

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS SÃO MIGUEL DO OESTE
TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

ALINE CASAGRANDA
JOSIANE VASQUES DOS SANTOS

DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE COBRE(II) E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS EM
AMOSTRAS DE CACHAÇA COMERCIALIZADAS NA REGIÃO OESTE DE SANTA
CATARINA

São Miguel do Oeste – SC

2019

ALINE CASAGRANDA
JOSIANE VASQUES DOS SANTOS

DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE COBRE(II) E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS EM
AMOSTRAS DE CACHAÇA COMERCIALIZADAS NA REGIÃO OESTE DE SANTA
CATARINA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Tecnologia em
Alimentos do Câmpus São Miguel do
Oeste do Instituto Federal de Santa
Catarina como requisito parcial à
obtenção do diploma de Tecnólogo em
Alimentos.

Orientador: Prof. Me. Tiago Favero.
Coorientadora: Prof. Dra. Stefany
Grützmann Arcari.

São Miguel do Oeste – SC
2019

RESUMO

A produção de cachaça constitui-se como um dos setores agroindustriais com maior crescimento, atualmente existe mais de 30 mil produtores de cachaça por todo o país. Define-se como cachaça a aguardente de cana-de-açúcar produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38-48% em volume, a 20 °C. A Instrução Normativa nº 13/2005 estabelece os padrões de identidade e qualidade de cachaça e um desses padrões está relacionado com a presença de cobre, que estabelece o limite máximo de 5 mg/L. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o teor de cobre presente nas cachaças comercializadas na região oeste de Santa Catarina. Foram coletadas 08 amostras de diferentes marcas, e posteriormente realizadas análises quanto aos parâmetros de % de etanol, acidez média (mg ácido acético/100 mL álcool anidro), pH, resíduo de evaporação, condutividade e a determinação do cobre na cachaça. Das cachaças analisadas, somente uma apresentou a graduação alcoólica acima do que estabelece a legislação, podendo ser considerada como aguardente e não cachaça. Todas as amostras apresentaram acidez média em conformidade com a legislação, quanto à condutividade e resíduo de evaporação houve uma variação nos resultados, somente uma amostra diferiu de todas as outras. A determinação do cobre foi realizada pelo método instrumental de espectrofotômetro UV-vis, utilizando-se o corante índigo carmim nas amostras. Entre as amostras analisadas apenas uma apresentou resultado acima do limite estabelecido pela legislação vigente, representando cerca de 25% das amostras analisadas.

Palavras chaves: Teor de Cu (II), Oeste Santa Catarina, Espectrofotometria UV-vis.

ABSTRACT

Production of cachaça is one of the fastest growing agro-industrial sectors, currently there are more than 30,000 cachaça producers throughout the country. Cachaça is defined as sugarcane brandy produced in Brazil, with an alcohol content of 38-48% by volume at 20 ° C. Normative Instruction No. 13/2005 establishes the standards of identity and quality of cachaça and one of these standards is related to the presence of copper(II), which establishes the maximum limit 5 mg/L. In this context, this work aimed to evaluate the copper content present in the cachaça produced and marketed in the west region of Santa Catarina. Were 08 samples of different brands were collected, and then performing analysis of the % ethanol parameters, average acidity (mg acetic acid / 100 mL anhydrous alcohol), pH, evaporation residue, conductivity and the copper determination in the cachaça. Of the cachaça analyzed, only one presented the alcoholic degree above the established by the law, and can be considered as brandy and not cachaça. All samples presented average acidity according with the law, as for conductivity and evaporation residue there was a variation in the results, sample one differed from all others. Copper determination was performed by the instrumental method of UV-vis spectrophotometer, using the indigo carmine dye in the samples, where only one of the samples presented results above the limit established by the current law, representing some 25% of the samples analyzed.

Keywords: Presence of cooper(II), West of Santa Catarina, UV-vis Spectrophotometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção da cachaça.....	12
Figura 2 - Elementos que compõem o espectrofotômetro.....	16
Figura 3 - Faixa comprimento de onda.....	16
Figura 4 - Estrutura química do corante índigo carmim.....	19
Figura 5 - Complexação do Cobre ($Cu_2(IC)$).....	19
Figura 6 - Fluxograma da metodologia para análises da cachaça.....	22
Figura 7 - Amostra concentrada e amostras diluídas do Índigo Carmim.....	25
Figura 8 - Acidez média x pH.....	30
Figura 9 - Resíduo de evaporação e condutividade.....	31
Figura 10 - Amostras após duas horas.....	32
Figura 11 - Amostras após oito horas.....	32
Figura 12 - Amostras após trinta e duas horas.....	32
Figura 13 - Espectro de Varredura do Corante Índigo Carmim.....	33
Figura 14 - Disco de cores, com as cores complementares e intervalos de comprimento de onda.....	34
Figura 15 - Amostra para teste de Complexação do IC.....	35
Figura 16 - Comparativo das Bandas de Absorção do Complexo e IC.....	35
Figura 17 - Amostra com Maior Concentração de Solução Tampão.....	36
Figura 18 - Determinação do Comprimento Máximo de Absorção do Complexo.....	37
Figura 19 - Absorção do Complexo de 0 ppm a 20 ppm.....	38
Figura 20 - Amostras para Curva de Calibração.....	39
Figura 21 - Curva de Calibração de zero horas.....	40
Figura 22 - Curva de Calibração de 1 hora.....	40
Figura 23 - Curva de Comparação entre zero e 1 hora.....	41
Figura 24 - Curva de Calibração de zero horas.....	42
Figura 25 - Curva de Calibração de 1 hora.....	43
Figura 26 - Curva de Comparação entre zero e 1 hora.....	43
Figura 27 - Diferença das amostras de Curva de Calibração de Zero e Quatro horas.....	44
Figura 28 - Diferença das amostras no Tempo de Zero e Quatro horas.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de identidade e qualidade de cachaça, regulamentadas pela legislação brasileira.....	11
Tabela 2 - Dados dos Rótulos das Amostras Utilizadas.....	21
Tabela 3 - Preparo de amostras diluídas do Índigo Carmim em Diferentes Meios.	24
Tabela 4 - Temperatura, teor alcoólico medido, corrigido e teor alcoólico embalagem.	28
Tabela 5 - Acidez média (mg ácido acético/100 mL álcool anidro), pH medido e coeficiente variação.	29
Tabela 6 - Resíduo de Evaporação e Condutividade.	30
Tabela 7 – Preparo das amostras para a Curva de Calibração.	42
Tabela 8 – Resultados da concentração de cobre das amostras de Cachaça.	45
Tabela 9 – Resultados de todas as análises realizadas.	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS	9
3	REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1	Cachaça.....	10
3.2	Processamento da Cachaça	12
3.2.1	Destilação	14
3.4	Fundamentos da Espectroscopia	15
3.4.1	Lei de Lambert - Beer	17
3.5	Índigo Carmim e a Complexação do Cobre	18
3.6	Toxicologia do Cobre.....	19
4	METODOLOGIA.....	21
4.1	Amostragem.....	21
4.3	Determinação do Teor de Etanol.....	22
4.4	Determinação do pH	23
4.5	Determinação do Álcool Anidro em mg/100 mL (Acidez Titulável)	23
4.6	Determinação de Resíduo de Evaporação	23
4.7	Determinação de Condutividade.....	23
4.8	Teste de Estabilidade Índigo Carmim	23
4.9	Quantificação do Cobre.....	26
4.9.1	Preparo das amostras.....	26
4.9.3	Método de Espectrofotometria.....	26
4.10	Determinação Máxima do Comprimento de Onda do Complexo	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1	Determinação da Temperatura e Teor Alcoólico	28
5.2	Determinação de pH e Acidez Titulável	29
5.3	Determinação de Resíduo de Evaporação e Condutividade.....	30
5.4	Determinação do Cobre na cachaça	31
5.4.1	Teste de Estabilidade Índigo Carmim	31
5.5	Determinação dos Comprimentos de Máximos de Absorção do Índigo Carmim	33
5.5.1.	Varredura do Comprimento de Onda do IC	33
5.5.2	Determinação do Comprimento Máxima de Onda do Complexo	34
5.5.3	Teste de Estabilidade do Complexo.....	37
5.6	Construção das Curvas de Calibração	38
5.6.1	Teste 01	38
5.6.1	Teste de Repetição	41
5.7	Determinação de Cobre nas Amostras de Cachaça.....	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Cachaça é um destilado nacional de denominação exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, definida pelo Decreto Federal nº 6.871 de 4 de junho de 2009. Possui graduação alcoólica de 38 a 48% a 20 °C, obtida por meio do destilado do mosto fermentado de cana-de-açúcar (BRASIL, 2009).

A produção de cachaça constitui-se como um dos setores agroindustriais com maior crescimento no país, considerada uma bebida símbolo de nacionalidade brasileira, apreciada devido seus processos de fermentação, destilação e envelhecimento, que destacam ainda mais as características sensoriais como aroma e sabor (ROBRIGUES, 2013).

No Brasil atualmente existem mais de 30 mil produtores de cachaça, sendo a cachaça a terceira bebida de maior consumo no mundo ficando apenas atrás do consumo de cerveja que é uma bebida fermentada. Portanto o estado com maior produção da cachaça industrial é São Paulo e Minas Gerais o estado de maior produção de cachaça artesanal. (ALAMBIQUE DA CACHAÇA, 2009).

As etapas básicas do processamento da cachaça incluem a moagem da cana, a fermentação e a destilação. Um dos materiais mais utilizados na construção dos destiladores, é o cobre metálico. Entretanto, quando o metal do equipamento for exposto a presença de água mais oxigênio e gás carbônico, ocorre a formação de uma camada esverdeada chamada de “azinhavre”. Essa camada se desprende do equipamento no momento da destilação entrando em contato com o produto, ocorrendo assim a possível contaminação pelo cobre (GARBIN; BOGUSZ JUNIOR; MONTANO, 2005).

Uma alternativa já estudada foi a utilização do aço inox como substituto do cobre como material construtivo dos destiladores. Entretanto, o destilado apresentou odores característicos de sulfetos, destacando-se também que as características sensoriais da cachaça são melhores quando utilizado destiladores de cobre em comparação aos de aço inox (NASCIMENTO et al., 1998).

Apesar de ser considerado um metal essencial de níveis traços, quando absorvido em excesso pode gerar grandes problemas, pois pode interferir nas atividades catalíticas de algumas enzimas, ou ainda desenvolver alguns tipos de doenças como epilepsia, melanomas, artrite reumatóides e doenças psiquiátricas (GERAIS et al., 2003).

A legislação brasileira estabelece como limite máximo de cobre na cachaça, 5 mg/L⁻¹ e na literatura, encontram-se descritos alguns métodos para determinação de cobre em

cachaça. A metodologia oficial recomendada pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC) e pelo Instituto Adolfo Lutz é o de absorção atômica, entre tanto, alternativamente é possível adaptar ou adotar-se os métodos potenciométricos ou de espectrofotometria ultravioleta visível. A metodologia de UV-vis é considerada uma análise mais barata, por isso realizou-se esta metodologia para o desenvolvimento do presente trabalho.

Dessa forma, o objetivo central do trabalho foi determinar os teores de cobre em diferentes amostras de cachaça comercializadas no oeste catarinense, pelo método analítico de espectrofotometria UV-vis, comparando os resultados com os padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº13 de 2005.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o teor de Cobre(II) e análises físico-químicas em diferentes marcas de cachaça produzidas e comercializadas na região oeste de Santa Catarina.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Analisar o percentual de álcool presente em amostras comerciais de cachaça;
- Analisar resíduo de evaporação versus a condutividade das amostras;
- Verificar teste de estabilidade índigo carmim;
- Determinação dos comprimentos de máximos de absorção do índigo carmim e do complexo;
- Analisar os níveis de Cu^{2+} obtido pelo método espectrofotométrico;
- Verificar se os níveis de cobre e etanol encontrados estão conforme a legislação vigente;

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão bibliográfica do presente trabalho foi dividida em três seções, as quais abordam: a definição e processamento da cachaça, o fundamento das técnicas para determinação de Cu^{2+} e toxicologia do cobre.

3.1 Cachaça

De acordo com o Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas (BRASIL, 2009):

Art. 53. Cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de trinta e oito a quarenta e oito por cento em volume, a vinte graus **Celsius**, obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até seis gramas por litro.

De acordo com Filho (2010), cachaça é denominada exclusiva aguardente produzida no Brasil, sendo que a diferença de cachaça e aguardente são devidos aos percentuais de álcool encontrados em ambas, pois cachaça possui de 38 a 48% e a aguardente de 38 a 54%.

A cachaça pode ainda ser definida como uma bebida envelhecida de acordo com percentual mínimo de 50% de cachaça envelhecida em recipiente de madeira, sendo envelhecidas em madeiras apropriadas, por um período não inferior a um ano (BRASIL, 2009).

A Instrução Normativa Nº 13, de 29 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), estabelece alguns padrões necessários para a qualidade da cachaça, conforme apresenta a tabela a seguir (BRASIL, 2009).

Tabela 1 - Padrões de identidade e qualidade de cachaça, regulamentadas pela legislação brasileira

COMPONENTE	UNIDADE DE MEDIDA	LIMITE	
		Máximo	Mínimo
Graduação Alcoólica cachaça	°GL	48	38
Graduação Alcoólica aguardente	°GL	54	38
Acidez volátil, expressa em ácido acético;	mg /100 mL de álcool anidro	150	-
Ésteres totais, expressos em acetato de etila;	mg /100 mL de álcool anidro	200	-
Aldeídos totais, em acetaldeído;	mg /100 mL de álcool anidro	30	-
Soma de álcoois superiores	mg/100 mL de álcool anidro	360	-
Cobre	mg/L	5	-
Furfural	mg/100 mL de álcool anidro	5	-
Álcool metílico	mg/100 mL de álcool anidro	20	-

Fonte: Adaptado de BRASIL (2009).

Portanto para que ocorra a produção de um produto de qualidade é necessário que se tenha controle das etapas de produção tanto industrial quanto artesanal, garantindo que a bebida chegue até o consumidor conforme as exigências estabelecidas pelas legislações, e seguindo um fluxo de produção adequado (VOLPE, 2013).

De acordo com Brasil (2009) a cachaça deve ser classificada como:

- a) Cachaça: adição de açúcares até 6 g/L expresso em sacarose.
- b) Cachaça Adoçada: quantidades de açúcares superior a 6 g/L e inferior a 30 g/L.
- c) Cachaça Envelhecida: contém 50% de cachaça, devendo ser envelhecida em recipientes de madeira apropriados, com capacidade máxima de 700 L por um período não inferior a um ano.
- d) Cachaça Premium: contém 100% de cachaça, devendo ser envelhecida em recipientes de madeira apropriados, com capacidade máxima de 700 L por um período não inferior a um ano.
- e) Cachaça Extra Premium: contém 100% de cachaça, devendo ser envelhecida em recipientes de madeira apropriados, com capacidade máxima de 700 L por um período não inferior a três anos.

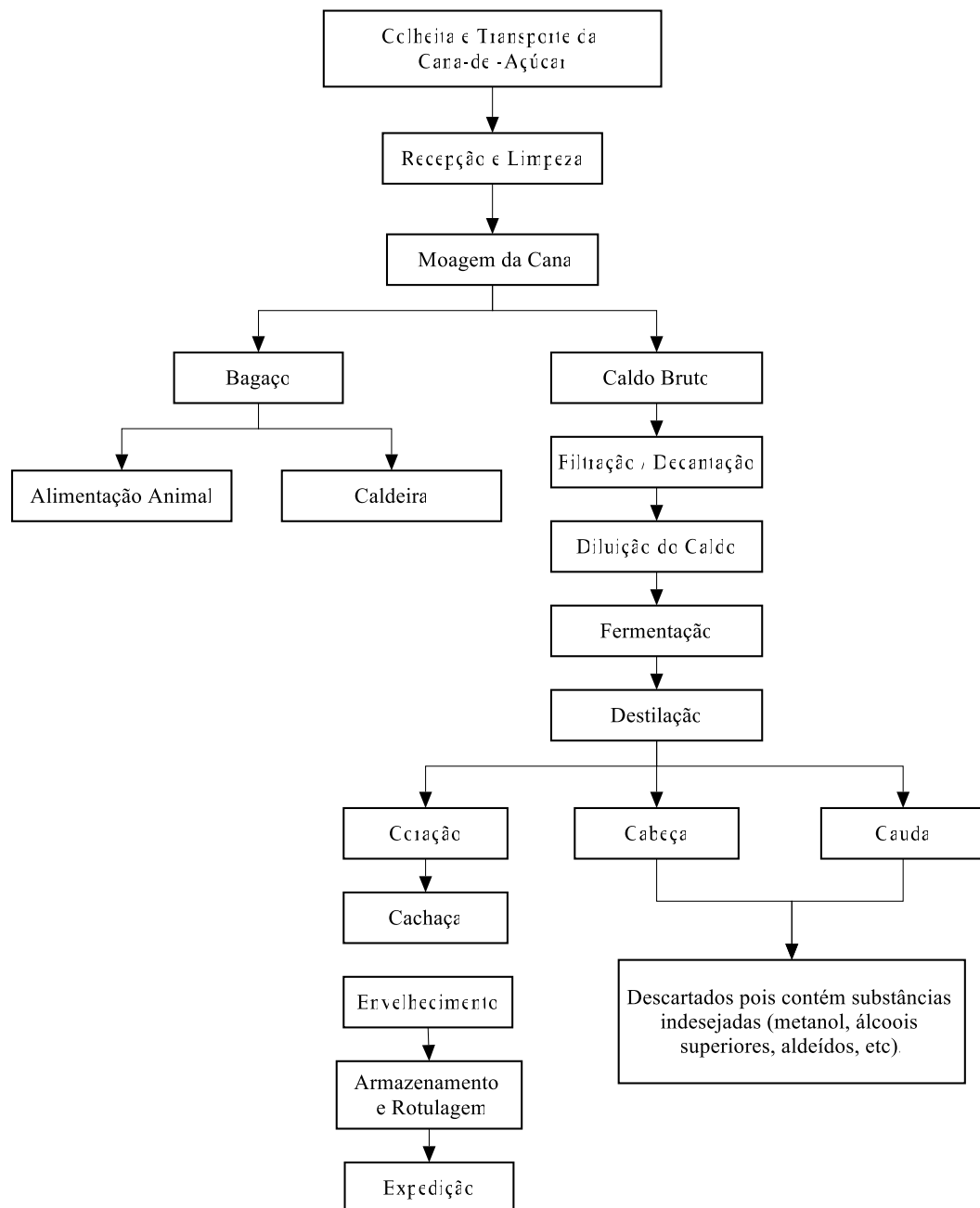
Tanto o tipo de cachaça, quanto os padrões de qualidade são dependentes do rigor no processamento do produto bem como as etapas que compõe tal processo, conforme mostrados

a seguir.

3.2 Processamento da Cachaça

Para o processo de fabricação da cachaça é necessário o desenvolvimento de algumas etapas básicas como: recepção, limpeza da matéria-prima, moagem, fermentação, destilação, envase e armazenamento, de acordo com a figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção da cachaça



Fonte: as autoras (2019).

O local de recepção da cana-de-açúcar deve ter capacidade de recebimento suficiente

para a produção diária, livre de sujidades que possam provocar alguma contaminação por meio de microrganismos. O tempo de espera da matéria-prima entre o corte e o início da fermentação não deve ultrapassar 24 horas, pois após o corte a cana pode sofrer contaminações microbianas, ocasionando perdas de rendimento e afetando a qualidade do produto (SILVA, et al, 2011).

Deve-se proceder a limpeza da cana-de-açúcar antes da moagem para evitar possíveis contaminações durante o processamento. O processo de moagem é de grande importância, pois é a partir dele que se obtém o rendimento. Seu objetivo é extrair o açúcar que se encontra dissolvido no caldo, utilizando-se moendas que são compostas por cilindros que irão favorecer o esmagamento da cana-de-açúcar (FILHO, 2010).

O açúcar do caldo deve ser corrigido/padronizado entre 14° e 16° Brix, utilizando água desmineralizada, pois o excesso de sacarose compromete o momento da fermentação, formando maior quantidade de álcool, e impedindo que as leveduras continuem o processo de fermentação (OLIVEIRA, et al, 2005)

De acordo com Silva, et al (2011), na fermentação ocorre a transformação dos açúcares fermentescíveis presentes no caldo em álcoois, por meio da ação de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*.

O mosto fermentado de cana-de-açúcar produzido é transferido para um alambique onde é realizado o processo de concentração dos compostos presentes no mesmo, utilizando-se destilação. Neste processo separa-se o produto da destilação em três frações designadas de cabeça, coração e cauda. Utiliza-se apenas a fração coração, as demais não são utilizadas por possuírem uma grande quantidade de compostos tóxicos (SILVA, et al, 2011).

Depois da destilação é realizada a etapa de filtração com o objetivo de eliminar impurezas ainda remanescentes, conferindo mais limpidez, transparência e brilho ao produto. Para este processo normalmente são utilizados filtros de algodão e resinas neutras, entre outras, que não influenciem nas características sensoriais do produto (FILHO, 2010).

O envelhecimento da cachaça ocorre logo após a destilação com a função de melhorar a qualidade do produto e conferir aromas e sabor. O envelhecimento tem objetivo de contribuir para os aspectos sensoriais pela incorporação de compostos da madeira (SILVA, et al, 2011).

Segundo Rodrigues (2013), os recipientes utilizados para o envelhecimento da cachaça são os barris e tonéis de madeira, que atuam como uma membrana semipermeável, permitindo a passagem de vapores de álcool e água, que ocorre em função das condições de

umidade relativa e da temperatura do local de armazenamento.

O envelhecimento em barris de diferentes tipos de madeira vem sendo adotado como um diferencial no produto, tornando-o mais competitivo pelo mercado fornecedor e mais apreciado pelo consumidor final (SILVA, et al, 2011).

Conforme Rodrigues (2013) também ocorre a extração da madeira de substâncias tânicas, açúcares, glicerol e ácidos orgânicos não voláteis que alteram aroma, sabor e coloração da cachaça que ao decorrer do envelhecimento essas alterações são estabilizadas.

3.2.1 Destilação

A destilação é a etapa na qual ocorre a volatilização do líquido por meio de aquecimento. Neste processo pode ocorrer a formação de alguns componentes, pois os alambiques de cobre atuam como verdadeiros reatores (FILHO, 2010).

A etapa de destilação tem como princípio a diferença entre os pontos de ebulição da água (100 °C) e do álcool (78,4 °C). Quando ocorre uma mistura entre água e álcool o ponto de ebulição tende a mudar, pois ocorre a formação de uma solução hidroalcoólica, com um ponto de ebulição intermediário entre os compostos envolvidos (água e álcool) (EMBRAPA, 2008).

A Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005, que dispõe sobre a Aprovação do Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e para Cachaça (BRASIL, 2009), define que:

A destilação deve ser efetuada de forma que o produto obtido preserve o aroma e o sabor dos principais componentes contidos na matéria-prima e daqueles formados durante a fermentação. É vedada a adição de qualquer substância ou ingrediente após a fermentação ou introduzido no equipamento de destilação que altere as características sensoriais naturais do produto.

De acordo com Oliveira, et al. (2005), o processo de destilação é separado em três frações:

a) Cabeça: é a primeira fração, de cerca de 5% a 10% do destilado total, que contém a maior parte do metanol e parte dos aldeídos.

b) Coração: a segunda fração, com cerca de 80% do destilado total. É a Cachaça.

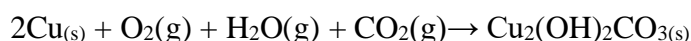
c) Cauda ou Água Fraca: a terceira fração. Corresponde aos cerca de 10% a 15% finais do destilado total. Contêm ácidos voláteis e parte dos álcoois superiores, entre outros.

Os alambiques de cobre são amplamente utilizados, especialmente por produtores que trabalham em microescala. Muitos pesquisadores atribuem ao cobre o papel de catalisador

durante o processo de destilação da cachaça. (LIMA NETO & FRANCO,1994 apud AZEVEDO et al., 2003).

A cachaça produzida em alambiques de cobre confere melhor qualidade ao produto quando comparado aos alambiques confeccionados com outros materiais, como o aço inox; porém podem contaminar ao produto quando o manejo (principalmente a higiene) da produção é inadequado (NASCIMENTO et al., 1998 apud AZEVEDO et al., 2003).

Portanto quando ocorrer o contato entre o cobre, água, oxigênio e gás carbônico, ocorre a formação do composto azinhavre, sendo indesejável ao produto pois é um composto tóxico quando presente em quantidades superiores a 5 ml/L. Podendo ser verificado a seguir a reação.



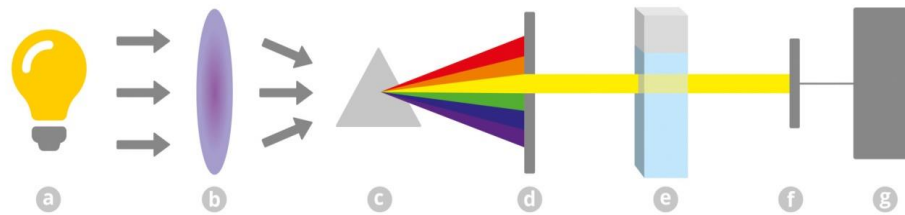
A limpeza prévia do alambique serve para prevenir a contaminação por cobre na cachaça. Para eliminar o “azinhavre” indica-se a pré-destilação com soluções de ácido acético e/ou suco de limão. Por ser ácido, o limão facilita a remoção do azinhavre, que por ser uma solução básica, é facilmente arrastado por vapores ácidos. A retirada destes resíduos ácidos é obtida através da realização da destilação com água (OSTI, 2014).

3.4 Fundamentos da Espectroscopia

Espectroscopia é o processo de medida que, basicamente, emprega as propriedades de absorção e/ou emissão energia eletromagnética dos átomos e moléculas em uma das regiões do espectro eletromagnético (CIENFUEGOS, et al, 2000).

Os equipamentos espectroscópicos geralmente possuem os mesmos módulos básicos, fonte de luz, monocromador, prisma, cubeta, detector e leitor (CECCHI, 2003). A luz reincidente no prisma, que divide a luz em diferentes comprimentos de ondas gerando diferentes cores, após passar pelo prisma o comprimento de onda é selecionado no equipamento e passa pelo monocromador que transforma esta luz em um único comprimento de onda específico, esta luz monocromática passa pela cubeta que contém a solução que está sendo analisada, chegando assim ao detector que passará as observações de absorbância e transmitância para o leitor. Conforme mostra a figura 2.

Figura 2 - Elementos que compõem o espectrofotômetro.

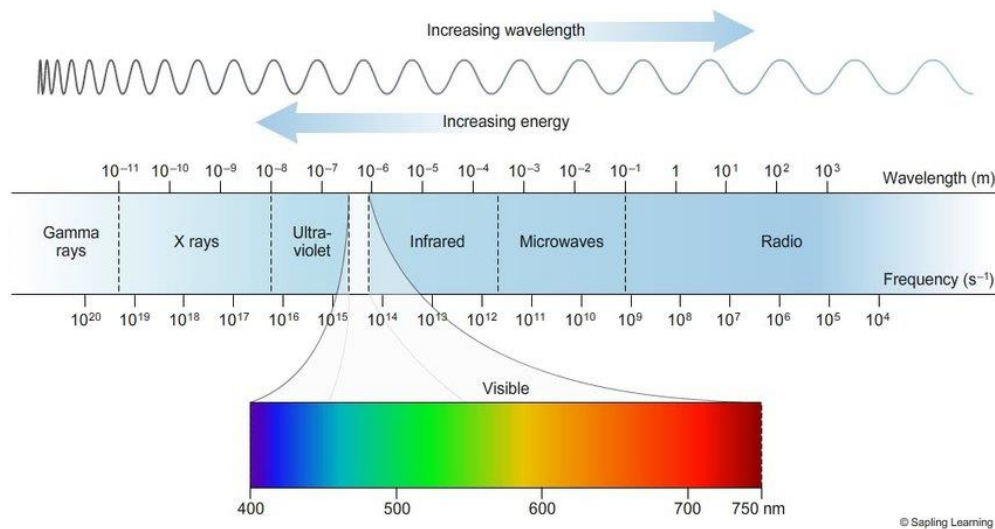


Fonte: kasvi.com.br

Onde: a) fonte de luz; b) colimador; c) prisma ou rede de difração; d) fenda seletora; e) cubeta contendo solução; f) detector; g) leitor.

A faixa de comprimento de onda na região ultravioleta do espectro é considerada entre faixa de 100 a 400 nm, já na região visível, é de 400 a 780 nm (CECCHI, 2003). Conforme mostra a figura 3.

Figura 3 - Faixa comprimento de onda.



Fonte: Guedes (2018).

A amplitude de comprimento de onda absorvida e/ou transmitida por determinado composto químico é o princípio básico da espectrometria. O comprimento de onda depende da frequência, da velocidade da luz e do índice de refração do meio (CECCHI, 2003):

$$\lambda = c / \eta v$$

Onde: λ = comprimento de onda; c = velocidade da luz; η = índice de refração do meio; v = velocidade da luz.

Um dos métodos analíticos mais utilizados nas determinações analíticas em diversas áreas é a espectrofotometria visível e ultravioleta. Utiliza-se este método na identificação dos grupos orgânicos cromóforos e íons de metais de transição, pois, estes compostos absorvem a radiação no comprimento de onda UV – vis (VINADÉ, et al, 2005).

Utiliza-se soluções incolores e/ou coloridas para analisar a radiação absorvida, sendo assim, na espectrofotometria de absorção visível a base é a análise quantitativa de qualquer material colorido. Já a absorção ultravioleta tem como base, a análise de substâncias incolores (CECCHI, 2003).

3.4.1 Lei de Lambert - Beer

A Lei de Lambert – Beer pode ser definida como uma observação óptica, que relaciona a absorção de luz com as propriedades do material atravessado por esta. A variação de intensidade da absorção da radiação por meio da interação das moléculas da matéria será medida por meio da radiação transmitida. O encontro da molécula com a radiação pode ser refratada, refletida e/ou difundida ou dar fluorescência (CECCHI, 2003).

Para calcular a concentração utilizando o valor da absortividade (a) da amostra conhecido, utiliza-se a seguinte fórmula (CECCHI, 2003):

$$A = EbC$$

Onde: A = absorbância; E = coeficiente de absortividade molar; b = caminho óptico; C = concentração.

Pode-se expressar a intensidade de uma banda de absorção em um espectro no ultravioleta e no visível pela absortividade molar no máximo de absorção $E_{\text{máx}}$ ou $\log E_{\text{máx}}$. Quando o material absorvido não é conhecido, pode-se exprimir a intensidade de absorção como (CIENFUEGOS, et al, 2000):

$$E^{1\%} = A/cb$$

Onde: $E^{1\%}$ = energia absorvida; A = absorbância; c = concentração em grama por 100 mL; b = caminho óptico através da amostra, em centímetro.

Cecchi (2003) define que “transmitância é a razão entre o poder radiante transmitido pela amostra e o poder radiante incidente na amostra. E absorbância é o log do inverso da transmitância”. A passagem de um feixe de radiação com um único comprimento de onda em

um número de moléculas absorventes idênticos, terá como resultado a absorção de frações idênticas de energia radiante que as atravessa (CECCHI, 2003).

A lei de Beer estabelece relação entre transmitância, espessura da amostra e concentração das espécies que absorvem, tendo a seguinte relação (CIENFUEGOS, et al, 2000):

$$\text{Log}_{10} (I_0 / I) = kcb = A$$

Onde: I= intensidade da luz transmitida; I₀= intensidade da luz incidente; k= constante característica do soluto; c= concentração do soluto; b= comprimento do caminho óptico através da amostra; A= absorbância;

3.4.2 Desvios da Lei de Lambert-Beer

Para a Lei de Beer ser confiável a radiação incidente deve ser monocromática, precisa atuar independente dos centros absorventes no processo de absorção e a ocorrência da absorção numa seção universal uniforme (CECCHI, 2003).

Desvios químicos: Mudanças na concentração da solução por interação das moléculas do soluto entre si e com solvente, através dos efeitos de associação ou dissociação. Para evitar este desvio, as soluções devem ser diluídas abaixo de 0,01M (CECCHI, 2003).

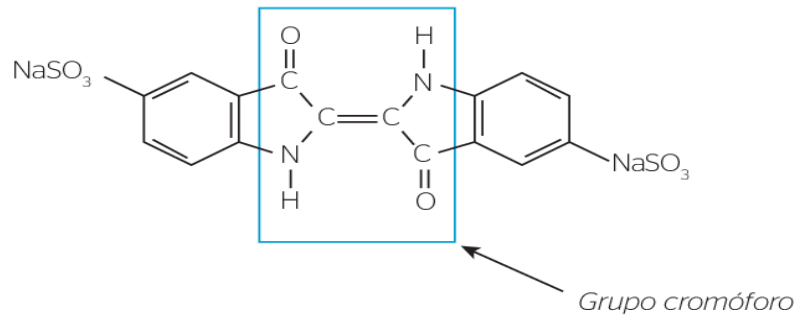
Desvios instrumentais: Iluminação não monocromática, isto é, de um único comprimento de onda. Sinal do detector não linear e não proporcional à concentração da solução (CECCHI, 2003).

3.5 Índigo Carmim e a Complexação do Cobre

O índigo carmim (IC) é um corante aniônico, sal sódico do ácido 5,5-indigodissulfônico, é quimicamente estável, pois possui uma complexa estrutura molecular. É utilizado em indústrias têxteis, farmacêuticas, papel e celulose e também nas alimentícias. (VENDRUSCOLO, 2017 apud PAVANELLI, 2010).

Sua absorbância máxima está no comprimento de onda de 610 nm. Antes (2017) diz que o sistema responsável pela cor é o arranjo transversal de dois elétrons doadores (N) e dois elétrons receptores (C=O) na dupla ligação C=C ocorrem devido o grupo cromóforo (ANTES, 2010 apud MEIRA,2014). Conforme mostra a figura 4.

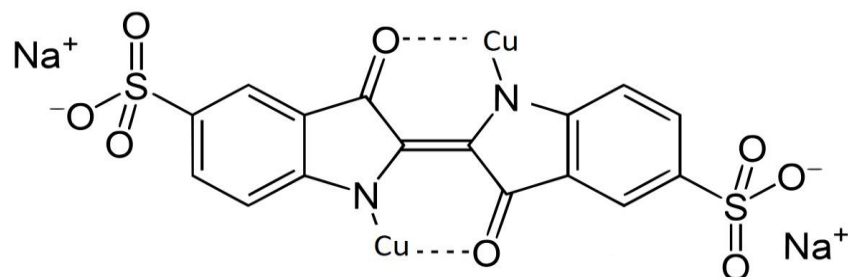
Figura 4 - Estrutura química do corante índigo carmin.



Fonte: Quintero e Cardona (2010).

Zanoni (2010) determinou a estequiometria do processo do complexo, que evidencia uma razão 2:1, pH de 10 e temperatura ambiente, mostrando que o complexo manteve-se estável por 30 minutos. A interação entre os íons de Cu(II) e o índigo carmin em meio alcalino resulta na formação do complexo Cu₂(IC) (ZANONI, 2010), conforme se observa na figura 5.

Figura 5 - Complexação do Cobre (Cu₂(IC)).



Fonte: alterado pelas autoras (2019).

A reação química formada entre o cobre e o índigo carmin é $2\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{IC} \leftrightarrow \text{Cu}_2(\text{IC})_{(\text{aq})}$. Onde o hidrogênio presente na reação é substituído pelo íon de cobre.

3.6 Toxicologia do Cobre

Considera-se o cobre como um metal essencial para o ser humano, quando presente em quantidades traços, a FBN (*Food Nutritional Board*) estabeleceu como recomendação diária deste metal a ingestão de 1,5 a 3,0 mg por dia para adultos (GARBIN et al., 2005 apud RDA,1998). Em pequenas quantidades o cobre é de grande importância para o organismo, sendo distribuído em diferentes concentrações por todo nosso corpo. (ROSA et al., 2018).

O cobre é um metal que atua no organismo como um cofator de diversas enzimas celulares, sendo que sua deficiência causa a disfunção cardíaca, aumento de lipoproteínas de baixa densidade, diminuição da metionina, entre outras consequências no organismo humano (GARBIN; BOGUSZ JUNIOR; MONTANO, 2005).

Em excesso no organismo se torna tóxico, pois possui afinidade com o grupo SH (tióis) presentes em algumas enzimas e proteínas, causando doenças graves, tais como epilepsia, melanomas, artrite reumatoide e doenças psiquiátricas (ROSA et al., 2018). Por ser catalisador de oxidação, alguns estudos apresentam que os excessos de cobre podem degradar os neurônios dopaminérgicos, podendo causar danos ao DNA (ácido desoxirribonucleico) (ZENDRON, 2015).

Desta forma a Legislação Brasileira por meio do Decreto nº 2314 de 04/09/1997 estabeleceu em 5 mg/L^{-1} como limite máximo de teores de cobre, que pode estar presente na aguardente. No mercado internacional este limite cai para $2,0 \text{ mg/L}$ de teor de cobre nos destilados alcoólicos, o que dificulta para o Brasil a exportação da bebida (GABIN et al., 2005 apud AZEVEDO et al., 2003).

Em um estudo realizado no ano de 2004 no Estado do Rio Grande do Sul, foram coletadas 25 amostras de cachaça artesanal provenientes de 4 microrregiões do estado, as análises foram realizadas pelo método espectrofotométrico de absorção atômica, sendo que destas amostras cerca de 60% apresentaram níveis de cobre acima do estabelecido pela legislação (5 mg/L), (GABIN et al., 2005 apud AZEVEDO et al., 2003).

No mesmo estudo houve comparações entre outros estados como Rio de Janeiro, São Paulo, Pernambuco e Ceará, que apresentaram um percentual de 12% das amostras com níveis acima da legislação. Outro estado analisado foi de Minas Gerais que apresentou 6,7% das amostras contaminadas por cobre. Por tanto esses dados apontam que o estado do Sul do Brasil apresenta maiores contaminações referente às amostras de cachaça analisadas em relação aos níveis de cobre presentes.

4 METODOLOGIA

4.1 Amostragem

Foram realizadas coletas de oito diferentes amostras, das quais quatro são produzidas na região oeste de Santa Catarina, e o restante de outros estados. As amostras foram adquiridas no comércio local e diretamente dos produtores, sendo que das amostras adquiridas da região oeste, duas são artesanais (CA) e duas industriais (CI). Após adquiridas, as amostras foram levadas para o laboratório de análises de alimentos do IFSC (São Miguel do Oeste, SC), onde foram armazenadas sob refrigeração a 10 °C para conservação do produto até o momento de realizar as análises. Destaca-se que todas as amostras utilizadas foram destiladas em alambiques de cobre, confirmadas por meio de consulta aos fabricantes.

Foram também analisadas outras quatro amostras provenientes de outros estados, as quais foram utilizadas como comparativos para os resultados da região Oeste de Santa Catarina.

Para o desenvolvimento das análises, foram elencados códigos as amostras mantendo assim o sigilo das empresas envolvidas no trabalho.

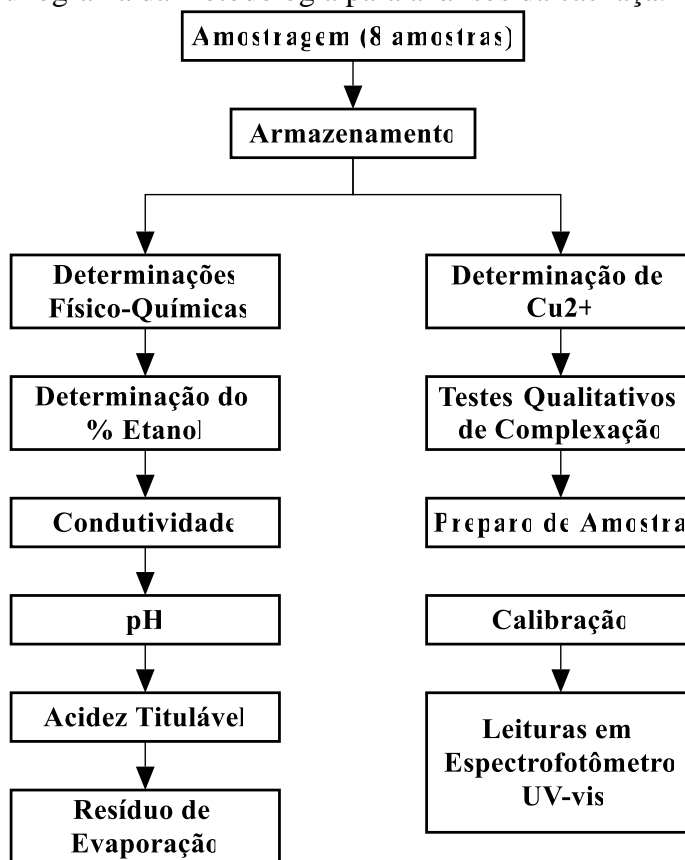
Tabela 2 - Dados dos Rótulos das Amostras Utilizadas

Codificação	Estados de Fabricação	Data de Fabricação	Embalagem	Graduação alcoólica
CA01	Oeste de SC	Maior 2019	Plástico – 500 mL	-
CA02	Oeste de SC	Agosto 2019	Plástico – 500 mL	-
CI03	Oeste de SC	Agosto 2019	Vidro - 700 mL	40 %
CI04	Oeste de SC	Janeiro 2019	Vidro - 700 mL	39 %
CI05	Minas Gerais	Não identificado	Plástico - 470 mL	38 %
CI06	Ceará	Não identificado	Vidro - 965 mL	38 %
CI07	São Paulo	Julho 2019	Vidro - 965 mL	39 %
CI08	Pernambuco	Apenas validade	Alumínio - 350 mL	40%

Fonte: dados da pesquisa (2019).

As análises desenvolvidas no presente trabalho podem ser visualizadas através do fluxograma da figura 6.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia para análises da cachaça.



Fonte: as autoras (2019).

4.3 Determinação do Teor de Etanol

A determinação do % de etanol, foi realizado pelo método de densidade onde foi utilizado o densímetro alcoômetro (Gay-Lussac, escala de 0 a 100 °GL e 10 a 45 CARTIER) para medir o percentual de etanol presente nas cachaças. As análises foram em duplicata para cada amostra, realizando leituras diretas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). A temperatura foi medida com termômetro de mercúrio, e os valores corrigidos a 20 °C para comparação.

Os resultados obtidos do percentual de etanol serão confrontados com as análises do teor de cobre, e plotados de gráficos %etanol versus ppm Cu²⁺ conforme realizado por Nascimento (NASCIMENTO et al., 1998).

4.4 Determinação do pH

Para realizar a análise, calibrou-se o equipamento (MS Tecnopon®, mPA-210), com dois pontos de tampão pH 7 e 4, após foi adicionado a amostra de cachaça em um béquer e realizado a leitura direta após a estabilização das variações do equipamento.

4.5 Determinação do Álcool Anidro em mg/100 mL (Acidez Titulável)

Preparou-se a solução de KOH $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ com 0,0416 g de reagente, em 50 mL de água destilada na amostra. A solução foi padronizada com biftalato de potássio P.A (ALPHATEC) em triplicata obtendo-se o fator de correção de 0,90889 e pureza de 85%.

Para a determinação de acidez, foi adicionado em um erlenmeyer 50 mL de cachaça e 3 gotas do indicador fenolftaleína, a titulação foi realizada com a solução de KOH. O procedimento foi realizado em duplicata e calculado pela média \pm coeficiente de variação.

4.6 Determinação de Resíduo de Evaporação

Foram pesados os cadinhos vazios e então pipetado 10 mL de amostra, em seguida colocados na estufa (FANEM®) a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 6 horas, depois foi realizado novamente uma pesagem dos cadinhos para verificar qual a quantidade de resíduo remanescente. Em seguida realizou-se os cálculos utilizando a massa residual dividido pela quantidade de amostra x 100, obtendo então o resultado de resíduo em percentual, sendo que ao final transformamos em mg/100 mL de álcool anidro.

4.7 Determinação de Condutividade

Realizou-se a calibração do equipamento (MS Tecnopon®, LUCA-150) com solução tampão $146,9 \mu\text{S/cm}$. Após foi colocado em um béquer a amostra da cachaça e realizado a leitura no equipamento, no momento onde ocorreu a estabilidade das variações, para cada amostra utilizou-se água ultrapura com condutividade de $0,17 \mu\text{S/cm}$, a qual foi obtida pelo equipamento GEHAKA Master System, o valor da calibração do equipamento (constante da célula) foi de 1,007.

4.8 Teste de Estabilidade Índigo Carmim

Realizou-se teste qualitativo preliminar seguido da análise quantitativa. Para ambos

os métodos foram realizados 3 ensaios: meio ácido, meio básico e meio neutro.

Iniciou-se pelo teste qualitativo, foi realizado os cálculos para a pesagem do corante e em seguida adicionado em 3 balões volumétricos.

- **ÁCIDO:** No balão 01 foi adicionado o corante (0,0250 g) + 1 mL de H₂SO₄ com 0,05 mol, e então completado com água destilada.

- **NEUTRO:** No balão 02 foi adicionado o corante (0,0245 g) e completado apenas com água destilada.

- **BÁSICO:** No balão 03 foi adicionado o corante (0,0248 g) + 10 mL de tampão pH 10.

Após foi colocado 4 tubos de ensaio e em cada estante representando a solução ácida, básica e neutra, conforme representado na tabela 3.

Tabela 3 - Preparo de amostras diluídas do Índigo Carmim em Diferentes Meios.

	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4
Ácido	2 mL do balão 01 + 2 gotas de Sulfato de Cobre	2 mL do balão 01 + 2 gotas de NaOH	2 mL do balão 01 + 1 mL de H ₂ O	2 mL do balão 01 + 2 mL de H ₂ O
Neutro	2 mL do balão 02 + 2 gotas de Sulfato de Cobre	2 mL do balão 02 + 2 gotas de NaOH	2 mL do balão 02 + 1 mL de H ₂ O	2 mL do balão 02 + 2 mL de H ₂ O
Base	2 mL do balão 03 + 2 gotas de Sulfato de Cobre	2 mL do balão 03 + 2 gotas de NaOH	2 mL do balão 03 + 1 mL de H ₂ O	2 mL do balão 03 + 2 mL de H ₂ O

Fonte: dados da pesquisa (2019).

A estabilidade das soluções foi verificada em diferentes tempos: 2 horas, 8 horas, e 32 horas. Após este teste cada solução foi armazenada em 02 balões volumétricos, sendo um dos balões envolto com papel alumínio, para comparar a estabilidade do corante nos diferentes balões.

O teste qualitativo foi realizado com o auxílio do espectrofotômetro. Para este método realizou-se a pesagem do índigo carmim (0,2399 g), o corante foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL e diluído com água ultrapura. Pipetou-se 1 mL desta solução (IC + água ultrapura), transferindo para balão de 100 mL e completou o balão com água ultrapura. Esta solução foi identificada como amostra neutra.

A amostra ácida foi preparada da seguinte maneira: foi transferido para o balão de 100 mL (1 mL da solução inicial + 1 mL de HCl) e completou-se o balão com água ultrapura.

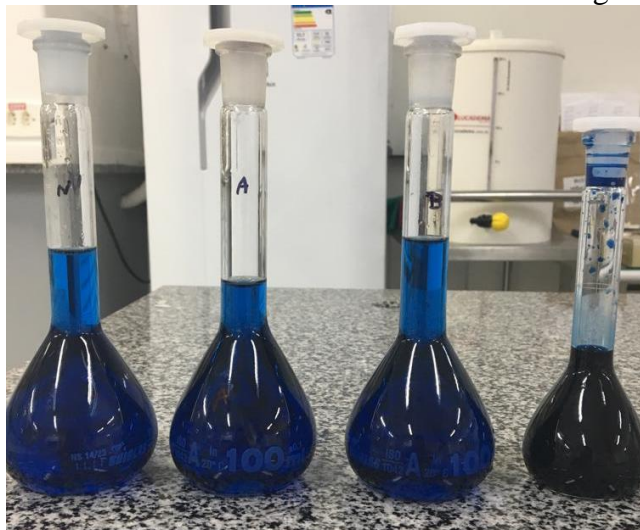
Já para a amostra básica foi transferido para o balão de 100 mL (1 mL da solução inicial + 10 mL de solução tampão) completando o balão com água ultrapura.

Após foram avaliados os tubos para verificar as estabilidades do corante em diferentes soluções durante 2 horas, 8 horas e 32 horas.

Foi deixado o restante das soluções de ácido, base e neutro em dois balões para armazenamento, sendo que para um dos balões foi colocado papel alumínio para verificar as estabilidades do corante. Após foi então realizado o teste quantitativo, qual foi realizado com auxílio do espectrofotômetro.

Realizou-se a pesagem de índigo carmim (0,2399 g), sendo transferido para um balão volumétrico de 50 mL onde realizou a diluição com água ultrapura. Após este processo, foi realizada outra diluição da amostra de corante, foi pego 1 ml desta solução (IC + água ultrapura) e colocado em um balão de 100 mL, completando o balão com água ultrapura, sendo esta a amostra neutra. Para a amostra ácida, foi pego 1 mL da solução inicial, transferida para outro balão de 100 mL, adicionando mais 1 mL de HCl e então completado até o menisco com água ultrapura. Já para a amostra básica, foi pego 1 mL da solução inicial, transferida para outro balão de 100 mL, adicionado 10 mL de solução tampão e completado o balão com água ultrapura.

Figura 7 - Amostra concentrada e amostras diluídas do Índigo Carmim.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Após este processo foi então realizado uma varredura do comprimento de onda, onde se leu primeiro a amostra branca e então iniciado a leitura uma por uma das amostras.

4.9 Quantificação do Cobre

A quantificação do cobre foi realizada por meio de medidas espectrofotométricas, utilizando o espectrofotômetro UV-VIS mono-feixe.

4.9.1 Preparo das amostras

UV-VIS: Para o desenvolvimento da análise de dosagem de cobre foi utilizado como corante indicador o índigo carmim ($C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$), sendo este um corante amplamente utilizado em determinação de cobre em formulações farmacêuticas, e ainda empregado como aditivo em alimentos, pois pode atuar como agente complexante em alguns íons metálicos como o caso do cobre.

4.9.3 Método de Espectrofotometria

O método analítico utilizado para a determinação do cobre foi o espectrofotométrico, com o equipamento Espectrofotômetro UV-visível Quimis® Microprocessado - Q898U2M5, disponível no Laboratório de Análise Instrumental do IFSC, Câmpus São Miguel do Oeste.

Foi realizada a varredura dos comprimentos de onda de absorção do complexo formado entre o índigo e o cobre, em cubetas de vidro, entre as faixas de 300 a 900 nm e resolução de 1 nm, para confirmação do comprimento de onda de máxima absorção a ser utilizado nas leituras posteriores.

Após confirmação do comprimento de onda de leitura, foi efetuada a calibração do equipamento em 6 pontos: branco: com a amostra de cachaça 50%, 2,5, 5, 10, 15 e 20 ppm de Cu^{2+} , preparadas a partir de sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) e solução alcólica 20%.

Com os valores de absorbância em cada concentração, foi então construída a curva de calibração e deduzindo-se a equação da reta para os cálculos de concentração de Cu^{2+} nas amostras de cachaça. As análises foram realizadas em duplicata, com teste interdias.

4.10 Determinação Máxima do Comprimento de Onda do Complexo

Foram desenvolvidos dois métodos para determinar qual o comprimento de máxima absorção. Para a determinação do comprimento de onda do complexo do primeiro método foi

realizado a pesagem de corante índigo carmim (0,1168 g), sendo este diluído com auxílio de água ultrapura, a mistura foi colocada em um balão volumétrico de 100 mL, foi adicionado 10 mL de solução tampão pH 10,11 e completou-se o balão até o menisco com água ultrapura. Para o segundo método foi realizado o mesmo processo, porém foi completado o balão com solução tampão ao invés da água ultrapura.

Pegou-se 7 balões volumétricos de 25 mL, sendo que o primeiro balão foi adicionado apenas 10 mL de etanol, sendo este representado como o branco das amostras. O segundo foi adicionado 10 mL de etanol e 1 mL de índigo carmim. O terceiro foi adicionado 1 ppm de Cu^{2+} , 25 ppm de solução padrão de cobre 1000 ppm, 10 mL de etanol e 1 mL de índigo carmim. Para o quarto balão foi adicionado 2 ppm de Cu^{2+} , 50 ppm de solução padrão de cobre 1000 ppm, 10 mL de etanol e 1 mL de índigo carmim. O quinto balão foi adicionado 5 ppm de Cu^{2+} , 125 ppm de solução padrão de cobre 1000 ppm, 10 mL de etanol e 1 mL de índigo carmim. No sexto balão foi adicionado 10 ppm de Cu^{2+} , 250 ppm de solução padrão de cobre 1000 ppm, 10 mL de etanol e 1 mL de índigo carmim. No sétimo balão foi adicionado 20 ppm de Cu^{2+} , 500 ppm de solução padrão de cobre 1000 ppm, 10 mL de etanol e 1 mL de índigo carmim.

Em seguida as amostras foram adicionadas em cubetas de vidro e realizado a varredura de ambas as amostras no espectrofotômetro (Quimis® - Modelo Q898U2M5) para a obtenção dos picos máximos de absorção das diferentes concentrações. As imagens abaixo representam as concentrações utilizadas. Para realizar as pipetagens do cobre foi utilizado pipetador LABMATEpro e para o Cu^{2+} um pipetador DIGIPET de volume variável de: 2-20, 20 a 200 e 100 a 1000 μL .

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Determinação da Temperatura e Teor Alcoólico

De acordo com a legislação vigente a IN n° 13 de 29 de junho de 2005, a graduação alcoólica para cachaça a 20 °C é de 38 a 48 % v/v. Baseado nos resultados obtidos constatou-se que entre as oito amostras de cachaças analisadas, a amostra CI-08 não está em conformidade com a legislação, pois apresentou resultado acima do permitido. Em relação ao teor alcoólico descrito na embalagem e o valor encontrado nas análises realizadas, também mostraram não conformidade, pois a maioria das amostras possui graduação alcoólica maior do que consta na embalagem original do produto, somente uma amostra teve o resultado aproximado ao que consta na rotulagem. Os resultados são apresentados na tabela 4.

Os dados obtidos, foram semelhantes aos reportados por Pellenz et al (2017) e Fernandes et al (2013). O teor alcoólico da maioria das amostras estava em conformidade com a legislação vigente, o que difere os resultados deste trabalho dos artigos analisados é que, ao invés de ter amostras com o teor alcoólico abaixo do que preconiza a lei, encontrou-se amostras com o teor acima do valor permitido. Com base na legislação e nos resultados encontrados, a amostra CI – 08 pode ser classificada como aguardente, pois apresentou a % de etanol de 49,8%.

Tabela 4 - Temperatura, teor alcoólico medido, corrigido e teor alcoólico embalagem.

Amostra	Temp. (°C)	Teor alcoólico (°GL)	%Etanol (20 °C)	Teor alcoólico emb. %
CA-01	12	34	38,3	-
CA-02	12	38	41,2	-
CI-03	11	39	42,6	40
CI-04	13	38	40,8	39
CI-05	10	38	42,0	38
CI-06	10	40	44,0	38
CI-07	10	35	39,1	39
CI-08	10	46	49,8	40

Fonte: dados da pesquisa (2019).

Comparando as cachaças produzidas no estado de Santa Catarina com as produzidas em outros estados, nota-se que todas as amostras de Santa Catarina estão em conformidade com a legislação. As amostras artesanais CA-01 e CA-02 obtiveram um menor valor de %etanol (20 °C) em comparação com as cachaças industriais.

O alto teor alcoólico da amostra CI-08 pode estar relacionado à dificuldade na padronização da graduação alcoólica do produto final, sendo a adição de água potável para esta padronização permitida pela legislação ou pode também estar sendo aproveitado, a porção da cabeça fazendo com que eleve a graduação alcoólica.

5.2 Determinação de pH e Acidez Titulável

Na tabela 5 são exibidos os valores encontrados da acidez média, com seu coeficiente de variação e pH. Analisando os resultados obtidos constatou-se que os valores de acidez das cachaças variaram de 7,927 a 65,088 mg ácido acético/100 mL álcool anidro. Comparando com a legislação vigente conclui-se que todas as amostras estão em conformidade, já que nenhuma ultrapassou o limite máximo que consta na Instrução Normativa nº 13/2005. Pellenz et al (2017) e Garbin (2005) encontraram resultados semelhantes, amostras com valores abaixo de 150 mg de ácido acético/100 mL de álcool anidro, valor este permitido pela legislação.

A acidez volátil é um princípio importante relacionado às características sensoriais de bebidas destiladas alcoólicas (GARBIN, 2005), valores elevados de ácido acético não são desejáveis na cachaça. As amostras analisadas mostraram-se dentro do parâmetro desejado de ácido acético.

Tabela 5 - Acidez média (mg ácido acético/100 mL álcool anidro), pH medido e coeficiente variação.

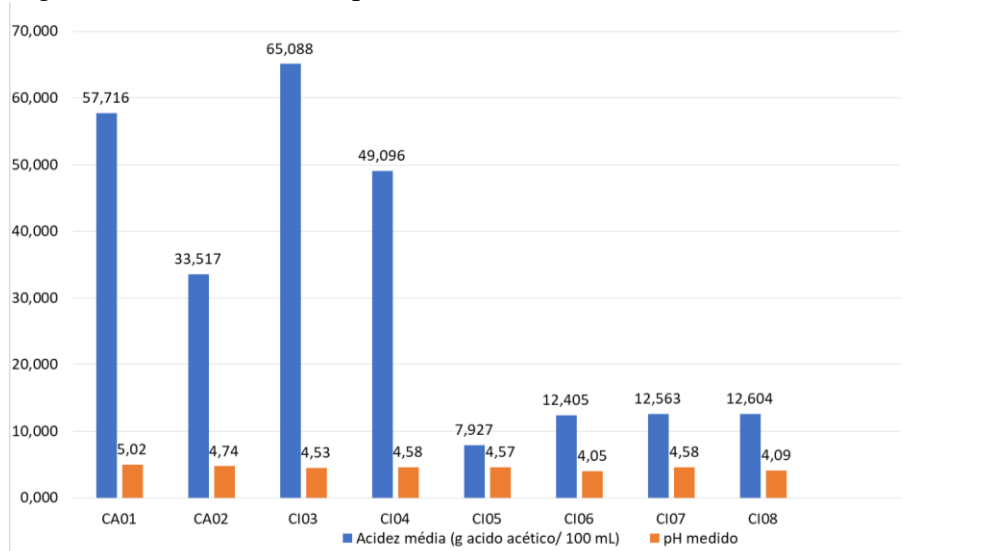
Amostra	Acidez	Coef. Variação (%)	pH
CA – 01	57,716	± 0,35	5,02
CA – 02	33,517	± 1,68	4,74
CI – 03	65,088	± 2,23	4,53
CI – 04	49,096	± 2,70	4,58
CI – 05	7,927	± 6,96	4,57
CI – 06	12,405	± 0,00	4,05
CI – 07	12,563	± 0,00	4,58
CI – 08	12,604	± 1,23	4,09

Fonte: dados da pesquisa (2019).

Os valores encontrados do pH nas amostras variaram entre 4,05 a 5,02. A figura 8 mostra a comparação entre os resultados obtidos na acidez média e o pH mostrando que, por mais que houve variação nos valores da acidez média o valor do pH se manteve aproximado em todas as amostras. Pellenz et al (2017) encontrou resultados semelhantes, amostras com

valores abaixo de 150 mg de ácido acético/100 mL de álcool anidro, valor este permitido pela legislação.

Figura 8 - Acidez média x pH.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Comparando os valores encontrados de acidez média e pH, nota-se que não houve a redução do pH conforme o aumento da acidez. Esperava-se que, quanto mais elevado o valor de acidez média menor seria o valor do pH.

5.3 Determinação de Resíduo de Evaporação e Condutividade

A tabela 6 mostra os valores dos resíduos de evaporação e condutividade, onde observou-se que a amostra CI-08 possui o maior valor de resíduo de evaporação de 1269,0 este resultado está relacionado com a presença de açúcar na amostra. A amostra CA-01 mostrou o valor mais alto na condutividade de 77,24 uS.cm².

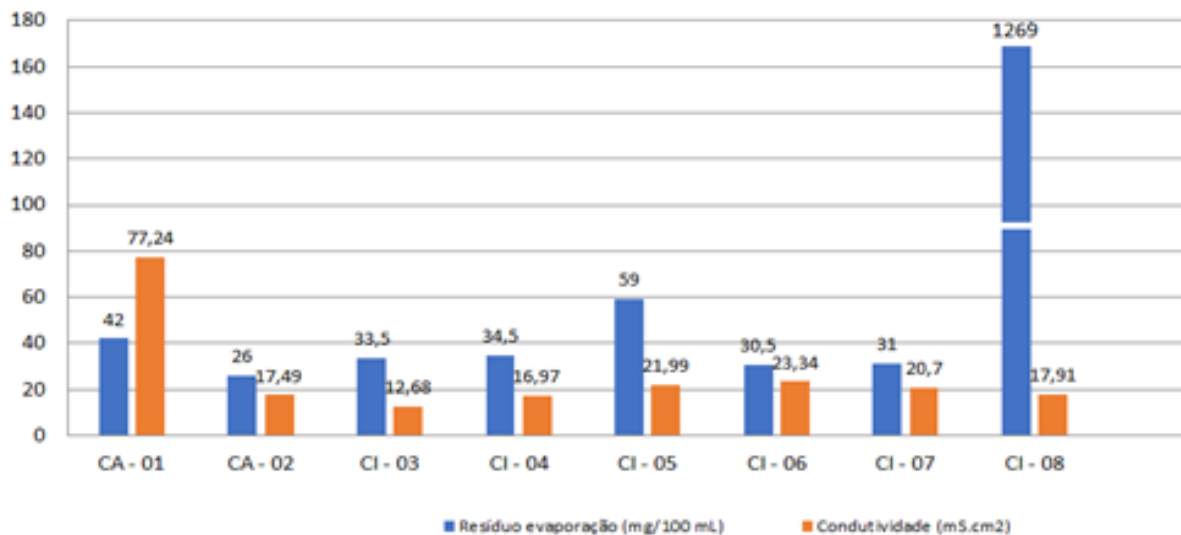
Tabela 6 - Resíduo de Evaporação e Condutividade.

Amostra	Resíduo evaporação (mg/100 mL)	Condutividade (mS.cm ²)
CA-01	42,0	77,24
CA-02	26,0	17,49
CI-03	33,5	12,68
CI-04	34,5	16,97
CI-05	59,0	21,99
CI-06	30,5	23,34
CI-07	31,0	20,70
CI-08	1269,0	17,91

Fonte: dados da pesquisa (2019).

Comparando os resultados obtidos, observou-se que não houve relação entre os resultados, como por exemplo, quanto maior a condutividade maior será o resíduo sólido. Sabe-se que uma maior quantidade de sólidos aumenta a condutividade, pela presença de sólidos dissolvidos na forma iônica. Somente a amostra CI-08 destoa desta tendência.

Figura 9 - Resíduo de evaporação e condutividade



Fonte: dados da pesquisa (2019).

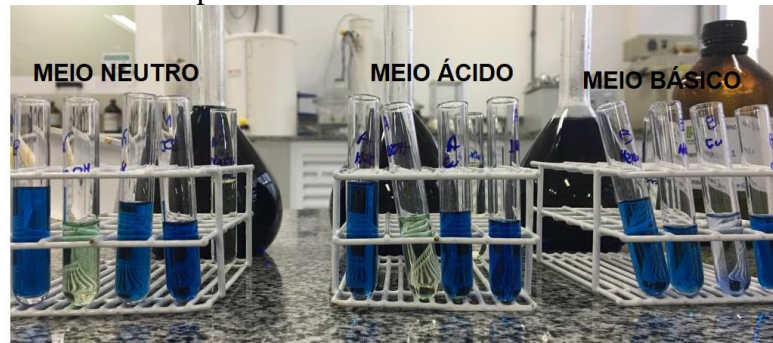
Os valores apresentados nas amostras mostram uma variação nos resultados de condutividade e resíduo de evaporação, mostrando que em determinadas amostras o valor da condutividade alta teve um valor baixo de resíduo de evaporação e vice-versa, conforme observa-se na figura 9.

5.4 Determinação do Cobre na cachaça

5.4.1 Teste de Estabilidade Índigo Carmim

Foi realizado teste qualitativo para verificar qual a estabilidade do corante Índigo Carmim (IC) em diferentes meios, básico, neutro e ácido, o qual foi perceptível a mudança de comportamento durante o tempo de 2 horas, 8 horas e 32 horas, não apresentando ser um método estável por tempo prolongado de análise, como pode ser visualizado as figuras 10,11 e 12.

Figura 10 - Amostras após duas horas.



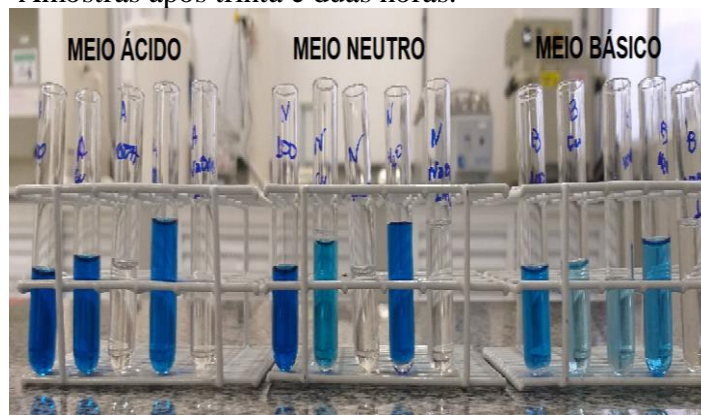
Fonte: dados da pesquisa (2019).

Figura 11 - Amostras após oito horas.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Figura 12 - Amostras após trinta e duas horas.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Pode-se identificar que nos meios ácidos e básicos ocorre a destruição do grupo cromóforo, não sendo métodos estáveis por muito tempo, em contrapartida no meio básico ocorre o sequestro dos hidrogênios prevalecendo assim a cor do corante. Já o meio ácido protona ainda mais o corante, destruindo a estrutura do cromóforo, não tendo estabilidade.

Portanto o meio neutro apresentou-se mais estável, porém é tão estável que não ocorre a desprotonação (saída dos hidrogênios), ou seja, não ocorre a desprotonação para a entrada do íon cobre na molécula para ocorrer a complexação. Portanto para o método

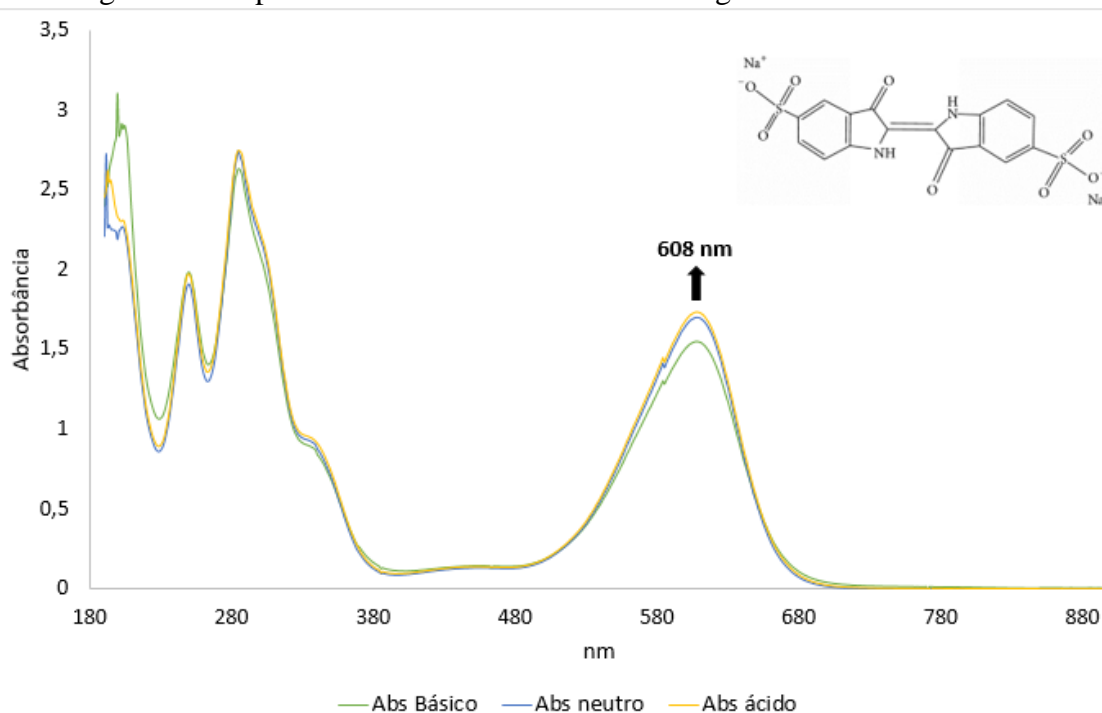
qualitativo o meio básico é o mais indicado porem as análises devem ser realizadas de forma rápida antes de ocorrer as alterações no corante devido sua instabilidade.

5.5 Determinação dos Comprimentos de Máximos de Absorção do Índigo Carmim

5.5.1. Varredura do Comprimento de Onda do IC

Foi realizado também um método quantitativo para apresentar maior confiabilidade e para confirmar o resultado identificado no teste qualitativo. Realizou-se então uma varredura do comprimento de onda dos diferentes meios (ácido, básico e neutro) de 190-1100 nm, para caracterizar os comprimentos onda de absorção do IC. Com os resultados foi realizada a plotagem de um gráfico para a melhor visualização dos resultados, como pode ser visto na figura 13.

Figura 13 - Espectro de Varredura do Corante Índigo Carmim



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Com isso verificou-se que a estrutura do índigo carmim na faixa de 180-380 nm que é a região do ultravioleta foi possível identificar a presença dos anéis aromáticos com bandas em 203, 249 e 285 nm.

O interesse do estudo estava na região de visível, que vai do 400-750 nm, que foi

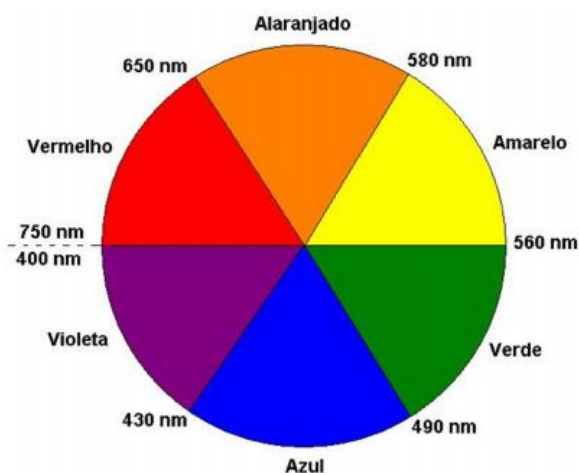
onde ocorreu o pico maior absorção das bandas do corante, que significa que independente do pH das amostras elas apresentaram mesmo comportamento, ou seja, atingiram a absorção na mesma faixa de comprimento de onda, isso significa também que o pH 3-10 não afetou nos resultados para leituras rápidas.

As três varreduras apresentam-se coincidentes, não visualizando alterações entre os mesmos picos de 608 nm, apenas a intensidade. Como pode ser visualizado no gráfico o pico do ácido foi maior por estar protonado devido a sua estabilidade, já o básico teve uma banda de menor intensidade por ser mais instável.

De acordo com Pavia, et al. (2012), a cor que o olho humano percebe é a refletida pelo objeto, e o comprimento de onda absorvido corresponde a cor complementar, ou seja, o nosso cérebro registra a luz refletida que são os complementos da luz que foi absorvida.

Como podemos visualizar a figura 14, a cor do IC é azul que é a cor que emite, porem a cor laranja é a cor absorvida durante a análise.

Figura 14 - Disco de cores, com as cores complementares e intervalos de comprimento de onda.

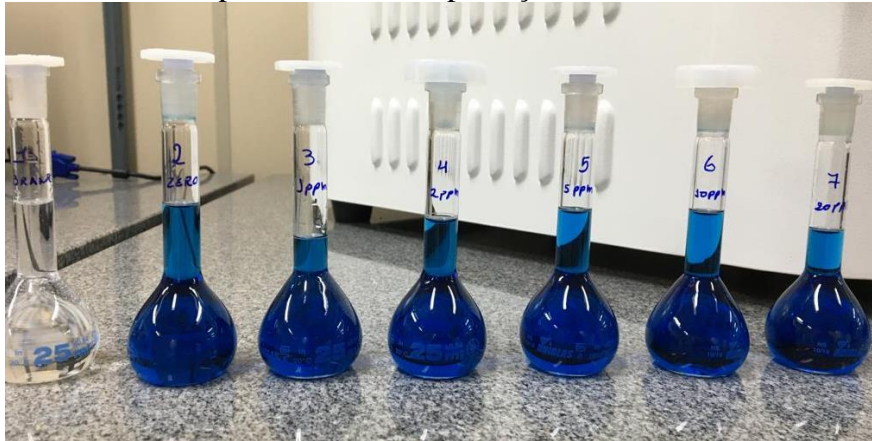


Fonte: De Almeida (2013).

5.5.2 Determinação do Comprimento Máxima de Onda do Complexo

Foram realizadas duas análises para descobrir qual seria o pico máximo de absorção do complexo para utilizá-lo nas amostras. A figura 15 representa o preparo das amostras que foram completadas com água ultrapura.

Figura 15 - Amostra para teste de Complexação do IC.

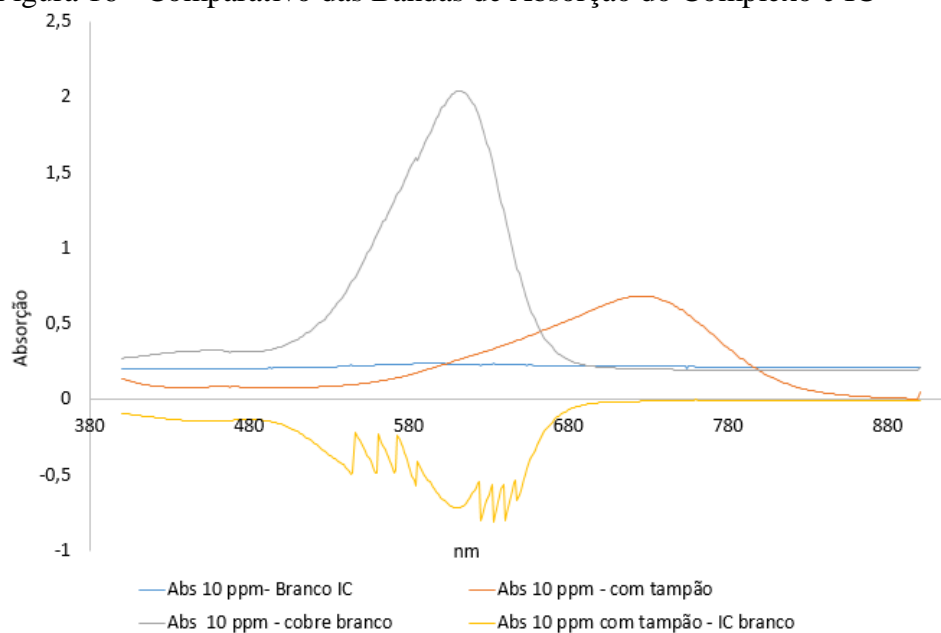


Fonte: dados da pesquisa (2019).

Em todas as leituras foram adicionados 10 ppm de cobre. Quando realizado a leitura utilizando do 10 ppm com adição IC obteve-se apenas uma linha linear sem absorção de nada, quando comparado o 10 ppm com adição IC com cobre, observou-se que apenas obteve-se a leitura do corante presente nas amostras, isso significa que apenas foi possível identificar o pico do corante (608 nm). Quando analisado a amostra contendo tampão foi possível identificar uma nova curva, ou seja, isso era um indicativo de que poderia estar acontecendo a complexação em um meio mais básico, já na análise de 10 ppm com adição de tampão e IC apenas foi identificado ruídos.

Portanto pode-se perceber que quando utilizado maiores concentrações do tampão de carbonato existia a complexação das amostras.

Figura 16 - Comparativo das Bandas de Absorção do Complexo e IC



Fonte: dados da pesquisa (2019).

A concentração de tampão carbonato utilizado não foi suficiente para manter o pH estável e promover a complexação das amostras, pois o meio ficou muito ácido, ou seja, não permitindo a saída dos hidrogênios da molécula de índigo carmim e entrando o íon cobre na molécula. Portanto foi realizado a segunda amostragem aumentando a concentração de tampão para possibilitar que os meios ficassem mais básicos, como pode ser identificado a figura 17.

Figura 17 - Amostra com Maior Concentração de Solução Tampão.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

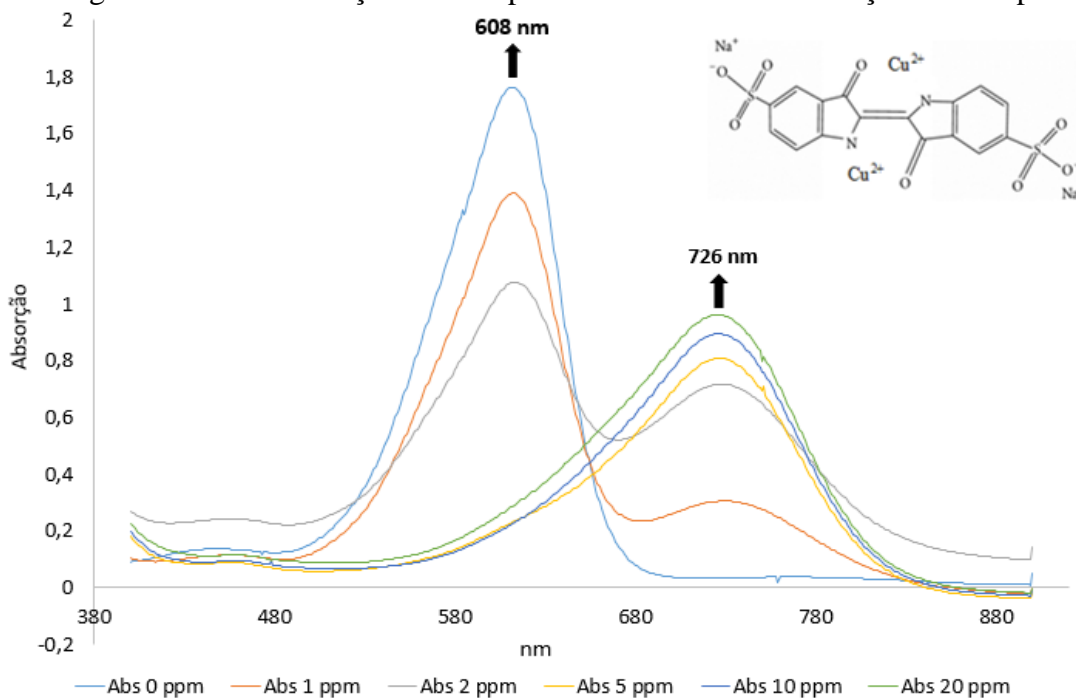
A segunda parte das análises foram realizadas para descobrir o pico de máxima absorção e a estabilidade do complexo, sendo analisados em 1 hora, 2 horas e 4 horas.

Com isso, na segunda análise podemos verificar que no gráfico obteve-se dois picos de absorção, de uma média de 726 nm, que corresponde ao pico de máxima absorção da complexação entre o cobre e o corante, já o outro pico corresponde a máxima absorção de 608 que é do corante índigo carmim.

Conforme aumenta a concentração (ppm) do cobre, maior é o pico da complexação e menor o do corante, isso devido a ligação entre o corante e o íon cobre, figura 18.

Através do gráfico foi possível verificar que 1 mL de corante não foi suficiente como pode ser visualizado no gráfico, pois nas concentrações de 20 ppm não possuía mais corante disponível para as reações, todo o corante foi capturado pelo íon cobre, por isso o método foi ajustado, passando a utilizar 2 mL de corante IC.

Figura 18 – Determinação do Comprimento Máximo de Absorção do Complexo



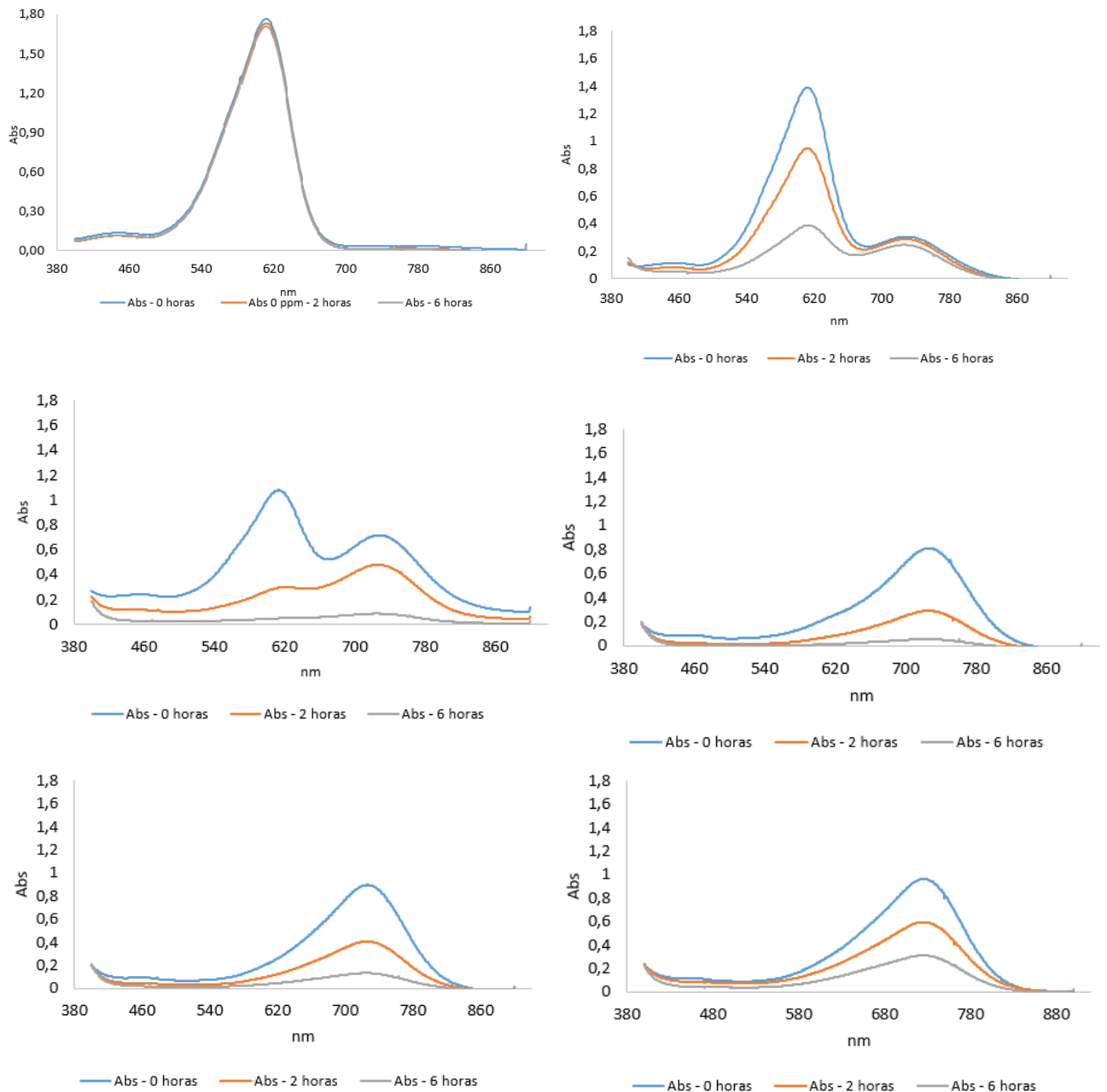
De acordo com as análises realizadas por Zanoni, et al. (2010), para identificação das bandas de absorção do índigo carmim, foi identificado uma absorção no comprimento de onda em 615nm, ou seja, podemos verificar que as bandas identificadas no presente trabalho se encontraram próximas das identificadas em trabalhos já realizados anteriormente com o corante índigo carmim.

5.5.3 Teste de Estabilidade do Complexo

Foram avaliados durante os tempos zero, 2 horas e 6 horas as amostras, sendo realizada a varredura do complexo para verificar a estabilidade do corante. Podemos perceber através dos gráficos que o corante foi perdendo a estabilidade, com o passar das horas, pois ocorreu a complexação, o corante foi sequestrado pelo íon cobre, assim ocorrendo a diminuição da intensidade da banda 608 nm do corante. Como pode ser visualizado curvas de 6 horas o sinal foi tão baixo que não permite realizar mais as leituras pois não possuía mais corante disponível para as reações.

Portanto pode-se identificar que as análises devem ser realizadas em concentrações menores, mais precisamente em 1ppm e no máximo até 2 horas, pois foi nestas condições que as amostras de mantiveram em melhores condições de análise.

Figura 19 – Absorção do Complexo de 0 ppm a 20 ppm



Fonte: dados da pesquisa (2019).

5.6 Construção das Curvas de Calibração

5.6.1 Teste 01

Foi realizado o preparo das amostras com uma cachaça sintética (etanol) para realizar a curva de calibração das amostras, foi utilizando 0 ppm como branco e as concentrações de 1, 2, 5, 10 e 20 ppm de cobre para realizar a curva. Para essa etapa foi utilizado os 2 mL de

IC, para que não ocorresse toda a absorção da corante pelo complexo, por isso podemos visualizar que as amostras apresentam uma coloração mais acentuada que as amostras utilizadas para os testes anteriores.

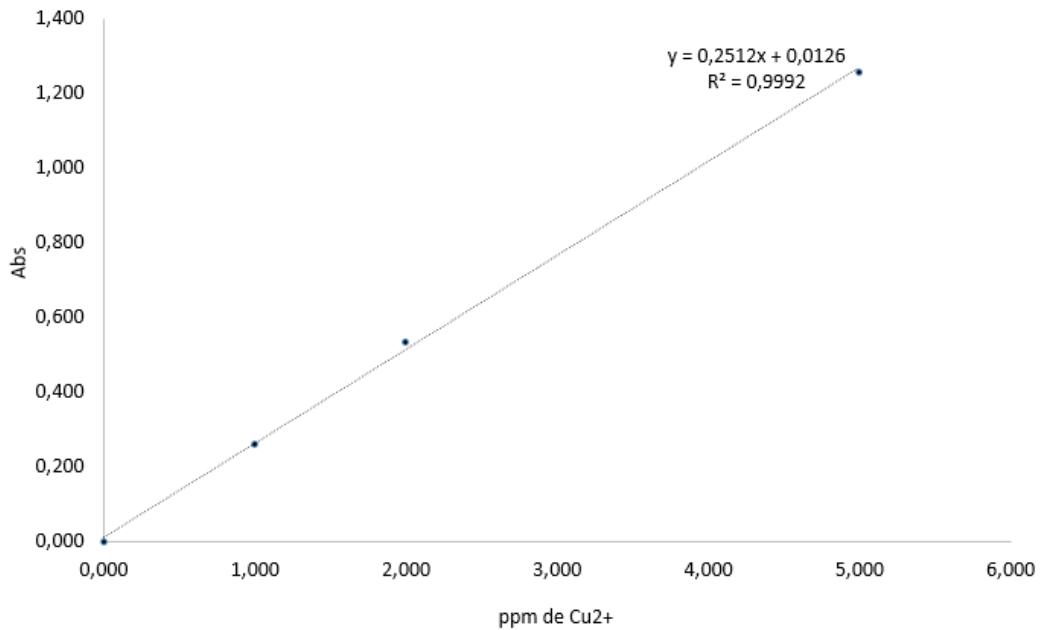
Figura 20 – Amostras para Curva de Calibração



Fonte: dados da pesquisa (2019).

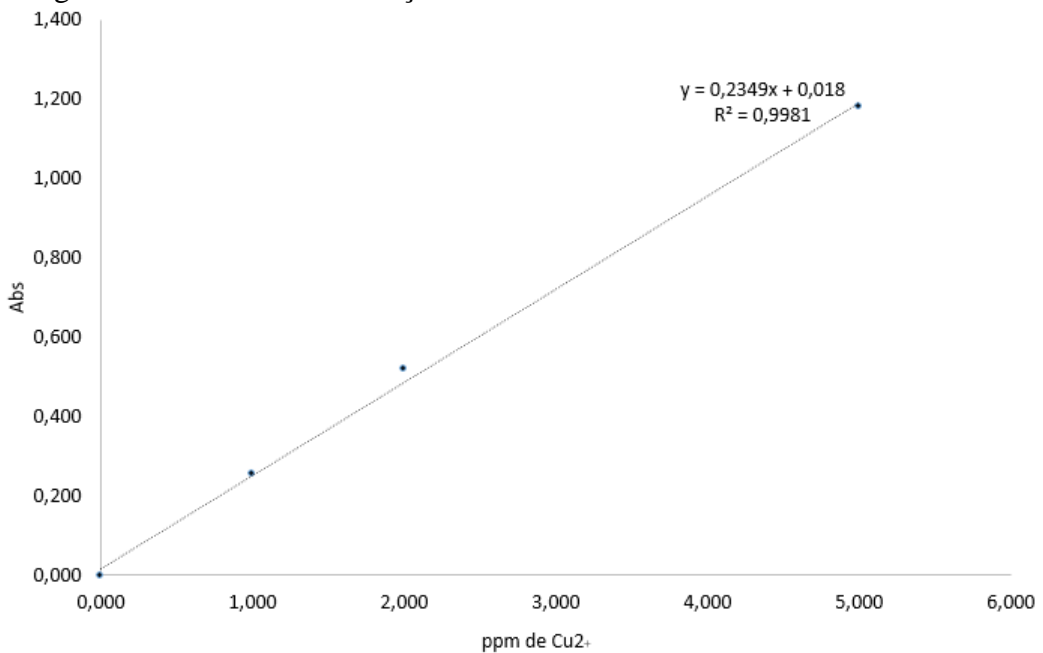
Após realizado a leitura das amostras foi gerada a curva de calibração com a equação da reta, na qual foi percebido que a concentração de 10 e 20 ppm extrapolavam a lei de Beer, ou seja, sendo inviável utilizá-las na pesquisa. Os valores encontrados na curva de 2 horas para o R^2 foi de 0,9939 e um coeficiente linear de 0,0271, já para a amostra de 4 horas o R^2 foi de 0,9512 e um coeficiente linear de 0,0683, sendo valores inviáveis, e de baixa confiabilidade, quando comparados com os valores de zero e 1 hora. Podem ser visualizados as curvas de calibração de zero e 1 hora nas figuras 26 e 27, as quais apresentam valores de R^2 próximo a 1.

Figura 21 – Curva de Calibração de zero horas.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

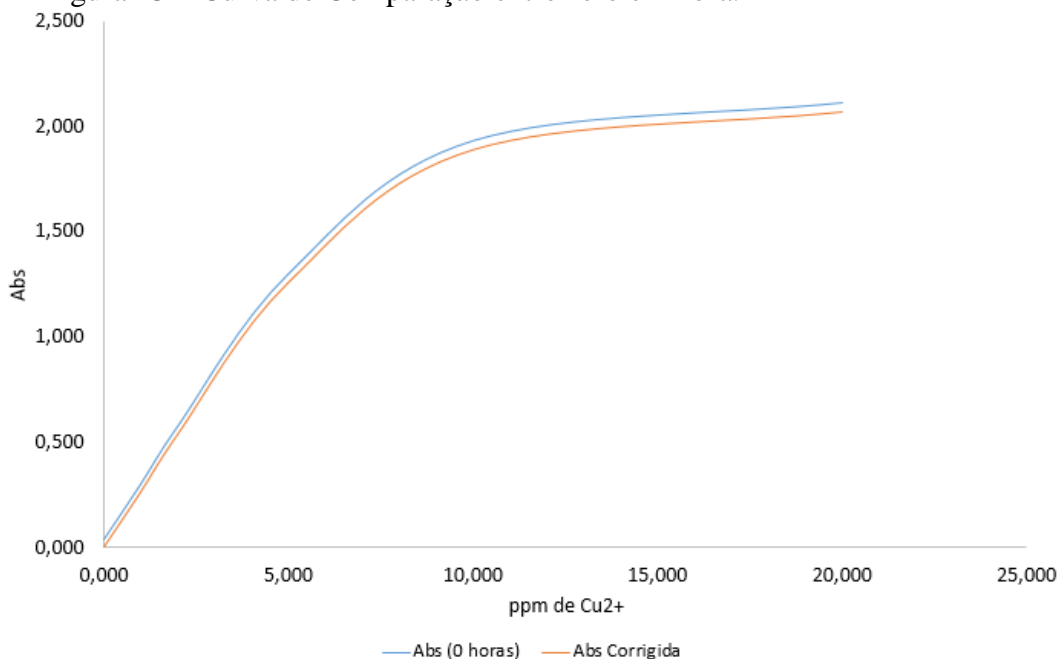
Figura 22 – Curva de Calibração de 1 hora.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Portanto como pode ser visto na figura 28, os pontos 10 e 20 ppm foram excluídos da curva de calibração pois os valores de absorbância não são proporcionais a concentração, portanto, extrapolam a lei de Beer. Na curva laranja apresenta o uso do IC como branco e a curva azul usando a cachaça sintética como branco, ou seja, as duas apresentaram comportamentos semelhantes.

Figura 23 – Curva de Comparação entre zero e 1 hora.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

5.6.1 Teste de Repetição

Como a curva não possui valores tão bons, com leituras próximas de 1, as absorções da cachaça foram baixas, fazendo com que os valores ficassem negativos e o coeficiente linear muito alto.

Portanto foi realizado um novo preparo das amostras para obtenção de uma curva mais linear, obtendo resultados mais precisos e para determinar que o método é confiável, por isso foi realizado um novo preparo das amostras com concentrações diferentes da anterior. Foi reduzido a quantidade de padrão de cobre e a concentração de ppm para obtenção de uma curva mais precisa e que estivesse ainda mais próxima de 1. As amostras foram preparadas conforme apresenta a tabela 7.

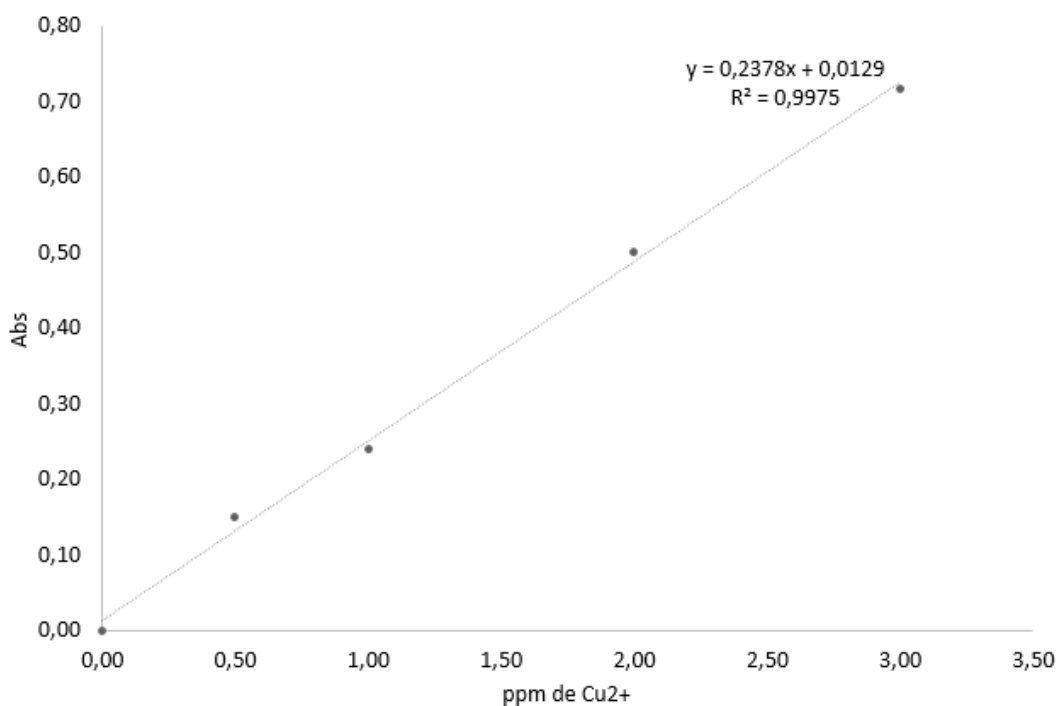
Tabela 7 – Preparo das amostras para a Curva de Calibração.

Amostra	Concentração de Cu ²⁺	Volume de Cu 1000 ppm
1	Branco	0
2	0,5	12,5
3	1	25
4	2	50
5	3	75
6	4	100
7	6	150

Fonte: dados da pesquisa (2019).

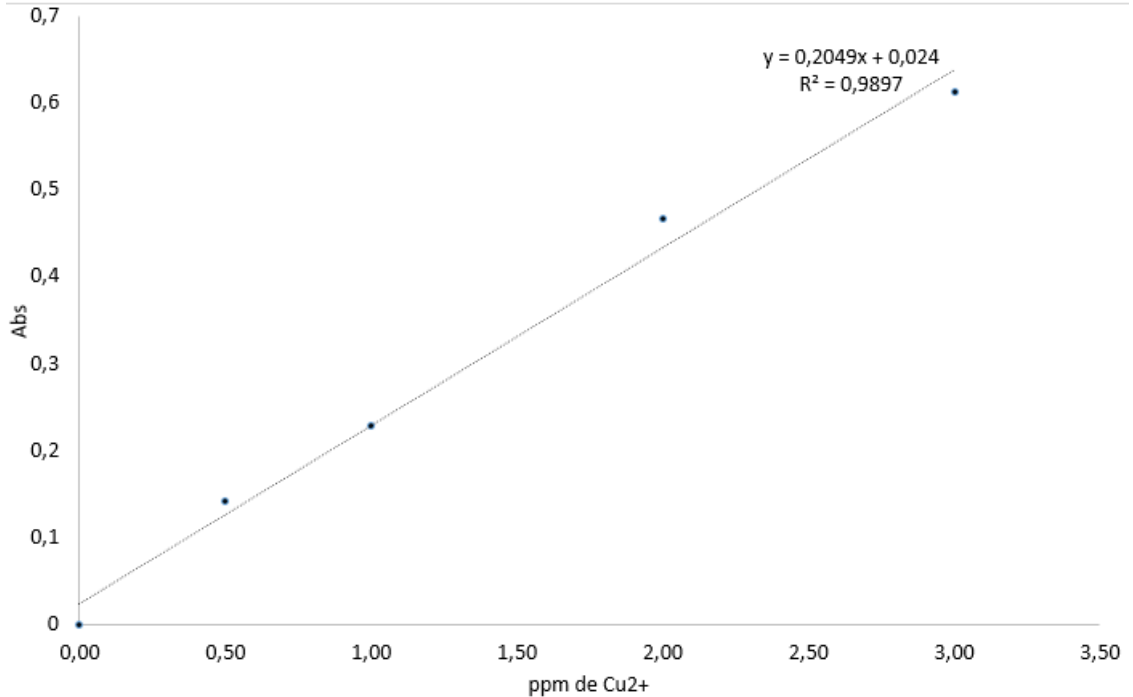
Tanto para as curvas do teste 01 e para o teste de repetição os valores de 10 e 20 ppm foram excluídos pois em ambas os valores obtidos extrapolavam a lei de Beer, sendo que as curvas de zero e 1 hora apresentaram valores mais confiáveis pois os dados obtidos pelo R² foram próximos de 1, o que torna o método confiável.

Figura 24 – Curva de Calibração de zero horas.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

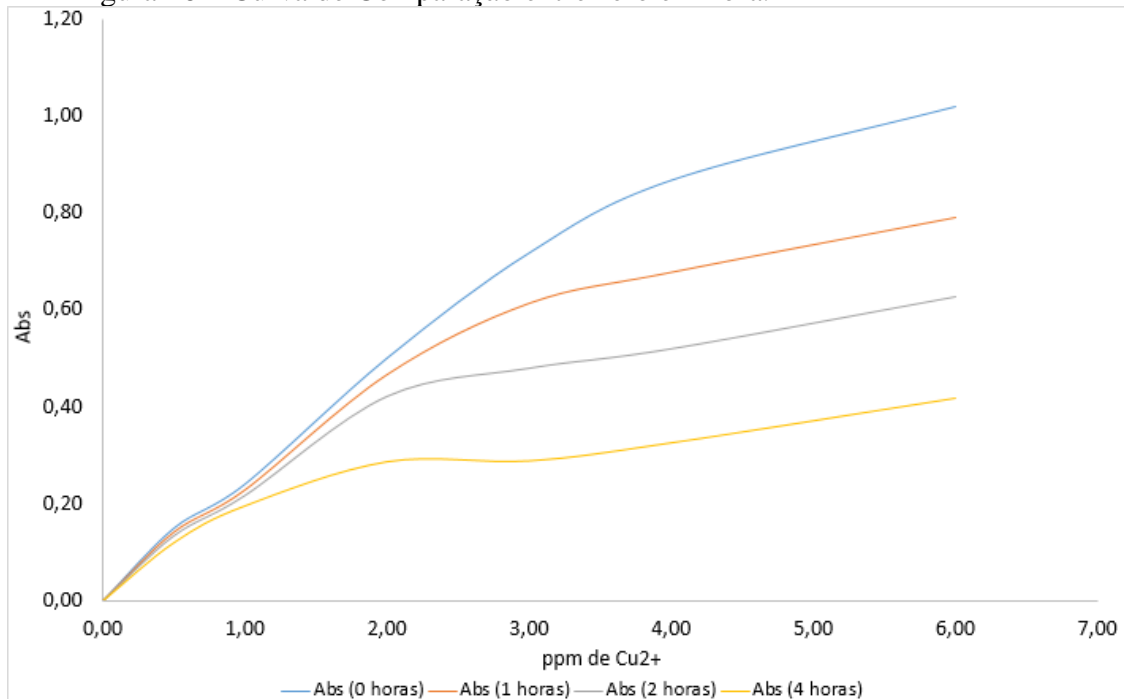
Figura 25 – Curva de Calibração de 1 hora.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Na curva de repetição onde foi realizada a comparação entre zero e uma hora foi identificado que a partir de um momento a curva deixou de apresentar sensibilidade, ou seja, o equipamento não foi mais capaz de realizar as leituras, e isso foi identificado, pois as curvas não apresentaram mais linearidade.

Figura 26 – Curva de Comparação entre zero e 1 hora.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Também foi possível identificar a olho nu, pois é visível a diferença de cor com o passar das horas, na figura 32 é possível notar a diferença entre zero hora e 4 horas.

Figura 27 – Diferença das amostras de Curva de Calibração de Zero e Quatro horas.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

Essa mudança de coloração além de evidenciar que o corante não possui boa estabilidade, ao mesmo tempo identifica que ocorreu a complexação, ou seja, a mudança da coloração do azul para o esverdeado, quer dizer que existe a presença de cobre, indicando que a molécula do IC foi capaz de capturar os íons cobre presentes no meio formando o complexo.

Na figura 33 podemos identificar as amostras de cachaças utilizadas, e verifica-se que assim como as amostras usadas para realizar a curva de calibração, as amostras de cachaça apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, com o passar das horas ocorreu a mudança da coloração das amostras que apresentam indicativos de contaminação.

Figura 28 – Diferença das amostras no Tempo de Zero e Quatro horas.



Fonte: dados da pesquisa (2019).

5.7 Determinação de Cobre nas Amostras de Cachaça

Após a obtenção da curva de calibração, foram utilizados 4 valores para a tabulação dos resultados, foi utilizado os valores de zero e 1 hora do teste 01 e do teste de repetição pois foram os valores que mais apresentaram confiabilidade dos resultados. As amostras CA representam amostras artesanais e as CI representam as industriais.

Tabela 8 – Resultados da concentração de cobre das amostras de Cachaça.

Amostra	01/nov-0h	01/nov-1h	29/out-0h	29/out-1h	média	desvpad
	Cu ²⁺ ppm	Cu ²⁺ ppm	Cu ²⁺ ppm	Cu ²⁺ ppm	ppm	ppm
1	0,36	0,23	0,43	0,39	0,35	0,09
2	1,05	1,12	0,62	0,59	0,85	0,28
3	6,53	6,52	7,01	7,16	6,80	0,33
4	0,21	0,07	0,05	-0,02	0,08	0,10
5	-0,20	-0,39	0,18	0,12	< 0,01	-
6	0,33	0,22	0,08	0,02	0,16	0,14
7	0,69	0,66	0,68	0,62	0,66	0,03
8	-0,19	-0,26	-0,11	-0,19	< 0,01	-

Fonte: dados da pesquisa (2019).

Portanto através dos dados expressos na tabela 8, pode-se visualizar que apenas a amostra 3 apresentou valores de cobre acima do estabelecido pela legislação, sendo que a legislação prevê um limite máximo de 5 mg/L e a amostra apresentou um valor de 6,80 mg/L. Já as demais amostras apresentaram valores inferiores comparados a legislação, sendo que as amostras 5 e 8 apresentaram valores abaixo do limite de confiabilidade. Em outras duas amostras foi identificado valores < 0,01 mg/L, para essas amostras, a absorbância de leitura ficou abaixo do coeficiente linear nas curvas de calibração e, portanto, provavelmente ficaram fora do limite de quantificação.

Contudo, pode-se verificar que apenas 12,5 % das amostras analisadas na região Oeste apresentaram contaminações acima do estabelecido pela legislação vigente, ou seja, apenas uma das amostras apresentou contaminação sendo que uma das possíveis causas para a presença do contaminante cobre. De acordo com Azevedo (2003) em comparação aos outros estados, Minas Gerais apresentou cerca de 6,7 % contaminação por cobre, já para os estudos realizados por Garbin (2005), 11,11 % das amostras da microrregião do Ijuí no Rio Grande do Sul apresentaram contaminações acima do estabelecido pela legislação.

Essas contaminações encontradas nas amostras do Oeste de Santa Catarina podem estar ligadas a higienização do destilador, por ser novo e estar liberando facilmente o cobre, ou pode também ser velho e estar com uma incrustação interna.

Tabela 9 – Resultados de todas as análises realizadas.

Amostras	%Etanol (20 °C)	Acidez	pH	Resíduo evaporação (mg/100 mL)	Condutivi dade (mS.cm²)	Concentração de Cobre (ppm)
CA01	38,3	57,716	5,02	42,0	77,24	0,35
CA02	41,2	33,517	4,74	26,0	17,49	0,85
CI03	42,6	65,088	4,53	33,5	12,68	6,80
CI04	40,8	49,096	4,58	34,5	16,97	0,08
CI05	42,0	7,927	4,57	59,0	21,99	< 0,01
CI06	44,0	12,405	4,05	30,5	23,34	0,16
CI07	39,1	12,563	4,58	31,0	20,70	0,66
CI08	49,8	12,604	4,09	1269,0	17,91	< 0,01

A tabela 09, apresenta um resumo de todos os resultados encontrados das análises realizadas com as amostras de cachaças.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi possível mensurar qual o comprimento de onda máxima de absorção do corante utilizado para realizar a complexação das amostras de cachaça, o pico de maior absorção na faixa de 726 nm. Foram realizados também alguns testes qualitativos e quantitativos para verificar qual seria a melhor condição de estabilidade para o corante, sendo realizada a análise em meios ácidos, básicos e neutros, sendo perceptível que o meio básico desprotona o corante para realizar a complexação, porém ele degrada o grupo cormóforo com o passar do tempo, desestabilizando o corante.

Foram realizados testes para verificar em quanto tempo e em quais concentrações o corante se tornava estável, durante os tempos zero, 1 hora, 2 horas e 6 horas. O primeiro teste foi aplicado uma concentração de 1, 2, 5, 10 e 20 ppm, utilizado 2 mL de IC e utilizando padrão de Cu^{2+} 25, 50, 125, 250 e 500 microlitros, verificando que a partir das 2 horas não era mais possível identificar o corante, pois a quantidade utilizada era praticamente toda consumida pelo íon de cobre durante a complexação, não sendo estável por muito tempo. Já no outro teste foi aplicada uma concentração de 0,5; 1, 2, 3, 4 e 6 ppm, utilizado 1 mL de IC e utilizando padrão de Cu^{2+} 12,5; 25, 50, 75, 100 e 150 microlitros, durante os tempos zero, 1 hora, 2 horas e 4 horas, sendo possível verificar que a estabilidade do corante foi maior durante zero e 1 hora.

As amostras de cachaças analisadas apresentaram conformidade com a legislação vigente nos valores obtidos nos teores de acidez média. O percentual de etanol na cachaça CI-08 apresentou valor acima do permitido, portanto, não estava em conformidade com a Instrução Normativa nº 13/2005. Em relação ao teor alcoólico descrito na embalagem e o valor encontrado nas análises, somente a amostra CI - 07 teve o resultado aproximado ao que consta na rotulagem.

Durante a execução do trabalho encontrou-se algumas dificuldades, pois teve que ser desenvolvido um método para determinar qual era quantidade de cobre nas amostras, tiveram que ser realizados alguns testes preliminares para identificar qual a quantidade de etanol, qual a concentração de Cu^{2+} , quanto de corante utilizar e realizar varreduras dos comprimentos de onda para então ser possível realizar as análises propriamente ditas das cachaças.

Após a obtenção dos resultados foi verificado que apenas uma das amostras analisadas apresentou valores acima do estabelecido pela legislação vigente para a quantidade de cobre em amostras de cachaça, com isso a região Oeste de Santa Catarina apresentou 12,5% das amostras contaminadas por cobre.

Devido à presença de contaminantes na cachaça, os fabricantes serão informados dos resultados e será sugerido as empresas que realizem uma adequada higienização do alambique, desta forma evitará o acúmulo do azinhavre, o qual é responsável pelo aumento do teor de cobre na cachaça, garantindo um produto de qualidade e livre de contaminantes que possam prejudicar a saúde do consumidor, além de atender o consumidor.

Através da realização do presente trabalho, foi possível identificar a amplitude e importância do mesmo, sendo possível a sugestão de continuidade do projeto, como a higienização dos destiladores auxiliando os produtores sobre forma correta de realizar esta limpeza, quais os reagentes adequados para esta etapa. Foi perceptível uma grande geração de resíduos durante os testes, sendo assim sugerido outro estudo de como realizar um tratamento adequado, pois existe uma grande quantidade de corante índigo carmim e padrão de cobre como residual. Poderão também ser realizados estudos utilizando o índigo para a determinação de outros metais como níquel, cobalto, chumbo entre outros, e por fim pode ser realizado um estudo para identificar quais as propriedades químicas do complexo formado durante a reação entre o corante e o cobre, verificar qual a sua geometria e a solubilidade do mesmo.

Portanto pode-se salientar que existe uma grande importância no desenvolvimento deste trabalho, pois além de identificar se existe ou não a presença de cobre nas amostras de cachaças do Oeste de Santa Catarina, e sua conformidade com a legislação, podemos ainda colaborar em auxiliar e informar as empresas da real necessidade de fornecer um produto de qualidade e livre de substâncias que possam estar prejudicando a vida do consumidor, pois a maior parte dos fabricantes não tem o entendimento, e muitas vezes não sabem quais os perigos que podem estar relacionados aos produtos fornecidos aos consumidores.

REFERÊNCIAS

- ANTES, B.S., Aplicação do processo foto-fenton na degradação do corante índigo carmin. Trabalho Conclusão do Curso – Universidade Fronteira Sul – Cerro Largo, 2017.
- AGILENT TECHNOLOGIES. Flame atomic absorption spectrometry analytical methods, 10th edition. p. 164, 2012.
- ALAMBIQUE DA CACHAÇA Portal. 2009. Disponível em: <http://www.alambiquedacachaca.com.br>. Acesso em 05 de julho 2019.
- AZEVEDO, S. M. et al. Survey of the copper contamination in sugar cane brandies produced in Minas Gerais / Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais. *Ciência agrotecnologia*, v. 27, n. 3, p. 618-624, 2003.
- BACCAN, Nivaldo. Química analítica quantitativa elementar / Nivaldo Baccan, João Carlos de Andrade, Oswaldo E. S. Godinho e José Salvador Barone. 3º edição - São Paulo: Blucher - Instituto Mauá de tecnologia, 2001.
- BRASIL. Decreto 6.871 de 4 de junho de 2009. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/vigilancia-agropecuaria/ivegetal/bebidas-arquivos/decreto-no-6-871-de-4-de-junho-de-2009.doc/view>>. Acesso em: 18/04/2019.
- CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**, 2º edição. Campinas: Unicamp, 2003.
- CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D. **Análise Instrumental**, Rio de Janeiro: Interciência, 2000.
- KASVI. Disponível em: <<https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentração-solucoes/>>. Acesso em: 25/04/2019.
- ESTRATEGIA CONCURSOS. 2019. Disponível em: <<https://www.estrategiaconcursos.com.br/blog/quimica-e-farmacia-aula-ao-vivo-tecnicas-de-espectroscopia-atmica-no-uv-vis/>>. Acesso em 08 de julho 2019.
- EMBRAPA. 2008. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinho/SistemaProducaoDestiladoVinho/destilacao.htm>. Acesso em 07 de julho 2019.
- FEITOSA, Patrícia Cristina Leite. **Cachaça como Identidade Cultural**. Curso de Especialização em Turismo, Cultura e Lazer. Brasília, abril de 2005. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/620/1/2005_PatriciaCristinaLeiteFeitosa.pdf>. Acesso em 01/05/2019.
- FILHO, Waldemar Gastoni Venturini. **Bebidas alcoólicas: Ciência e tecnologia**, São Paulo: Publicações do Blucher, 2010.
- GARBIN, R.; BOGUSZ JUNIOR, S.; MONTANO, M. A. Níveis de cobre em amostras de

cachaça produzidas na região noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1436–1440, 2005.

GERAIS, E. M. M. et al. Aguardentes De Cana-De-Açúcar Produzidas Survey of the Copper Contamination in. 2003.

Instituto Adolfo Lutz (IAL). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coord.: Zenebon, O., Pascuet N. S. e Tiglia, P. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. (Edição digital).

Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005. Dispõe sobre a aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/vigilancia-agropecuaria/ivegetal/bebidas-arquivos/in-no-13-de-29-de-junho-de-2005.doc/view>>. Acesso em: 20/03/2019.

KRUG, F. J.; NÓBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. DE. Espectrometria de Absorção Atômica Parte 1. Fundamentos e atomização com chama. p. 40, 2004.

LIMA, A. D. J. B. et al. Emprego do carvão ativado para remoção de cobre em cachaça. *Química Nova*, v. 29, n. 2, p. 247–250, 2006.

NASCIMENTO, R. F. et al. The influence of the material used in building the distiller in the sugar-cane-spirit chemical profile | Influência do material do alambique na composição química das aguardentes de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 21, n. 6, p. 735–739, 1998.

OLIVEIRA, Marcel de Campos. **Avaliação da Qualidade físico-química e sensorial da cachaça orgânica envelhecida**. 2016. Tese (Ciências Agrárias e Veterinárias) - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2016.

OSTI, Lucio Tanaka. 2014. **Cobre em Cachaça**. Disponível em: <<http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=1462>>. Acesso 08 julho de 2019

RESEARCHGATE. 2019. Disponível em: < https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Exemplo-do-comportamento-da-luz-com-relacao-a-frequencia-e-o-comprimento-de_fig2_329625039>. Acesso em: 06/07/2019.

ROSA, R. B. DA et al. AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DOS EFEITOS DO COBRE NA ESPÉCIE *Carassius auratus*. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 260, 2018.

RODRIGUES, Lucas. O que é cromatografia. **Química Suprema**. 2013. Disponível em: < <Http://www.quimicasuprema.com/2013/12/o-que-e-cromatografia.html> >. Acesso em: 01/04/2019.

RODRIGUES, Leonardo Milani Avelar. **Cachaças envelhecidas em diferentes tipos de madeiras: quantificação de compostos fenólicos, atividade antibacteriana e antifúngica**. 2013. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SILVA, Carlos Arthur Barbosa da, et al. Projeto de Empreendimentos Agroindustriais: **Produtos de Origem animal**. Ed. 1. Viçosa: Editora UFV, 2011.

FILHO, Waldemar Gastoni Venturini. **Bebidas alcoólicas: Ciência e tecnologia**, São Paulo: Publicações do Blucher, 2010.

SOUZA, J. C. **Determinação íons cobre (II) em aguardente de cana-de açúcar utilizando a combinação spot test – espectroscopia de reflectância difusa**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Química) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2015.

VENDRUSCOLO, C.C., Utilização de resíduos da produção de farinha de trigo como material adsorvente dos corantes têxteis índigo carmin e azul de metileno. 2017. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

VOLPE, T. C. Avaliação das características físico-químicas da cachaça industrial e artesanal comercializadas no centro norte paranaense. p. 55–65, 2013.

VINADÉ, M. E. D. C.; VINADÉ, E. R. D. C. Métodos Espectroscópicos de Análise Quantitativa, Santa Maria: UFSM, 2005.

ZANONI, T. B., CARDOSO, A. A., ZANONI, M. V. B., FERREIRA, A. A. P. Exploratory study on sequestration of some essential metal by indigo carmine food dye. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 46, p.723-730, 2010.

ZENDRON, D. R. Mecanismos de neurotoxicidade e doenças neurológicas relacionadas à intoxicação por metais pesados, 2015.