ou mais conjuntos fuzzy com determinados graus de pertinência.

Lin e Lee (1996) e Ross (2010) definem alguns conceitos importantes para o entendimento dos conjuntos fuzzy, a saber:

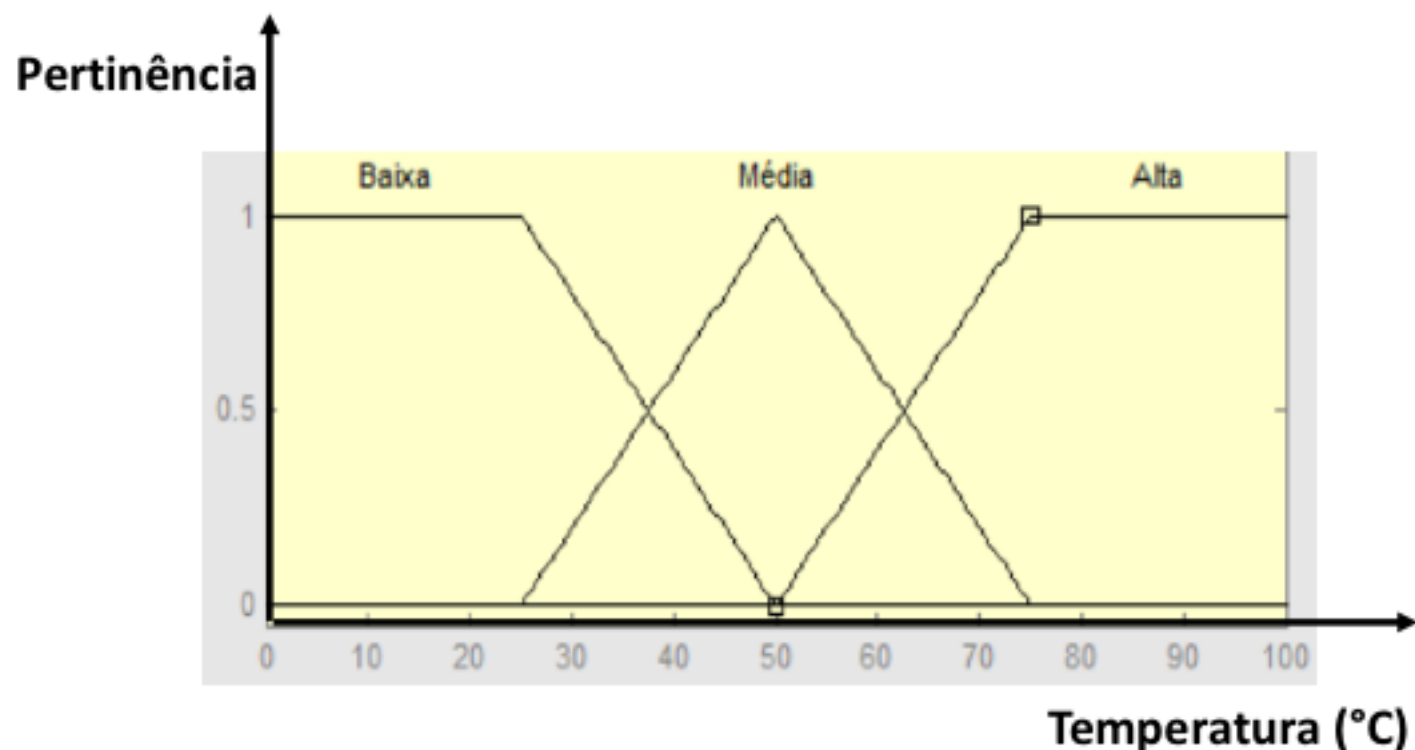
- Um *conjunto* fuzzy A em um universo X é definido por uma função de pertinência  $\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$ , e representado por um conjunto de pares ordenados (equação 1).

$$A = \{ \mu_A(x) / x \} \quad x \in X \quad (1)$$

onde  $\mu_A(x)$  indica o quanto x é compatível com o conjunto A, ou seja, o grau de pertinência de x em relação ao conjunto A. Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto fuzzy, com diferentes graus de pertinência;

- O conjunto suporte de um conjunto fuzzy A é o conjunto de elementos no universo X para os quais  $\mu_A(x) > 0$ ;
- Uma variável linguística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy. Por exemplo, a temperatura de um tanque industrial pode ser uma variável linguística assumindo valores baixa, média e alta. Estes valores são descritos por meio de conjuntos fuzzy, representados por funções de pertinência, conforme ilustra a Figura 01.

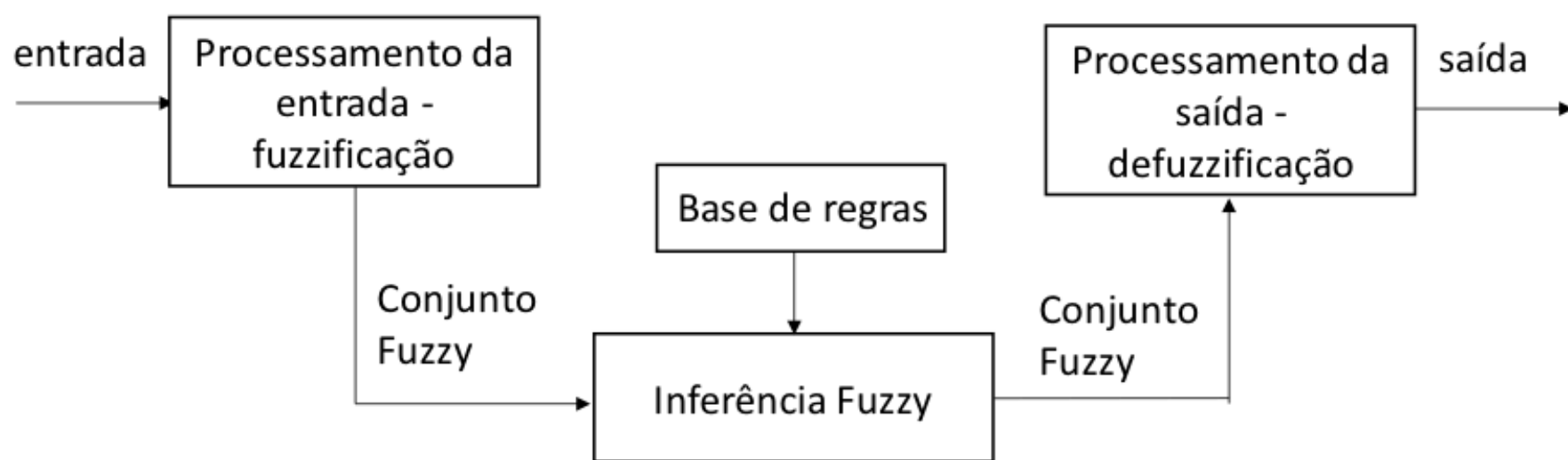
Figura 01 – Funções de pertinência para a variável linguística temperatura



- As funções de pertinência podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. Depreende-se da análise da Figura 01 funções de pertinências trapezoidais (baixa e alta) e triangular (média).

Para melhor compreensão do funcionamento do sistema de inferência fuzzy, a Figura 02 ilustra um sistema composto por quatro componentes: processamento da entrada (fuzzificação); a base de regras; a inferência fuzzy, e; o processamento de saída (defuzzificação).

Figura 02 – Sistema de inferência fuzzy



Fonte: Adaptado de Jafelice et al. (2004)

Em relação à Figura 02, o processamento da entrada ou a fuzzificação consiste em agregar incerteza realista a conjuntos clássicos. Nessa etapa os conjuntos ordinários (*crisp sets*) são transformados em conjuntos fuzzy, essa transformação é realizada por meio da associação das funções de pertinência com os elementos originais (valores numéricos).

A base de regras fuzzy é composta por um conjunto de várias regras fuzzy. Toda regra tem um antecedente e um conseqüente, e são do tipo "se - então". As bases de regras estão diretamente relacionadas ao problema em si a ser modelado.

A inferência fuzzy é a etapa de combinação dos graus de pertinência por meio de uma base de regras previamente definidas.

Na etapa de processamento da saída ou defuzzificação o conjunto fuzzy é transformado em um elemento do universo de discurso (geralmente, números reais), ou seja, é o processo inverso da fuzzificação.

Segundo Tanscheit et al. (2007), existem diversas técnicas utilizadas para a defuzzificação, sendo que a mais usual é a do centróide. A título de exemplificação, outros métodos utilizados no processo de defuzzificação são: bissetor; média dos máximos; menor dos máximos; e maior dos máximos.

Observa-se por meio da literatura técnico-científica que são diversas as aplicações dos sistemas de inferência fuzzy. Para título de exemplificação, no estudo realizado por Sellitto (2002) foi desenvolvido um sistema, utilizando duas técnicas o raciocínio baseado em casos (CBR) e a lógica fuzzy, para apoiar a tomada de decisão em um processo termoquímico na indústria cimenteira. A pesquisa do referido autor sugere que o CBR e a lógica fuzzy podem ser empregados em sistemas de controle multivariável de processos na indústria de processo contínuo, com resultados satisfatórios.

Adicionalmente, Sellitto (2002) recomenda conhecer as técnicas CBR e a lógica fuzzy, o caso estudado apresentado em seu estudo, além de outras investigações sobre processos de decisão que envolvam ambigüidades, incertezas e variabilidades.

Outro estudo da lógica fuzzy foi desenvolvido por Perreira et al. (2012) para a avaliação da qualidade da água. A proposta da pesquisa era criar um Índice de Qualidade da Água (IQA) baseado na lógica fuzzy. Vale ressaltar que os IQA's são operadores matemáticos que processam um conjunto de indicadores analíticos, produzindo um resultado numérico indexado, capaz de expressar a qualidade da água. O IQA mais difundido e aceito mundialmente é o proposto pela National Sanitation Foundation (NSF).

Enquanto o modelo de avaliação convencional classifica os resultados obtidos como pertencentes a uma única categoria da qualidade da água, o modelo fuzzy proposto por Perreira et al. (2012) permite o enquadramento de um mesmo resultado em mais de uma categoria da classificação da água, simultaneamente. Ou seja, amplia a visão dos métodos tradicionais de produto conforme ou não conforme, possibilitando que um produto pertence a dois grupos com determinados graus de pertinência.

Por fim, o estudo de Perreira et al. (2012) conclui que a lógica fuzzy é adequada para a elaboração do Índice de Qualidade de Água (IQA).

Vale ressaltar outra aplicação da lógica fuzzy utilizada no estudo de Restrepo et al. (2016), em que foi desenvolvido um modelo fuzzy para quantificar a internacionalização das Pequenas e Médias Empresas (PME's), integrando variáveis linguísticas como o recurso humano, infraestrutura, estratégias de inovação, estratégia de marketing e finanças, entre outros. O intuito do referido modelo é a criação de um índice global de avaliação da capacidade de exportação das empresas. Foram utilizadas 157 variáveis linguísticas, sugeridas por empresários, especialistas, consultores e pesquisadores em comércio.

Restrepo et al. (2016) aplicaram o modelo fuzzy desenvolvido na indústria têxtil Medellín/ Colombia. Como resultado da implementação do modelo obteve-se um índice global de 28,2 para internacionalização. O modelo reflete fraquezas, da empresa estudada, em P&D, logística, finanças e marketing. E como pontos fortes: produção, gestão ambiental, sistemas de informação e recurso humano.

O modelo proposto por Restrepo et al. (2016) permite identificar quais os aspectos que devem ser melhorados e onde devem ser tomadas medidas administrativas para melhorar a capacidade de exportação.

As supracitadas aplicações da lógica fuzzy ilustram alguns dos estudos contemplados na literatura técnico-científica sobre as possibilidades do uso dos sistemas de inferência fuzzy em diferentes áreas e distintas formas, seja na classificação da qualidade, como apoio a decisão em processos termoquímicos, ou ainda na avaliação da capacidade de exportação de PME's.

## 2.2. Classificação da cerveja

O SINDICERV (2016) estima que existam mais de 20 mil tipos de cervejas no mundo. Pequenas mudanças no processo de fabricação, como diferentes tempos e temperaturas de cozimento, fermentação e maturação, e o uso de outros ingredientes, além dos quatro básicos - água, lúpulo, cevada e malte - são responsáveis por uma variedade muito grande de tipos de cerveja.

Segundo o SINDICERV (2016), as cervejas são classificadas de acordo com cinco parâmetros: fermentação, extrato primitivo, cor, teor alcoólico e teor de extrato (final). De acordo com o Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009, as cervejas são classificadas em alguns tipos e têm determinadas características. Especificamente, o Quadro 01 consolida a classificação da cerveja de acordo com a fermentação.

Quadro 01 - Classificação da cerveja de acordo com a fermentação

Atributo	Tipo	Características
Fermentação	Baixa	Expostas a temperaturas entre 9°C e 14°C, o levedo fica depositado no fundo do tanque.
	Alta	As leveduras flutuam, durante o processo, em temperatura de 20°C a 25°C, após fermentar o mosto, gerando um produto de cor cobre-avermelhada, de sabor forte, ligeiramente ácido e com teor alcoólico entre 4% e 8%

Fonte: Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009.

Segundo SINDICERV (2016), no século XX, iniciou-se a produção de larga escala das cervejas de baixa fermentação, conhecidas como large. E os tipos mais conhecidos de lager são as *Pilsener, Munchener, Vienna, Dortmund, Einbeck, Bock, Export e Munich* - a maioria delas um tributo às cidades de origem das receitas

Ainda de acordo com SINDICERV (2016), a cerveja do tipo Pilsener foi criada em Pils, na Tchecoslováquia, em 1842, e é a mais conhecida e consumida no mundo. De sabor delicado, leve, clara e de baixo teor alcoólico (entre 3% e 5%).

Outra característica utilizada para classificar a cerveja é o extrato primitivo que representa o extrato do mosto de malte utilizado para a fabricação da cerveja. No Quadro 02 a cerveja é classificada em relação ao extrato primitivo.

Quadro 02 - Classificação da cerveja de acordo com o extrato primitivo

Atributo	Tipo	Características
Extrato primitivo	Cerveja leve	Igual ou superior a 5% e inferior a 10,5%, em peso
	Cerveja comum	Igual ou superior a 10,5%, e inferior a 12,5%, em peso.
	Cerveja extra	Igual ou superior a 12,5% e inferior a 14%, em peso.
	Cerveja forte	Igual ou superior a 14%, em peso.

Fonte: Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009.

As cervejas podem ser classificadas como cerveja clara, escura e colorida, quando analisada a sua cor (Quadro 03). A cor da cerveja deve ser proveniente dos corantes do malte da cevada, onde se pode fazer o uso também de outros corantes naturais, se estiverem de acordo com a legislação; e na cerveja escura é permitido o uso de corante natural caramelo (Decreto Nº 6.871/2009). A cor da cerveja está associada ao seu tipo.

Quadro 03 - Classificação da cerveja de acordo com a cor

Atributo	Tipo	Características
Cor	Cerveja clara	Cor correspondente a menos de vinte unidades de European Brewery Convention (EBC).
	Cerveja escura	Cor correspondente a vinte ou mais unidades EBC.
	Cerveja colorida	A que, pela ação de corantes naturais, apresentar coloração diferente das definidas no padrão EBC

Fonte: Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009.

Em relação ao teor alcoólico, as cervejas podem ser classificadas como sem e com álcool, como ilustra o Quadro 04. Vale ressaltar que, nas cervejas com álcool o teor alcoólico varia de acordo com o estilo de cerveja a ser produzido.

Quadro 04 - Classificação da cerveja de acordo com o teor alcoólico

Atributo	Tipo	Características

Teor alcoólico	Cerveja sem álcool	Menor que 0,5% em volume, não sendo obrigatória a declaração no rótulo do conteúdo alcoólico.
	Cerveja com álcool	Igual ou superior a 0,5% em volume, devendo obrigatoriamente constar no rótulo o percentual de álcool em volume.

Fonte: Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009.

Por fim, classifica-se a cerveja de acordo com a proporção de malte de cevada (Quadro 05). A proporção de malte utilizada dependerá do tipo de cerveja a produzir.

Quadro 05 - Classificação da cerveja de acordo com a proporção de malte de cevada

Atributo	Tipo	Características
Proporção de malte de cevada	Cerveja puro malte	100% de malte de cevada, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares.
	Cerveja	Maior ou igual a 50%, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares
	Cerveja com o nome do vegetal predominante	Maior do que 20 e menor do que 50%, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares

Fonte: Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009.

### 2.2.1. Qualidade cervejeira

Debska e Guzowska-Swider (2011a) afirmam que na indústria de alimentos é extremamente importante realizar o controle de qualidade desde a aquisição de matérias-primas agrícolas e o monitoramento da sua qualidade durante o armazenamento, passando pelos processos de produção, até chegar ao produto final. Ou seja, em todas as fases do processo de produção.

Segundo Debska e Guzowska-Swider (2011b), a produção de alimentos é um processo complexo, descrito por um grande número de parâmetros. E para se obter um produto com as propriedades desejadas, é necessário manter os parâmetros dentro dos limites estabelecidos pelas normas e regulamentos. De acordo com os autores, existem tentativas de automatizar a supervisão dos parâmetros e avaliação.

Para Bohatch (1994), uma boa cerveja deve ter alguns atributos, como: limpidez, podendo tolerar uma ligeira turvação; cor e sabor agradáveis; entornada em um copo, deve formar na superfície uma espuma volumosa e persistente; o peso específico deve variar de 1,01 a 1,03; o extrato deve variar de 2 a 10% em peso; acidez de 0,1 a 0,3% expresso em ácido láctico, o gás carbônico variar de 0,3 a 0,6%, a glicerina 0,1 a 0,3%, maltose de 0,5 a 3%, dextrina de 2 a 4% e nitrogênio de 0,05 a 0,1% em peso e pH na faixa de 4,0.

De acordo com Hoffmann e Araujo (2016), observam-se na literatura 12 distintos atributos para aferição de parâmetros de qualidade na cerveja, a saber: % álcool, cor, extrato aparente, extrato real, extrato base, amargor, clareza, acidez, fermentação aparente, fermentação real, pH e CO<sub>2</sub>.

Para o Conselho Regional de Química IV Região (SP) (CRQ-SP, 2010), as principais análises físico-químicas da qualidade da cerveja pasteurizada estão consolidadas no Quadro 06.

Quadro 06 – Parâmetros físico-químicos da cerveja pasteurizada

Ph	Amargor
Cor	Diacetil
Turbidez	Degustação Final (temperatura ambiente)
Extrato (primitivo/ extrato final)	Tubidez
O <sub>2</sub> dissolvido	Álcoois superiores
CO <sub>2</sub>	Aldeídos
Espaço vazio	Cetonas



Em especial, com a finalidade de cotejar o modelo proposto no presente trabalho com as particularidades da microcervejaria estudada, para o presente estudo, adotam-se 7 parâmetros físico-químicos para a aferição da qualidade da cerveja, a saber: CO<sub>2</sub>, pH, mosto básico, teor alcoólico, turbidez, espuma e dicetonas vicenais.

No que concerne à medição dos valores dos atributos de qualidade, observam-se distintas maneiras na literatura. Para fins de exemplificação, no estudo de Debska e Guzowska-Swider (2011b), a concentração de álcool, extrato original, aparente e real foram determinados por destilação. A cor da cerveja foi avaliada por um método de colorimetria; a clareza foi obtida por meio de método visual; e o amargor através de análise sensorial. Os graus de fermentação real e aparente foram calculados utilizando valores adequados de extrato e percentagem de álcool. Determinou-se a concentração de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e a acidez pelo método de titulação. E por fim, o pH por potenciometria.

### 3. Proposição do modelo fuzzy de apoio à decisão sobre a inspeção da qualidade cervejeira

Conforme evidenciado na introdução, o presente estudo tem o intuito de desenvolver um modelo de apoio à decisão em incerteza, utilizando lógica fuzzy, visando à avaliação/ classificação da qualidade da cerveja tipo *pilsen*, considerando as variações nas distintas faixas de especificações de 07 parâmetros físico-químicos (variáveis linguísticas de entrada) fornecidos pela empresa estudada.

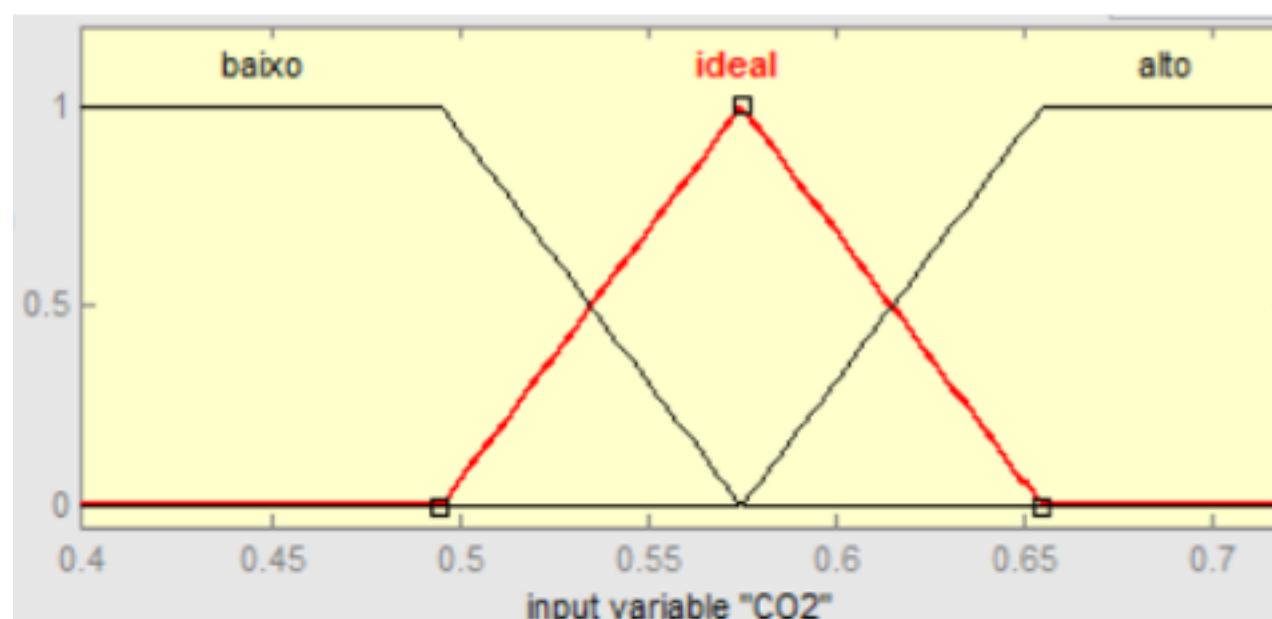
Para a proposição dos conjuntos fuzzy, das variáveis linguísticas, das funções de pertinência e a base de regras fuzzy, foram realizadas entrevistas com o responsável técnico do setor de qualidade, com o mestre cervejeiro e o gerente industrial de uma microcervejaria brasileira.

Para o desenvolvimento do sistema de inferência fuzzy da qualidade cervejeira foi utilizado o ToolBox, do software Matlab, versão R2010a.

As variáveis linguísticas de entrada utilizadas foram CO<sub>2</sub>, pH, mosto básico, teor alcoólico, turbidez, espuma e dicetonas vicenais. As referidas variáveis linguísticas e suas respectivas funções de pertinência, propostas com base nos parâmetros e especificações fornecidos pela microcervejaria, estão ilustrados e comentados nas Figuras 03 a 09.

Segundo o responsável técnico de qualidade da microcervejaria estudada, o CO<sub>2</sub> é responsável pela conservação da cerveja, se o nível de CO<sub>2</sub> for baixo a cerveja sofre redução na produção de espuma ("fica choca"). E se for acima de 0,62 mg/L representa um risco de a garrafa estourar. O intervalo considerado como ideal pela cervejaria estudada é 0,55 a 0,6 mg/L (Figura 03).

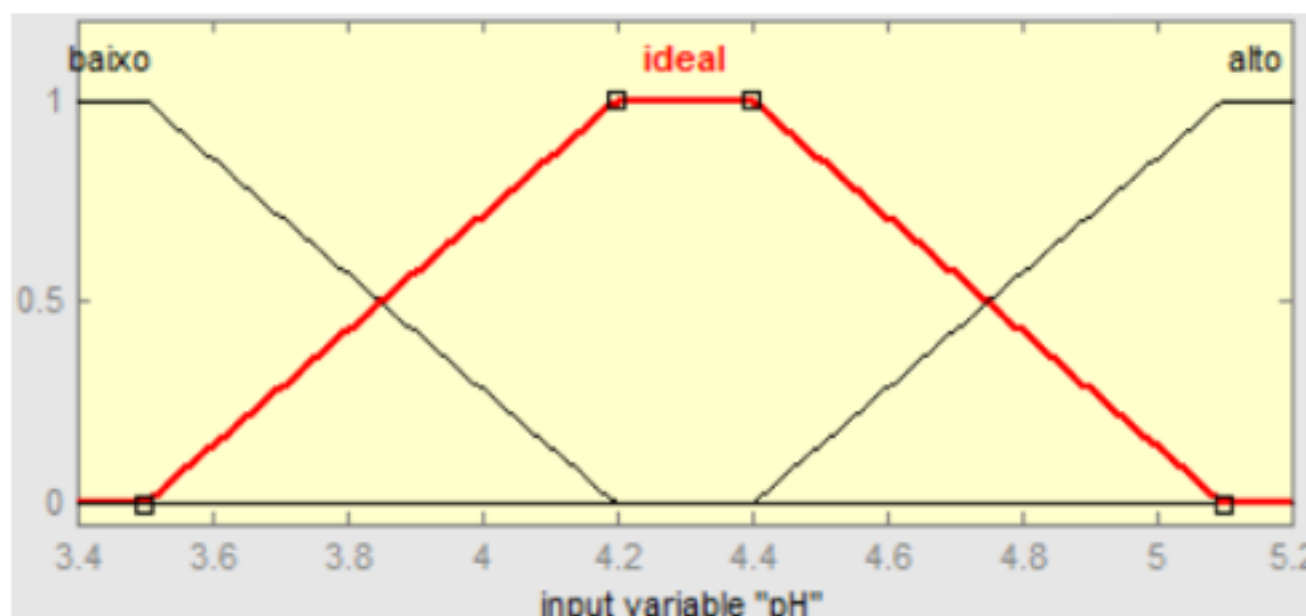
Figura 03 – Funções de pertinência da variável linguística CO<sub>2</sub> (mg/L)



Segundo as especificações fornecidas pela cervejaria estudada, o intervalo aceitável de pH é 4 a 4,6, sendo os valores entre 4,2 e 4,4 os melhores, conforme ilustra a Figura 04.

De acordo com Araújo et al. (2003), a cerveja do tipo *pilsen* é uma bebida com características de sabor suave, pH em torno de 4,3, clara e límpida.

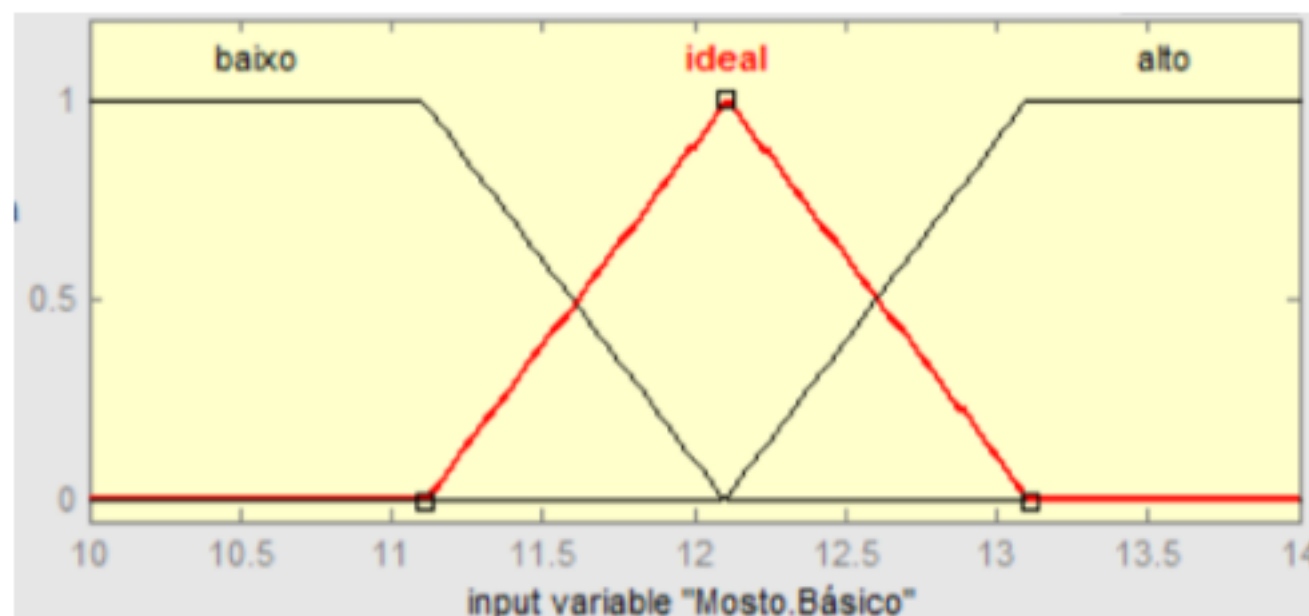
Figura 04 – Funções de pertinência da variável linguística pH



O mosto básico refere-se à extração das enzimas do mosto. O intervalo considerado como ideal para a cervejaria estudada é de 11,8 até 12,5°P (Figura 05). Caso seja encontrado um valor acima do considerado ideal, a cerveja continua dentro da qualidade,

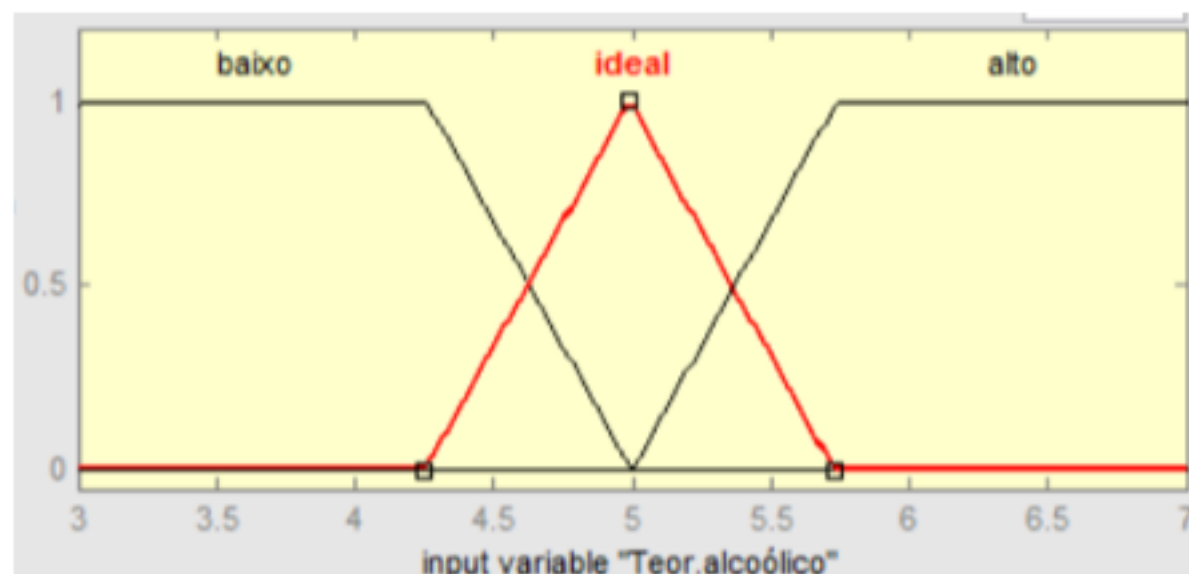
sendo aprovada com alterações. Vale ressaltar que o Grau Plato é a unidade de medida para cervejas.

Figura 05 – Funções de pertinência da variável linguística Mosto Básico (Grau Plato - °P)



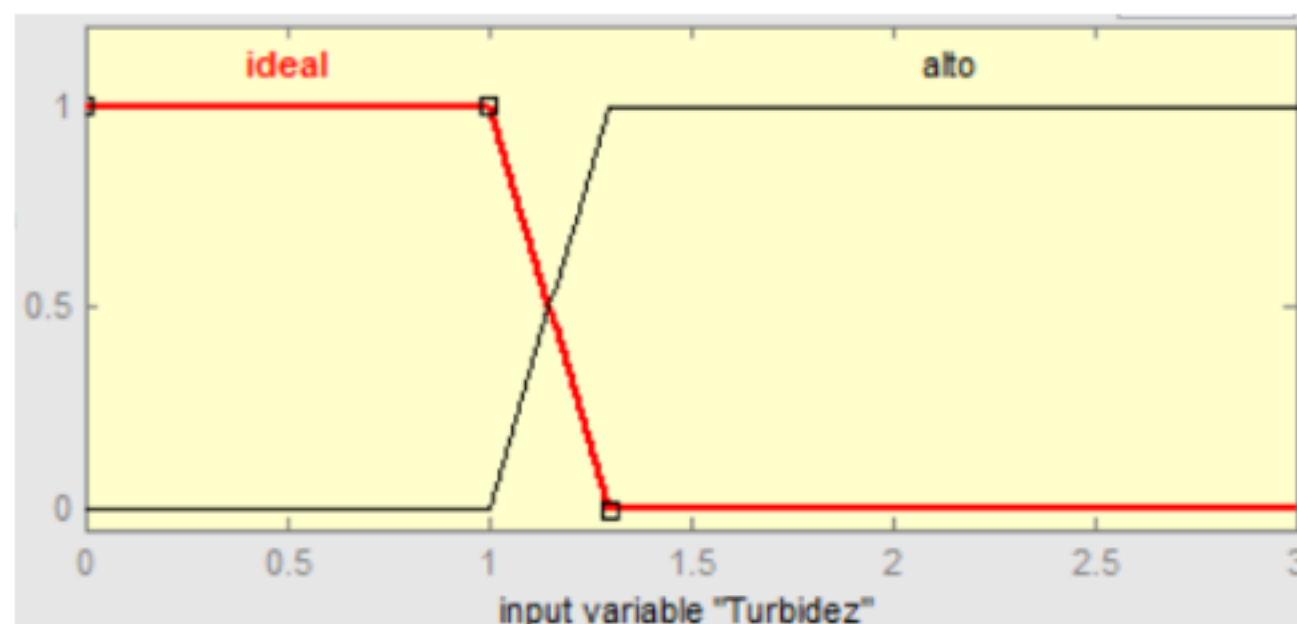
Para a cerveja tipo *pilsen* estudada, o teor alcoólico ideal é 5%, sendo os valores entre 4,8% e 5,2% considerados dentro do padrão de qualidade (Figura 06). E segundo o técnico responsável do setor de qualidade da microcervejaria estudada, a legislação permite +/- 0.5%, ou seja, para a cerveja 5% é permitido encontrar valores para o teor alcoólico entre 4,5% e 5,5%.

Figura 06 – Funções de pertinência da variável linguística Teor Alcoólico (% v/v)



Em relação à turbidez, os valores menores do que 1 EBC são considerados dentro da qualidade (Figura 07), caso contrário estão não conformes.

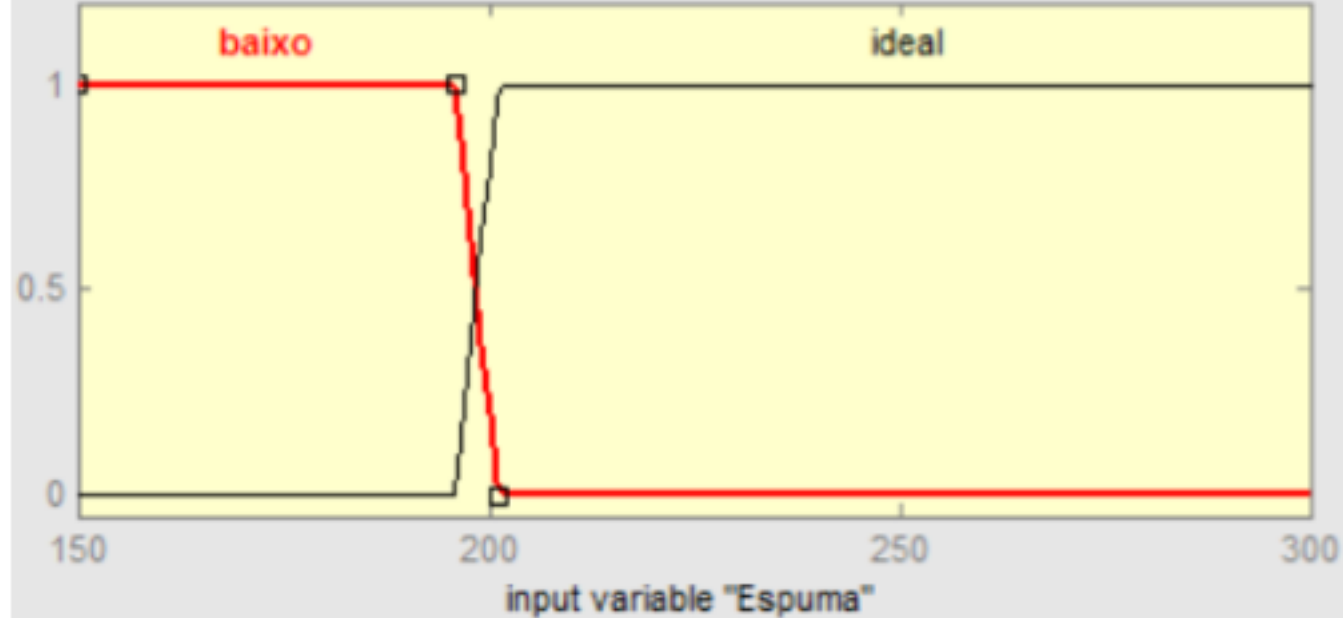
Figura 07 – Funções de pertinência da variável linguística Turbidez (EBC)



A qualidade da espuma é medida por meio do equipamento Niben, em que é calculado o tempo para a espuma decantar. Valores acima de 200 segundos são considerados ideais (Figura 08).

Figura 08 – Funções de pertinência da variável linguística Espuma (segundos)





As dicetonas vicenais identificam os álcoois indesejáveis, formados no processo de fermentação e que não foram consumidos pelas leveduras. Valores acima de 0,4 mg/L pode começar a ser perceptível no paladar, oferecendo um gosto amanteigado (Figura 09).

Figura 09 – Funções de pertinência da variável linguística Dicetonas Vicenais (mg/L)



A variável de saída do sistema de inferência fuzzy, denominada de qualidade cervejeira, é composta por três funções de pertinências, a saber: reprovado, aprovado com alterações e aprovado. A referida variável está ilustrada na Figura 10.

Figura 10 – Funções de pertinência da variável linguística de saída Qualidade cervejeira



Como ilustra a Figura 10, no intervalo entre 0,4 e 0,6 a função de pertinência aprovado com alterações tem uma pertinência maior do que as outras funções. Nesse caso, um ou mais valores de entrada se encontram perto dos limites inferior ou superior do ideal. Outra situação em que se encontra como saída do sistema o aprovado com alterações, é quando o valor do mosto básico (variável de entrada) se encontra acima do ideal (12,5°P). Adicionalmente, valores abaixo de 0,4 e acima de 0,6 representam, respectivamente, as variáveis linguísticas de saída reprovado e aprovado.

A base de regras fuzzy proposta para aferição da qualidade cervejeira da microcervejaria estudada é composta por 648 regras. Para elaboração das regras foram realizadas todas as combinações possíveis de cada função de pertinência de cada uma das sete variáveis linguísticas de entrada (foram utilizadas quatro variáveis linguísticas de entrada com três funções de pertinência cada, e três variáveis linguísticas com duas funções de pertinência cada. Portanto, o número de combinações/ regras é:  $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2 = 648$ ). Dado que, foram feitas todas as combinações possíveis, tem-se a certeza que sistema cobre todo o universo de discurso. A título de exemplo, dez regras estão consolidadas no Quadro 07.

Quadro 07– Exemplificação de regras da base de regras fuzzy do sistema de inferência fuzzy desenvolvido para a aferição da qualidade da cerveja pilsen de microcervejaria brasileira

Regras fuzzy	
1	If (CO2 is baixo) and (pH is baixo) and (Mosto.Básico is baixo) and (Teor.alcoólico is baixo) and (Turbidez is alto) and (Espuma is baixo) and (Dicetonas.Vicenais is alto) then (qualidade.cervejeira is

	reprovado)
2	If (CO2 is baixo) and (pH is baixo) and (Mosto.Básico is baixo) and (Teor.alcoólico is baixo) and (Turbidez is alto) and (Espuma is baixo) and (Dicetonas.Vicenais is ideal) then (qualidade.cervejeira is reprovado)
3	If (CO2 is baixo) and (pH is ideal) and (Mosto.Básico is baixo) and (Teor.alcoólico is ideal) and (Turbidez is alto) and (Espuma is ideal) and (Dicetonas.Vicenais is alto) then (qualidade.cervejeira is reprovado)
4	If (CO2 is baixo) and (pH is ideal) and (Mosto.Básico is alto) and (Teor.alcoólico is baixo) and (Turbidez is alto) and (Espuma is baixo) and (Dicetonas.Vicenais is ideal) then (qualidade.cervejeira is reprovado)
5	If (CO2 is baixo) and (pH is alto) and (Mosto.Básico is alto) and (Teor.alcoólico is ideal) and (Turbidez is ideal) and (Espuma is baixo) and (Dicetonas.Vicenais is alto) then (qualidade.cervejeira is reprovado)
6	If (CO2 is ideal) and (pH is baixo) and (Mosto.Básico is ideal) and (Teor.alcoólico is baixo) and (Turbidez is ideal) and (Espuma is baixo) and (Dicetonas.Vicenais is ideal) then (qualidade.cervejeira is reprovado)
7	If (CO2 is ideal) and (pH is ideal) and (Mosto.Básico is ideal) and (Teor.alcoólico is ideal) and (Turbidez is ideal) and (Espuma is ideal) and (Dicetonas.Vicenais is ideal) then (qualidade.cervejeira is aprovado)
8	If (CO2 is ideal) and (pH is ideal) and (Mosto.Básico is alto) and (Teor.alcoólico is ideal) and (Turbidez is ideal) and (Espuma is ideal) and (Dicetonas.Vicenais is ideal) then (qualidade.cervejeira is aprovado.com.alterações)
9	If (CO2 is ideal) and (pH is alto) and (Mosto.Básico is alto) and (Teor.alcoólico is baixo) and (Turbidez is ideal) and (Espuma is baixo) and (Dicetonas.Vicenais is ideal) then (qualidade.cervejeira is reprovado)
10	If (CO2 is alto) and (pH is ideal) and (Mosto.Básico is alto) and (Teor.alcoólico is ideal) and (Turbidez is alto) and (Espuma is baixo) and (Dicetonas.Vicenais is ideal) then (qualidade.cervejeira is reprovado)

Para homologar o sistema de inferência fuzzy proposto, em um primeiro momento, foram testados os limites inferior e superior da função de pertinência ideal de cada uma das sete variáveis de entrada. A título de ilustração, os testes das variáveis de entrada CO2 e pH estão consolidados na Tabela 02 e Tabela 03, respectivamente.

Tabela 02- Teste dos limites inferior e superior da função de pertinência ideal da variável de entrada CO2

Variáveis de entrada							Variável de saída		
CO2	pH	Mosto Básico	Teor Alcoólico	Turbidez	Espuma	Dicetonas Vicenais	Qualidade cervejeira	Significado da variável de saída	Observações (variações do CO2)
0.52	4.3	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,398</b>	<b>Reprovado</b>	CO2 abaixo do ideal
0.53	4.3	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,466</b>	<b>Aprovado com alterações</b>	Valor próximo do limite inferior dos valores ideais de CO2
0.54	4.3	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,534</b>	<b>Aprovado com alterações</b>	Valor próximo do limite inferior dos valores ideais de CO2
0.55	4.3	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,602</b>	<b>Aprovado</b>	0.55 é o limite inferior dos valores ideais de CO2
0.56	4.3	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,675</b>	<b>Aprovado</b>	Dentro dos valores ideais de CO2



0.575	4.5	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,702</b>	<b>Aprovado</b>	valores ideais de pH
0.575	4.6	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,618</b>	<b>Aprovado</b>	4.6 é o limite superior dos valores ideais de pH
0.575	4.7	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,539</b>	<b>Aprovado com alterações</b>	Valor próximo do limite superior dos valores ideais de pH
0.575	4.8	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,461</b>	<b>Aprovado com alterações</b>	Valor próximo do limite superior dos valores ideais de pH
0.575	4.9	12.1	5	0.8	210	0.3	<b>0,382</b>	<b>Reprovado</b>	pH acima do ideal

Nota-se por meio da Tabela 03 que todos os valores das variáveis de entrada estão dentro das especificações de qualidade e não foram alterados durante o teste, com exceção da variável de entrada pH que os valores de entrada variaram.

O mesmo procedimento, ilustrado nas Tabelas 02 e 03, foi realizado para todas as variáveis de entrada, e assim foi possível ajustar o sistema fuzzy de acordo com as especificações de qualidade da microcervejaria estudada.

#### 4. Aplicação do modelo proposto para decisões da qualidade da cerveja tipo pilsen em uma microcervejaria

Para fins de verificação empírica da eficácia do modelo teórico proposto para apoio à decisão sobre a qualidade da cerveja do tipo pilsen (produto pasteurizado) de uma microcervejaria, foram imputados dados das análises sobre 07 parâmetros físico-químicos, em 80 amostras do referido produto acabado, coletadas entre os meses de maio e outubro de 2016.

Para fins de ilustração, a Tabela 04 consolida alguns dos dados de entradas utilizados para a realização do referido teste e as suas respectivas saídas.

Tabela 04– Teste do sistema fuzzy com dados das análises físico-químicas da microcervejaria

Análises	Variáveis de entrada							Variável de saída	Significado da variável de saída
	CO2	pH	Mosto Básico	Teor Alcoólico	Turbidez	Espuma	Dicetonas Vicenais	Qualidade cervejeira	
1	0.57	4.45	12.02	4.69	0.54	253	0.28	0,544	<b>Aprovado com alterações</b>
2	0.56	4.45	12.04	4.7	0.5	244	0.29	0,551	<b>Aprovado com alterações</b>
3	0.57	4.42	12.36	5.03	0.41	258	0.31	0,708	<b>Aprovado</b>
4	0.57	4.43	12.23	4.97	0.43	259	0.31	0,738	<b>Aprovado</b>
5	0.58	4.42	12.30	5	0.4	261	0.29	0,722	<b>Aprovado</b>
6	0.57	4.41	12.11	4.91	0.4	263	0.30	0,716	<b>Aprovado</b>
7	0.57	4.41	12.24	4.98	0.47	262	0.28	0,736	<b>Aprovado</b>
8	0.56	4.41	12.34	5.02	0.41	254	0.29	0,66	<b>Aprovado</b>
9	0.61	4.46	12.09	4.9	0.42	266	0.27	0,534	<b>Aprovado com alterações</b>





	0.57	4.45	12.02	4.69	0.54	253	0.28	0,544	<b>alterações</b>
34	0.56	4.45	12.04	4.7	0.5	244	0.29	0,551	<b>Aprovado com alterações</b>
35	0.57	4.42	12.36	5.03	0.41	258	0.31	0,708	<b>Aprovado</b>

Após a incorporação dos dados provenientes das análises físico-químicas, observou-se que o comportamento do sistema fuzzy oferece respostas precisas e automatizadas, provenientes da interação de 07 distintos parâmetros da qualidade da cerveja.

Os resultados provenientes do sistema de inferência fuzzy foram análogos aos testes realizados pela prática do mestre cervejeiro (ainda muito apoiada pela prática sensorial). Nesse sentido, o sistema cumpre o que era esperado ao apoiar a decisão da empresa, automatizando e padronizando as práticas de garantia e controle da qualidade cervejeira.

O sistema de inferência fuzzy permite ainda a formalização de padrões de qualidade intrinsecamente tácitos, conferindo maior profissionalismo e transparência sobre os parâmetros de cada lote de produto final.

Por fim, o sistema possibilita ainda a reflexão mais ampla sobre quais parâmetros que precisam ser ajustados quando a qualidade cervejeira apresenta o status de "aprovado com alterações" (variável de saída).

## 5. Conclusões e sugestões de novos estudos

A pesquisa teve como objetivo elaborar uma forma de aprimorar a prática de controle de qualidade da cerveja pasteurizada tipo *pilsen* em uma microcervejaria brasileira. A proposta do estudo consistiu no desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão, com base na lógica fuzzy.

Pode-se concluir, por meio da pesquisa realizada, que é possível utilizar a lógica fuzzy como sistema complementar de apoio à decisão para o controle da qualidade cervejeira. Embora se reconheçam os ganhos provenientes da automação da decisão, o sistema de inferência fuzzy criado deve ser utilizado em conjunto com as análises físico-químicas e sensorial, que continuam sendo relevantes.

Como delimitações, cumpre observar que o sistema de inferência fuzzy proposto no presente estudo limita-se à análise da qualidade da cerveja tipo *pilsen*, e aos parâmetros e especificações de qualidade, adotados pela microcervejaria estudada. Vale, porém, ressaltar que o referido sistema é flexível, ou seja, é possível que sejam realizadas adaptações para outros tipos de cervejas, e para outros parâmetros e especificações de acordo com as exigências de cada cervejaria.

Sugere-se como novos estudos a adaptação dos parâmetros e regras fuzzy do modelo para outros tipos de cerveja, além da mesma sugestão para a cerveja *pilsen* proveniente de outros produtores.

Cumpre destacar ainda a possibilidade de flexibilização das variáveis linguísticas e regras fuzzy, a depender do tipo de cerveja e as especificações da cervejaria.

Observa-se ainda a capacidade de o estudo poder ser aplicado em microcervejarias que enfrentam desafios similares em termos de garantia e controle de qualidade, o que é relevante tanto sob o prisma do negócio, quanto para atribuição de maior percepção de valor e confiança para os consumidores.

Adicionalmente, como sugestão adicional, a dilatação do escopo do estudo também para produtos em processo e não somente para produtos finais.

## Referências

- ALVES, Laura Beatriz. (2015). *Técnica de identificação de adulteração no leite via ultrassom e regras fuzzy*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Campinas: UNICAMP.
- ARAÚJO, F. B.; SILVA, P. H. A.; MINIM, V. P. R. (2003). Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. *Ciência e Tecnologia do Alimento*, v. 23, n. 2, Campinas.
- BOHATCH, A. (1994). *Cerveja: Fabricação em pequena escala*. Curitiba: Núcleo de produção gráfica da Emater, pp. 3, 9-17, 19-31.
- BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. O setor de bebidas no Brasil. (2014). Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%20O%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%20O%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf)>. Acesso em 29 de agosto de 2016.
- BRASIL. Casa Civil. Decreto Nº 6.871, de 4 de julho de 2009: "Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas". (2009). Brasília, DOU: Diário Oficial da União.
- CAMPOS FILHO, Pio. (2004). *Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica fuzzy*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC.
- CASTILLO, O.; MELIN, P. (2008). *Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Springer.
- CRQ- IV: Conselho Regional de Química IV Região (SP). A cerveja e seus segredos - Controle de qualidade de cervejas. Minicursos CRQ – IV. (2010). Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/sms/files/file/a\\_cerveja\\_e\\_seus\\_segredos\\_site.pdf](http://www.crq4.org.br/sms/files/file/a_cerveja_e_seus_segredos_site.pdf)>. Acesso em: 29 de agosto de 2016.
- DEBSKA, B.; GUZOWSKA-SWIDER, B.. (2011a) Application of artificial neural network in food classification. *Analytica Chimica Acta*, v. 705, n. 1-2, pp. 283-291.
- DEBSKA, B.; GUZOWSKA-SWIDER, B.. (2011b). Decision trees in selection of featured determined food quality. *Analytica Chimica Acta*, v. 705, n. 1-2, pp. 261-271.

- JAFELICE, R.M.; BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C.; GOMIDE, F. (2004). Fuzzy modeling in asymptomatic HIV virus infected population. *Bulletin of Mathematical Biology*, v. 19, pp. 1597-1620.
- HOFFMANN, Luana; ARAUJO, Fernando Oliveira de. (2016). ATRIBUTOS DA QUALIDADE CERVEJEIRA: uma análise sistemática da literatura internacional na base ISI Web of Science. I Cervecon – Congresso latino americano e brasileiro de ciência e mercado cervejeiro. Blumenau-SC, Brasil.
- KIRIN BEER UNIVERSITY. Kirin beer university report: global beer consumption by country in 2014. (2015a). Disponível em: <[http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2015/1224\\_01.html](http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2015/1224_01.html)>. Acesso em 03 de outubro de 2016.
- KIRIN BEER UNIVERSITY. Kirin beer university report: global beer production by country in 2014. (2015b). Disponível em: <[http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2015/0810\\_01.html](http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2015/0810_01.html)>. Acesso em 03 de outubro de 2016.
- LIN, Chin-Teng; Lee, C. S. George. (1996). *Neural fuzzy systems: a neuro-fuzzy synergism to intelligent systems*. Prentice Hall.
- PERREIRA, Aécio Alves; OCAZIONEZ, Sérgio Andrés Conde; TOMAZ, Carlos. (2012) Avaliação da qualidade da água: proposta para novo índice alicerçado na lógica fuzzy. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 4, pp. 667-677.
- RESTREPO, Jorge Aníbal; GÓMEZ, Sonia Martín; VANEGAS, Juan Gabriel. (2016). The SMEs' internationalization: multicriteria based prioritization using fuzzy logic. *Revista ESPACIOS*, v. 37, n. 7.
- ROSS, Tomothy J. (2010). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons, Third Edition.
- SELLITTO, Miguel Afonso. (2002). Inteligência artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo. *Gestão & Produção*, v. 9, n. 3, pp. 363-376.
- SICOBÉ – Sistema de Controle de Produção de Bebidas. Receita Federal do Brasil, Ministério da Fazenda. Produção cervejas e refrigerantes mensal. (2016). Disponível em: <[http://gerencialpublico.cmb.gov.br/PROD\\_BEBIDAS\\_MENSAL.html](http://gerencialpublico.cmb.gov.br/PROD_BEBIDAS_MENSAL.html)>. Acesso em 03 de outubro de 2016.
- SILVA, Renato Afonso Cota. (2005). Inteligência artificial aplicada à ambientes de Engenharia de Software: Uma visão geral. *Journal of Computer Science*, v. 4, n. 4, pp. 27-37.
- SINDICERV- Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja. A Cerveja – tipos de cerveja. (2016). Disponível em: <<http://www.sindicerv.com.br/tipo-cerveja.php>>. Acesso em 29 de agosto de 2016.
- TANSCHKEIT, Ricardo; SOUZA, Reinaldo C.; MACHADO, Maria Augusta S.; CALDEIRA, André M. (2007). *Inteligência computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab*. São Paulo: Thomson Learning.

- 
1. Mestrado em Sistemas de Engenharia (Universidade Católica de Petrópolis). [luanahassis@gmail.com](mailto:luanahassis@gmail.com)
  2. Doutor em Engenharia Elétrica (PUC-Rio). Diretor do Centro de Engenharia e Computação da Universidade Católica de Petrópolis. [giovane.quadrelli@ucp.br](mailto:giovane.quadrelli@ucp.br)
  3. Pós-doutorado em Engenharia de Produção (Université de Montreal). Doutor em Business (University of North Carolina). Coordenador do programa de pós-graduação em Sistema de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis. [nelio.pizzolato@ucp.br](mailto:nelio.pizzolato@ucp.br)
  4. Pós-doutorado em Engenharia de Produção (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Doutor em Engenharia de Produção (PUC-Rio). Professor Adjunto e Pesquisador da Universidade Federal Fluminense. [fernandoaraujo@id.uff.br](mailto:fernandoaraujo@id.uff.br)
- 

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 23) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados