



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Análise preliminar da viabilidade econômica do uso de resinas de troca iônica e carvão ativado na clarificação do xarope para a indústria de refrigerantes

Autor: Luana Andreia Schwendler

Orientador: Aline Schilling Cassini

Porto Alegre, dezembro de 15

- ii **Análise preliminar da viabilidade econômica do uso de resinas de troca iônica e carvão ativado na clarificação do xarope para a indústria de refrigerantes**
-

Sumário

Sumário	iii
Agradecimentos	iv
O Resumo	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas	viii
1 Introdução	1
2 Fundamentos teóricos e Revisão Bibliográfica	3
2.1 A história do refrigerante	3
2.2 Mercado de refrigerantes	3
2.3 Matérias-primas da indústria de refrigerantes	4
2.3.1 Água	4
2.3.2 Acidulantes	5
2.3.3 Açúcar	5
2.3.4 Conservantes	6
2.3.5 Aromatizantes e flavorizantes	6
2.3.6 Antioxidantes	7
2.3.7 Corantes	7
2.3.8 Edulcorantes	7
2.3.9 Dióxido de carbono	8
2.4 A produção de refrigerantes	8
2.4.1 Dissolução do açúcar	9
2.4.2 Tratamento do açúcar	9
2.4.3 Filtração e o resfriamento do xarope	12
2.4.4 Preparo do xarope composto	13
2.4.5 Carbonatação	13
2.4.6 Envase	14
3 Estudo de caso	14
4 Discussão e Resultados	20
5 Conclusões	25
6 Referências	26

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus pela vida e por me permitir chegar até aqui. À minha família e, principalmente, aos meus pais, Auri e Vanderleni, por todo o apoio, carinho, amor e entenderem os momentos em que não estive presente para que pudesse realizar esse sonho.

Agradeço às minhas amigas e, em breve, colegas de profissão Fernanda, Flávia e Laura por tornar estes últimos cinco anos mais alegres.

Agradeço aos meus colegas de trabalho Roberto, Fabrício, Maria José, Cristiane, Rodolfo e Galatto por contribuírem para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha orientadora, Professora Aline pela paciência e disposição em me ajudar neste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, seus professores e funcionários pelo ensino de qualidade, formando profissionais capazes de fazer a diferença na sociedade.

O Resumo

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de refrigerantes, com produção líquida inferior apenas aos Estados Unidos e México. No ano de 2014, a indústria produziu cerca de 15,7 bilhões de litros da bebida, dos quais, aproximadamente, 1,7% foram produzidos na fábrica estudada neste trabalho. O mercado de refrigerantes é sazonal, principalmente no Rio Grande do Sul, sendo que a produção nos meses mais frios do ano é metade da registrada nos meses de temperaturas mais elevadas. Visando produzir um produto de qualidade, mas de menor custo, a indústria de refrigerantes utiliza como matéria prima diferentes tipos de açúcares, com diferentes colorações e, por consequência, diferentes preços. A fim de obter um produto dentro das especificações de qualidade do mercado, deve-se proceder a um tratamento da solução de sacarose resultante da dissolução dos açúcares de coloração mais escuras, em água. Este tratamento tem o objetivo de tornar a solução de xarope incolor e límpida. Neste trabalho, estudou-se a viabilidade econômica de dois tipos de tratamento distintos para os diferentes tipos de açúcar empregados na indústria: adsorção por troca iônica e por carvão ativado. Ainda, analisou-se a viabilidade do uso de resinas de troca iônica em períodos de baixa produção da bebida, visto que este é um processo contínuo e possui peculiaridades que devem ser consideradas. Foram analisados dados de produção de refrigerantes e calculados custos de produção de quatro configurações diferentes de produção de xarope simples. Após análise dos dados concluiu-se que o açúcar mais viável economicamente é o açúcar tipo B e o tratamento mais viável para o processo é o tratamento com resinas de troca iônica.

Lista de Figuras

Figura 2.1: Volume de refrigerante (em L) produzido no Brasil, entre janeiro de 2010 (01/10) e outubro de 2014 (10/14) (AFREBRAS, 2015).....	4
Figura 2.2: Fluxograma do processo de produção de refrigerantes (ADAPTADO DE BARNABÉ, 2010)	8
Figura 2.3: Processo de diluição e carbonatação do refrigerante (FREITAS FILHO, 2009) .	14
Figura 3.1: Fluxograma do processo de produção de refrigerantes, evidenciando os dois tipos distintos de tratamento do açúcar (Adaptado de BARNABÉ, 2010)	15
Figura 3.2: Resinas empregadas na clarificação do xarope de açúcar (Adaptado de SELVA, 2014).....	16

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Especificações exigidas para o açúcar empregado na produção de refrigerantes.	6
Tabela 2.2: Principais edulcorantes da indústria de refrigerantes	7
Tabela 3.1: Tipos de açúcar empregados na indústria de refrigerantes	17
Tabela 3.2: Configurações de açúcar versus tratamentos avaliados no estudo.....	17
Tabela 3.3: Produções líquidas de refrigerante com açúcar pela planta em questão durante o ano de 2014.	18
Tabela 4.1: Denominação dos tipos de tratamento de açúcar estudados neste trabalho.	20
Tabela 4.2: Quantidades relativas das matérias primas do xarope simples em cada tipo de tratamento estudado.	21
Tabela 4.3: Custos relativos das matérias primas e reagentes empregados nos diferentes tipos de tratamento estudados.	22
Tabela 4.4: Custos relativos de produção de xarope simples pelos diferentes métodos estudados	23

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABIR: Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e Bebidas não Alccólicas

AFEBRAS: Associação dos Fabricantes de Refrigerantes do Brasil

ICUMSA: *International Commition for Uniform Methods of Sugar Analysis*

PET: Polietileno tereftalato

1 Introdução

Nos processos industriais, é incansável a busca da produção de produtos de baixo custo aliados à alta qualidade e menor impacto ambiental. Inserida neste contexto, a indústria de refrigerantes visa cada vez mais produzir seus produtos de forma sustentável, econômica e ambientalmente correta.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de refrigerantes. No ano de 2014 produziu cerca de 15,7 bilhões de litros da bebida. No entanto, o mercado de refrigerantes brasileiro, e principalmente o gaúcho, é sazonal, visto que nos meses mais frios a produção, e conseqüentemente o consumo, da bebida é cerca da metade da produção dos meses de temperatura mais elevada.

As matérias primas básicas utilizadas na produção de refrigerantes são: água, açúcar, concentrados e gás carbônico. A fim de reduzir o custo de produção da bebida, utilizam-se certos tipos de açúcar com coloração mais escurecida e certo grau de turbidez. No entanto, de modo a garantir o produto dentro das especificações de qualidade exigidas pelo consumidor, faz-se necessário o tratamento deste açúcar, com o objetivo de tornar o xarope límpido e incolor.

Dentre as possíveis técnicas de remoção dos compostos que conferem cor e turbidez ao xarope, optou-se pelo estudo das duas técnicas empregadas na empresa estudada: a troca iônica e a adsorção por carvão ativado.

A técnica largamente utilizada para o tratamento destes açúcares é a de adsorção com carvão ativado. Esta técnica consiste na adsorção dos compostos indesejados em partículas de carvão ativado em pó; é bastante eficiente e não exige equipamentos adicionais na planta. No entanto, o carvão ativado gera resíduo, pois não pode ser regenerado e reutilizado em uma indústria alimentícia.

O tratamento com resinas de troca iônica é um processo que consiste na retenção dos compostos indesejados em colunas recheadas com diferentes tipos de resinas de troca iônica, responsáveis pela remoção de cor, turbidez e sabor do açúcar. Este tratamento exige um investimento inicial considerável para a instalação dos equipamentos e compra das resinas, no entanto, tem o conveniente de as resinas serem passíveis de regeneração. O processo de regeneração das resinas, entretanto, gera um volume considerável de efluente líquido, que deve ser tratado antes de seu lançamento no corpo receptor.

Assim, no presente trabalho, deseja-se estudar qual destes dois métodos de tratamento do açúcar é o mais viável economicamente. Além disso, este trabalho visa analisar qual o tipo de açúcar empregado no processo é o mais viável.

Na análise da viabilidade do uso do tratamento por troca iônica, deve-se proceder o estudo da mínima produção possível para o processo. Deste modo, um dos objetivos deste trabalho é, também, avaliar a possibilidade do uso do tratamento por troca iônica nos meses mais frios do ano, quando o consumo de refrigerantes é menor.

2 Análise preliminar da viabilidade econômica do uso de resinas de troca iônica e carvão ativado na clarificação do xarope para a indústria de refrigerantes

Este trabalho está apresentado da seguinte maneira: primeiramente são apresentados os fundamentos teóricos e revisão bibliográfica necessários para um melhor entendimento do trabalho; a seguir, é exposto o estudo de caso que foi realizado, com a apresentação da planta, das matérias-primas e dos processos abordados no estudo. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados observados no estudo de caso.

2 Fundamentos teóricos e Revisão Bibliográfica

Segundo Barnabé (2010), refrigerante é uma bebida saturada de dióxido de carbono, fabricada a partir de água potável, onde são dissolvidos sucos, extratos vegetais e açúcar.

Questões relacionadas a estas matérias-primas e à produção de refrigerantes são apresentadas e discutidas a seguir.

2.1 A história do refrigerante

Fatos históricos apontam que o refrigerante surgiu na França, no século 17. Compostas de água, mel e suco de limão, as primeiras bebidas não possuíam dióxido de carbono dissolvido. A partir do ano de 1772, o cientista inglês Joseph Priestley iniciou suas experiências com a gaseificação de líquidos.

O setor de refrigerantes no Brasil surgiu no ano de 1904, ano em que a primeira fábrica da bebida foi fundada. Até os anos 30, mais quatro empresas foram fundadas e continuam em funcionamento até os dias atuais, caracterizadas por sua regionalidade e por serem empreendimentos familiares. O processo, na época, era artesanal com produção máxima de 150 garrafas por hora (CRUZ, 2012).

2.2 Mercado de refrigerantes

O Brasil é o terceiro maior produtor de refrigerantes, permanecendo apenas atrás dos Estados Unidos e México. No entanto, o consumo médio da bebida per capita no Brasil é de cerca de um terço do consumo norte americano e metade do volume consumido pelos mexicanos. Tal fato justifica que o Brasil é um mercado com grande perspectiva de crescimento, visto que as condições climáticas e geográficas propiciam o consumo da bebida o ano todo (SALATA, 2003).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes, ABIR (, três fatores contribuem para o baixo consumo de refrigerantes no Brasil: a sazonalidade do mercado (no verão a produção aumenta cerca de 50% em relação ao inverno), o baixo poder aquisitivo da população e a elevada taxa tributária, que corresponde a aproximadamente 40% sobre o produto pronto, resultando no encarecimento do produto para o consumidor.

A Figura 2.1 apresenta o volume de refrigerante produzido no Brasil entre janeiro de 2010 e outubro de 2014, demonstrando a sazonalidade na produção da bebida.

4 Análise preliminar da viabilidade econômica do uso de resinas de troca iônica e carvão ativado na clarificação do xarope para a indústria de refrigerantes

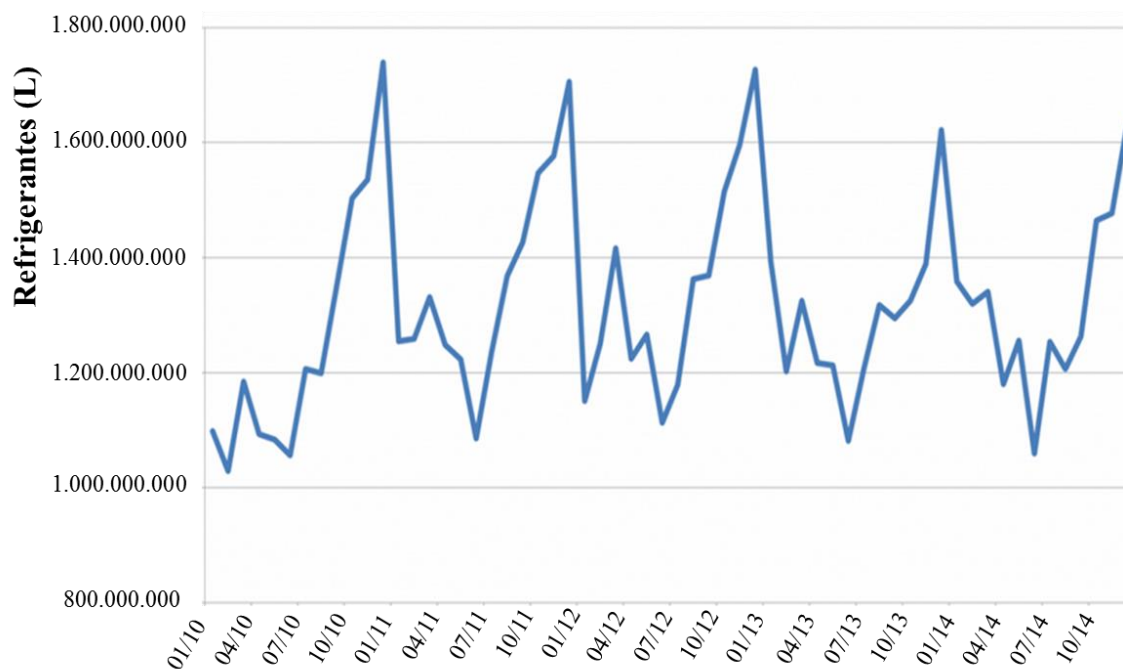


Figura 2.1: Volume de refrigerante (em L) produzido no Brasil, entre janeiro de 2010 (01/10) e outubro de 2014 (10/14) (AFREBRAS, 2015).

Segundo a AFEBRAS, em 2014 o Brasil produziu cerca de 15,7 bilhões de litros de refrigerante, o que representa um aumento de 1,43% em relação ao ano de 2013. As três maiores multinacionais do setor de bebidas representam quase 90% do mercado brasileiro, tornando assim mais difícil a expansão das empresas regionais de pequeno porte.

2.3 Matérias-primas da indústria de refrigerantes

As matérias primas básicas utilizadas na produção de refrigerantes são: água, açúcar, concentrados e gás carbônico. O controle da qualidade destas matérias-primas deve ser rígido de modo a garantir a qualidade do produto (CRUZ, 2012).

2.3.1 Água

É o componente majoritário nos refrigerantes carbonatados, compreendendo cerca de 90% do produto final. A qualidade da água utilizada na preparação da bebida implica diretamente na qualidade do produto final e pré-tratamentos são requeridos. A natureza do pré-tratamento varia de acordo com a fonte de onde é proveniente a água e de sua composição química. A remoção de partículas microscópicas e coloidais por coagulação, filtração e ajuste de pH podem ser necessários onde o suprimento de água for de baixa qualidade (VARNAM e SUTHERLAND, 1999).

A cloração é o método preferencialmente empregado na destruição de micro-organismos vegetais; é tecnologicamente vantajosa na remoção de materiais oxidáveis como matéria orgânica dissolvida e componentes solúveis de ferro, além de auxiliar no processo de coagulação. O tratamento por supercloração, necessário para alguns casos

de má qualidade da água, requer doses acima de 2 mg/L de cloro. Essa dosagem é muito alta para consumo e exige a remoção do excesso de cloro. Essa remoção geralmente é feita pela passagem da água por filtros de carvão ativado (VARNAM e SUTHERLAND, 1999).

2.3.2 Acidulantes

Segundo Dziezak (1990), acidulantes são comumente utilizados no processamento de alimentos como reguladores de acidez, intensificadores de sabor, modificadores de viscosidade, antioxidantes e na conservação dos alimentos, uma vez que proliferação de microrganismos é inibida em meio ácido.

Na produção de refrigerantes, os acidulantes mais comumente utilizados são os ácidos cítrico, fosfórico, málico e tartárico. O ácido fosfórico possui o menor pH dentre os acidulantes, sendo empregado nos refrigerantes do tipo cola para catalisar a reação de inversão da sacarose (HANSSON et. al., 2001). O teor máximo deste acidulante permitido no Brasil é de 0,07 g/100mL de refrigerante (ANVISA, 2015).

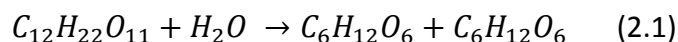
2.3.3 Açúcar

Esta matéria-prima constitui entre 8 e 12% do refrigerante e tem sido usada como aditivo alimentício desde a antiguidade, por ter uma ampla aplicabilidade e importância associada à suas diversas propriedades e ao seu sabor característico (SOLOMONS, 2000).

O açúcar é obtido comercialmente a partir da cana de açúcar e da beterraba, sendo a primeira, a fonte mais amplamente utilizada no país.

A sacarose, nome pelo qual é conhecido o açúcar comum, é o dissacarídeo mais comum na natureza. Em meio ácido, a sacarose é hidrolisada, produzindo frutose e glicose. Esta reação comumente ocorre em refrigerantes de acidez elevada, como os do tipo cola (BARNABÉ, 2010).

A reação química da inversão da sacarose em meio ácido é dada por:



O açúcar pode possuir diferentes impurezas, as quais podem acarretar em uma alteração indesejada na coloração dos refrigerantes.

A coloração dos açúcares é medida conforme metodologia da ICUMSA, *International Commition for Uniform Methods of Sugar Analysis*; quanto menor a coloração na escala ICUMSA, mais claro é o açúcar.

O açúcar cristal deve atender a algumas especificações, conforme explicitado na Tabela 2.1. Nos casos em que estas especificações não são atendidas, o açúcar deve necessariamente passar por algum tipo de tratamento, de modo a alcançar os limites propostos (FANTINEL, 2000). Estes possíveis processos de tratamento são o foco do presente trabalho e serão discutidos na seção 2.4.2.

6 Análise preliminar da viabilidade econômica do uso de resinas de troca iônica e carvão ativado na clarificação do xarope para a indústria de refrigerantes

Tabela 2.1: Especificações exigidas para o açúcar empregado na produção de refrigerantes.

Característica	Limite máximo
Polarização	99,5% - 100%
Cor (Unidade ICUMSA)	60
Turbidez (Unidade ICUMSA)	45
SO ₂	20 mg/kg
Cinzas Condutimétricas	0,035%
Arsênio	1 mg/kg
Cobre	2 mg/kg
Mercúrio	0,05 mg/kg
Chumbo	1 mg/kg
Pontos Pretos	20 unidades/100g de amostra
Odor – Sabor	Nenhum
Presença de Flóculos	Nenhum

Fonte: Adaptado de FANTINEL, 2000.

2.3.4 Conservantes

Apesar de suportarem o crescimento somente de uma limitada variedade de micro-organismos, a adição de conservantes é necessária para prevenir a deterioração da bebida durante o tempo de armazenagem a temperatura ambiente (VARNAM e SUTHERLAND, 1999).

Os principais conservantes alimentares utilizados na indústria de bebidas não alcoólicas são: ácido benzoico e seus sais, com concentração máxima permitida de 0,05 g/100mL, dióxido de enxofre, cuja concentração máxima permitida é de 0,004 g/100mL e ácido sórbico e seus sais, com concentração máxima de 0,1 g/100mL (ANVISA, 2015).

2.3.5 Aromatizantes e flavorizantes

Segundo Barnabé (2010), aromatizantes são substâncias que conferem e intensificam o aroma dos alimentos, enquanto que os flavorizantes potencializam o sabor. Os principais aromatizantes utilizados na produção de refrigerantes podem ser obtidos a partir de sucos de frutas, extratos alcoólicos e soluções aquosas.

2.3.6 Antioxidantes

De acordo com Barnabé (2010), a presença de oxigênio pode causar a oxidação, um dos principais fatores de deterioração dos alimentos. Os produtos da oxidação, mesmo que em pequenas quantidades, afetam consideravelmente os atributos sensoriais do produto final. As condições a que as embalagens da bebida são expostas, como a luz solar, por exemplo, também podem acelerar o processo de oxidação. O antioxidante mais utilizado na produção de refrigerantes é o ácido ascórbico.

2.3.7 Corantes

Os corantes intensificam a cor dos alimentos e são usados para padronizar a coloração dos produtos (BARNABÉ, 2010). Segundo Varman e Sutherland (1999), os corantes não tem efeito direto nas características sensoriais do produto. No entanto, estes aditivos são empregados para reforçar ao consumidor a percepção dos flavorizantes.

De forma genérica, os corantes podem ser divididos em naturais e artificiais. OS corantes naturais são aqueles que ocorrem em frutas e vegetais, como por exemplo, o β -caroteno, proveniente da cenoura, e as betalaínas, oriundas da beterraba. Estes tipos de corantes são pouco utilizados na indústria de refrigerantes por possuírem baixa solubilidade em água, alto custo e serem instáveis à luz solar. Os corantes artificiais são obtidos a partir de substâncias naturais, por processos físico-químicos. Estes corantes são mais satisfatórios tecnologicamente e mais estáveis, no entanto, seu uso em alimentos é limitado e controlado pela legislação (BARNABÉ, 2010).

2.3.8 Edulcorantes

São aditivos alimentares que conferem sabor doce aos alimentos. Possuem grande poder adoçante e, por isso, podem ser empregados em pequenas quantidades no produto. Estes aditivos são geralmente utilizados em bebidas de baixa caloria, ou seja, em bebidas que apresentem até 10 kcal/100mL. A legislação brasileira não permite a associação de açúcares e edulcorantes na fabricação de refrigerantes (BARNABÉ, 2010). A Tabela 2.2 mostra os principais edulcorantes utilizados na indústria bem como seu valor calórico e poder adoçante. Os poderes adoçantes foram obtidos tomando como referência a sacarose, considerada com poder adoçante unitário.

Tabela 2.2: Principais edulcorantes da indústria de refrigerantes

Edulcorante	Poder adoçante	Valor calórico (kcal)
Aspartame	120 – 115	4
Sacarina	300 – 700	0
Ciclamato	30 -140	0
Esteviosídeo	140 - 280	0

Adaptado de: Varnam e Sutherland (1999).

2.3.9 Dióxido de carbono

A carbonatação pode ser considerada como a impregnação de um líquido com dióxido de carbono. O nível ótimo de carbonatação varia de acordo com o sabor e as características perceptíveis do refrigerante. O uso de garrafas de politereftalato de etileno requer o uso de níveis mais altos de dióxido de carbono em relação a garrafas de vidro para compensar a perda do gás pelas paredes da garrafa durante armazenagem (VARNAM e SUTHERLAND, 1999).

2.4 A produção de refrigerantes

A produção de refrigerantes é dividida basicamente em três processos: produção do xarope simples, produção de xarope composto e envase.

A Figura 2.1 apresenta um fluxograma deste processo produtivo; aspectos relevantes relacionados a cada uma das etapas apresentadas no fluxograma serão discutidos a seguir.

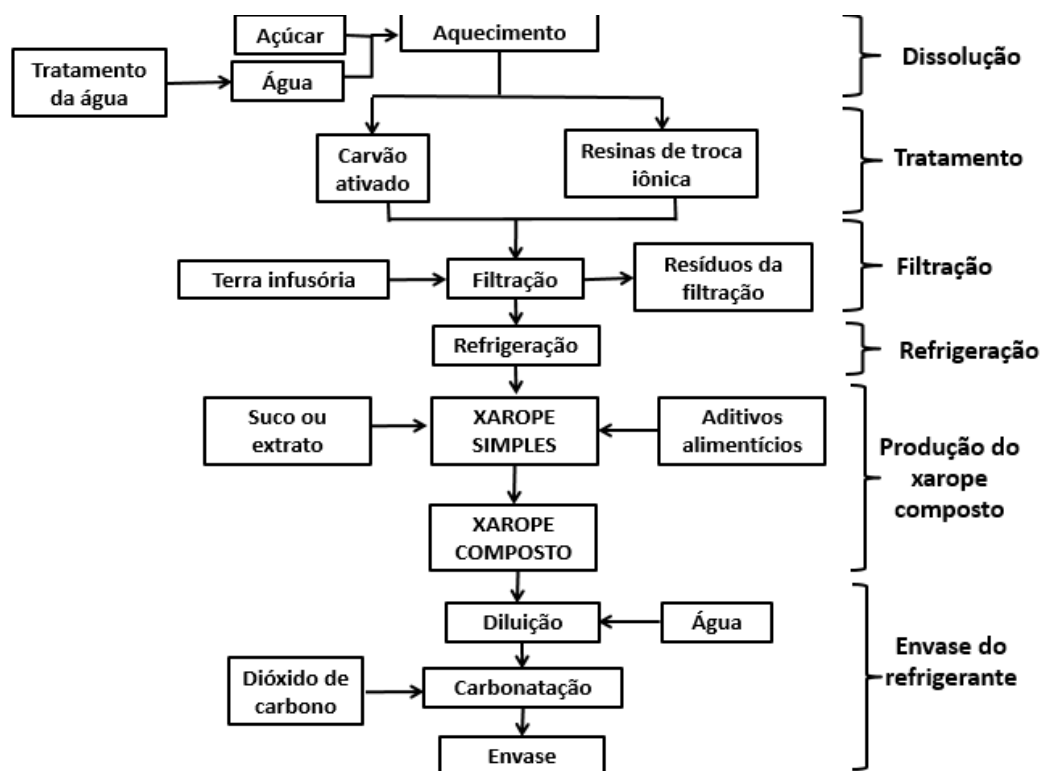


Figura 2.2: Fluxograma do processo de produção de refrigerantes (ADAPTADO DE BARNABÉ, 2010)

2.4.1 Dissolução do açúcar

A produção do xarope simples, primeira etapa do processo produtivo de refrigerantes, inicia-se com a dissolução do açúcar. De acordo com Barnabé (2010), o xarope simples pode ser obtido em um processo a frio, ou a quente.

No processo a frio, o açúcar é dissolvido em água, a temperatura ambiente, formando um xarope mais viscoso e dificultando a filtração. Neste processo, necessita-se de equipamentos mais simples e há um menor gasto energético. No entanto, há maior risco de contaminação microbiológica.

O processo a frio também pode ser combinado com a acidificação do meio: adiciona-se ácido ao xarope com o intuito de diminuir o pH do meio e inibir o ataque de microrganismos ao produto.

No processo a quente, por sua vez, a dissolução do açúcar é facilitada pelo aquecimento da solução. Este processo é o mais comumente empregado quando deseja-se estocar o produto, pois o próprio calor inibe a ação de microrganismos. A dissolução à quente pode ser por ebulição (fervura da solução por 1 a 2 minutos), ou por pasteurização (aquecimento a cerca de 85°C por 5 minutos).

O processo a quente também pode ser combinado à acidificação do meio; neste caso, o ácido pode ser adicionado antes ou durante o aquecimento do xarope, resultando na inversão total ou parcial do açúcar.

O xarope simples constitui-se, normalmente, de um xarope de alta densidade: com o intuito de facilitar a estocagem, fabrica-se um xarope de alta concentração de açúcar, reduzindo o risco de contaminação microbiológica.

2.4.2 Tratamento do açúcar

A etapa que segue a produção do xarope simples é a etapa de tratamento deste xarope, a fim de remover as impurezas que podem afetar a qualidade final do refrigerante.

A presença de impurezas que conferem cor ao açúcar resulta de reações químicas ocorridas durante o processamento. Os componentes responsáveis pela formação de compostos coloridos são, principalmente, de três tipos: melanoidinas, produtos de degradação alcalina de hexoses e caramelos. Estes compostos conferem influência negativa à qualidade do xarope produzido (AGUDO et. al, 2002). Deste modo, é necessário que o açúcar passe por um prévio tratamento com o objetivo de garantir as especificações de qualidade do produto final.

Os processos mais comuns de remoção de impurezas que são submetidos os xaropes simples são o tratamento com carvão ativado ou com resinas de troca iônica. Ambos os processos são detalhados a seguir.

Tratamento por carvão ativado

A adsorção com carvão foi primeiramente explorada pelos egípcios e sumérios em 3750 a. C. para a redução de cobre e zinco durante a manufatura de bronze. Os egípcios, e depois Hipócrates, usaram carvão primeiramente com propósitos médicos e,

posteriormente, os fenícios descreveram a primeira aplicação para tratamento de água potável. Tais aplicações foram particularmente empíricas e uma aproximação mais sistemática não foi desenvolvida até 1773, quando os primeiros estudos quantitativos do fenômeno da adsorção foram realizados (KAMMERER, REINHOLD e KAMMERER, 2011).

Adsorventes de carvão ativado possuem ampla área superficial e são amplamente utilizados na remoção de compostos orgânicos de correntes líquidas e gasosas. Acredita-se que o carvão deve ser ativado por tratamento químico e térmico antes de adquirir propriedades de remoção de cor (WIGMANS, 1989).

O processo de adsorção consiste de uma série de etapas. Quando o fluido está escoando através das partículas de um leito fixo, o soluto difunde inicialmente do seio da solução até a superfície externa da partícula adsorvente. Finalmente, o soluto é, então, adsorvido na superfície.

Nos processos de adsorção, um ou mais componentes de correntes líquidas ou gasosas são adsorvidos na superfície de um sólido sorvente e a separação é realizada. Nos processos comerciais, o adsorvente é usualmente na forma de pequenas partículas em um leito fixo. O fluido é passado através de um leito e as partículas sólidas adsorvem os componentes do fluido. Quando o leito está quase saturado, o fluxo é interrompido e o leito é regenerado termicamente ou por outros métodos, ocorrendo a dessorção das moléculas sorvidas no leito.

Muitos adsorventes tem sido desenvolvidos para diversas aplicações. Tipicamente, os adsorventes estão na forma de pequenas partículas, leitos ou granulados, variando seu tamanho em 0,1 mm até 12 mm. Uma partícula de adsorvente tem uma estrutura muito porosa, com muitos poros finos, sendo o volume dos poros cerca de 50% do volume total da partícula. A adsorção muitas vezes ocorre em uma monocamada na superfície dos poros finos. Entretanto, a formação de múltiplas camadas ocorre em alguns casos. A adsorção física, ou adsorção de Van der Waals, geralmente ocorre entre moléculas adsorvidas e a superfície interna do poro (GEANKOPLIS, 1993).

O tratamento com carvão ativado é muito comum no polimento (tratamento terciário) de efluentes líquidos, principalmente quando a remoção de cor deste efluente é primordial para seu descarte nos corpos receptores. Anisuzzaman *et. al.* (2014) estudaram a remoção de 2,4-diclorofenol de água utilizando carvão ativado modificado. A modificação do carvão foi feita impregnando as amostras com diferentes concentrações de ácido fosfórico e variando a temperatura. Os autores constataram que o aumento da impregnação de ácido fosfórico favoreceu a adsorção do diclorofenol, enquanto que o aumento da temperatura não favoreceu a adsorção.

Além da aplicação no polimento de efluentes, outra significativa aplicação das propriedades descolorantes do carvão ativado é na remoção dos compostos coloridos que se formam no açúcar durante a sua produção (MUDOGA, YUCEL e KINCAL, 2007). López *et. al.* (2002), estudou a descoloração de vinagre empregando carvão ativado comercial e carvão ativado modificado termicamente. Neste processo, ambos os tipos de carvão ativado foram adicionados ao vinagre e a solução foi agitada. Posteriormente, o carvão foi separado do líquido por decantação ou filtração. Os autores observaram que o vinagre que apresentou maior clarificação foi a amostra tratada com carvão ativado

modificado. Tal fato pode ser explicado pelo aumento da porosidade do carvão após o tratamento, aumentando assim, a área de contato com a solução.

Na indústria de refrigerantes, o processo de dissolução do açúcar mais comum é o processo de dissolução e tratamento do açúcar a quente. Neste processo, após a dissolução do açúcar, adiciona-se entre 2 e 5 g de carvão ativado em pó por kg de açúcar no tanque dissolvidor. O carvão ativado é responsável por purificar a mistura, adsorvendo impurezas que conferem cor, sabor, odor e turvação ao xarope. Mantém-se a temperatura do vaso constante durante o tempo de contato, que varia entre 20 e 30 minutos (BARNABÉ, 2010).

Após o tratamento com carvão ativado, o xarope precisa ser filtrado, para a remoção destas partículas. Assim, além do carvão ativo, terra infusória (ou diatomácea) também é adicionada ao tanque dissolutor de modo a facilitar o processo de filtração do xarope e, por consequência, a remoção do carvão.

A terra infusória é um auxiliar de filtração, que desempenha um papel importante dentro do processo de clarificação. Os auxiliares filtrantes são um grupo de substâncias em forma de pó classificadas conforme sua origem. Durante o processo de filtração, são depositados sobre os elementos filtrantes do equipamento, durante o procedimento de preparo da pré-camada, formando um gradiente de permeabilidade e ajudando a bloquear a passagem de substâncias insolúveis. Por fim, o xarope é resfriado (BARNABÉ, 2010).

Um grande inconveniente do tratamento por adsorção com carvão ativado, é que o carvão não pode ser regenerado por estar misturado à terra diatomácea. Deste modo, este processo possui a desvantagem de gerar certo montante de resíduo, que deve ser destinado à tratamentos específicos.

Tratamento por troca iônica

Resinas de troca iônica possuem inúmeras aplicações na indústria alimentícia, como desmineralização, descoloração e purificação de proteínas e no tratamento de diferentes tipos de efluentes. A vantagem do uso das resinas é que elas podem ser regeneradas, diminuindo a quantidade de resíduo sólido gerado e permitindo que o processo seja realizado de maneira contínua (ACHAERANDIO, GÜELL e LÓPEZ, 2001).

Processos de troca iônica são basicamente reações químicas entre íons em solução e íons em uma fase sólida insolúvel. Na troca iônica, certos íons são removidos pelo sólido de troca iônica. Até que a neutralidade seja mantida, o sólido substitui os íons da solução.

Os primeiros materiais utilizados nos processos de troca iônica foram areias porosas, chamadas zeólitas; estas são trocadoras de cátions. Atualmente, os sólidos utilizados nos processos de troca iônica constituem-se de resinas sintéticas ou poliméricas. Algumas resinas poliméricas contêm grupos sulfônicos carboxílicos ou fenólicos. Estes grupos aniônicos podem trocar cátions (GEANKOPLIS, 1993).

No processamento de refrigerantes, as resinas de troca iônica podem ser utilizadas no tratamento do xarope simples. As resinas comumente empregadas para descoloração de soluções de açúcar são aniônicas. A matriz da resina pode ser de duas maneiras: hidrofóbicas ou acrílicas. As resinas acrílicas apresentam uma baixa seletividade na

adsorção e podem ser regeneradas quase que completamente com solução de cloreto de sódio. As resinas poliestirênicas, por sua vez, demonstram altas eficiências de descoloração, no entanto, sua regeneração é mais difícil do que a das resinas acrílicas (AGUDO *et al.*, 2002).

Achaerandio, Güell e López (2001) estudaram a descoloração de vinagre utilizando resinas de troca iônica. O sistema empregado no estudo consistiu de duas colunas recheadas com resinas do tipo aniônica de diferentes diâmetros internos que foram usadas independentemente em cada experimento. Neste trabalho, os autores variaram a vazão do afluyente nas colunas, avaliando a eficiência de descoloração das amostras. As maiores remoções de cor foram atingidas com as menores vazões, ou seja, em maiores tempos de contato com as resinas.

Adsorventes e materiais de troca iônica são categorizados não somente com base em sua composição, polaridade e resistência química e física, mas, também, pela sua distribuição de tamanho, áreas internas e superficiais, densidade e porosidade, bem como em função de sua distribuição de tamanho do raio dos poros (KAMMERER, REINHOLD e KAMMERER, 2011).

A deterioração química das resinas é resultado de diferentes processos. Um deles afeta diretamente a habilidade de troca iônica das resinas. A quebra de ligações covalentes da matriz da resina e grupos funcionais resulta na perda de grupos funcionais e na redução (ou até mesmo na perda total) da capacidade de troca iônica. Outro tipo de deterioração química das resinas é uma ligação cruzada extra entre a matriz da resina e espécies sorvidas. Isto resulta no decréscimo da flexibilidade da matriz, na fragilidade do leito de resinas e na redução de sua permeabilidade. A terceira causa de deterioração química das resinas são as interações irreversíveis entre o sorvente e as espécies sorvidas (ZAGORODNI, KOTOVA e SELEMENEV, 2001).

Uma das principais vantagens do uso de resinas de troca iônica é sua capacidade de ser regenerada. Zhang *et al.* (2015) desenvolveu um modelo de um sistema integrando troca iônica e regeneração das resinas empregadas no tratamento de água. Neste trabalho, os autores avaliaram a eficiência de regeneração das resinas de modo a determinar a sustentabilidade da tecnologia. O modelo foi validado comparando dados experimentais com as previsões do modelo. A partir dos experimentos, os autores calcularam a eficiência do processo de regeneração, dividindo a massa dessorvida pela massa das resinas, e constataram que o modelo proposto se ajustou bem aos dados experimentais obtidos.

O processo de regeneração é discutido novamente no prosseguimento deste trabalho.

2.4.3 Filtração e o resfriamento do xarope

O processo de filtração tem por objetivo a remoção do carvão e da terra diatomácea adicionada ao xarope no tratamento do mesmo. Neste processo, utiliza-se geralmente filtros de placas horizontais e verticais. Conforme comentado anteriormente, terra infusória é adicionada ao filtro e permanece aderida às placas do filtro de modo a servir de auxiliar de filtração (BARNABÉ, 2010). Esta camada de terra infusória aderida às placas do filtro é popularmente conhecida como pré-capa ou pré camada.

Após ser filtrado, o xarope é resfriado em um trocador de placas de três estágios: água de processo, água de reuso e etanol. A água de processo empregada no primeiro estágio do trocador de calor é enviada para um tanque que faz o aquecimento da água posteriormente utilizada na próxima batelada do processo, ou seja, na dissolução do açúcar.

Após as etapas de filtração e resfriamento, o xarope simples é enviado para a xaroparia composta de modo a prosseguir com a produção do refrigerante (BARNABÉ, 2010).

2.4.4 *Preparo do xarope composto*

O xarope composto é resultado da adição de conservantes, aromatizantes, sucos, acidulantes, dentre outros aditivos, ao xarope simples. As quantidades de cada componente variam conforme o produto a ser envasado. Após a adição de todos os componentes ao tanque de xarope composto, o mesmo deve ser agitado por cerca de 15 minutos a fim de homogeneizar a solução. Procede-se, então, às análises sensoriais e físico-químicas, como por exemplo, °brix, teor de acidez, cor, turbidez, entre outros. O produto somente poderá ser envasado após realizadas estas análises de modo a garantir um refrigerante dentro das especificações de qualidade exigidas (BARNABÉ, 2010).

2.4.5 *Carbonatação*

O processo de carbonatação do xarope consiste na dissolução de dióxido de carbono à bebida. A quantidade de CO₂ no refrigerante é um fator que interfere diretamente no sabor e aroma da bebida. Os equipamentos que fazem a carbonatação geralmente consistem de três partes distintas: o desaerador, que remove o oxigênio dissolvido no xarope composto, o misturador, responsável pela diluição do xarope em água, e o carbonatador, que promove a dissolução do CO₂ na bebida. O dióxido de carbono, reage com a água para formar ácido carbônico, conforme equação abaixo (BARNABÉ, 2010).



Na Figura 2.3 é ilustrado o processo de diluição do xarope, mistura e carbonatação do refrigerante. A etapa posterior a este processo é o envase.

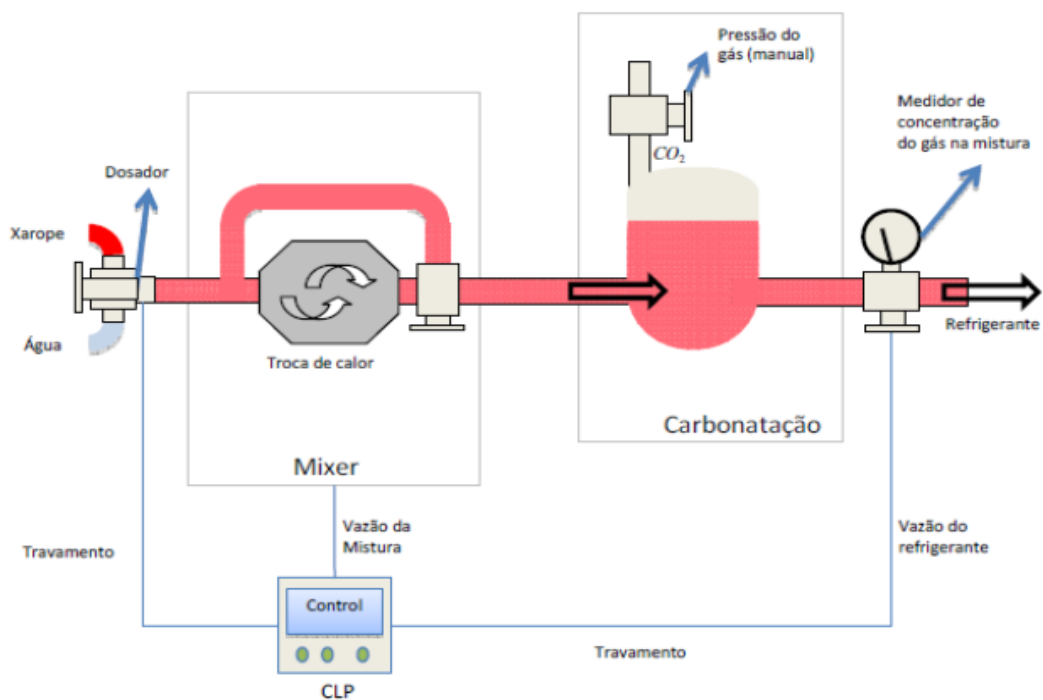


Figura 2.3: Processo de diluição e carbonatação do refrigerante (FREITAS FILHO, 2009)

2.4.6 Envase

Após a carbonatação, a bebida é enviada à máquina enchedora, onde são enchidas as embalagens de refrigerante, lacradas e codificadas com lote e data de validade. Por serem leves, recicláveis e suportarem volumes maiores de bebida, as embalagens feitas de polietileno tereftalato (PET) correspondem atualmente ao maior volume de produção de refrigerantes. No entanto, as embalagens de PET são porosas, o que resulta na perda de dióxido de carbono pelas paredes da garrafa, reduzindo o tempo de prateleira do produto (BARNABÉ, 2010).

3 Estudo de caso

Conforme comentado anteriormente, neste trabalho pretende-se comparar, econômica e tecnicamente, a utilização de dois sistemas de tratamento do xarope simples na produção de refrigerante.

Este trabalho foi realizado em uma indústria de refrigerantes da região sul do Brasil, responsável pela produção anual de cerca de 270 milhões litros de refrigerante, o que corresponde a 1,7% do mercado brasileiro. Na planta em questão, é possível operar nos dois métodos de tratamento de açúcar, tanto por troca iônica quanto por adsorção com carvão ativado. Na Figura 3.1 são explicitadas as diferenças entre os dois processos de tratamento do açúcar.

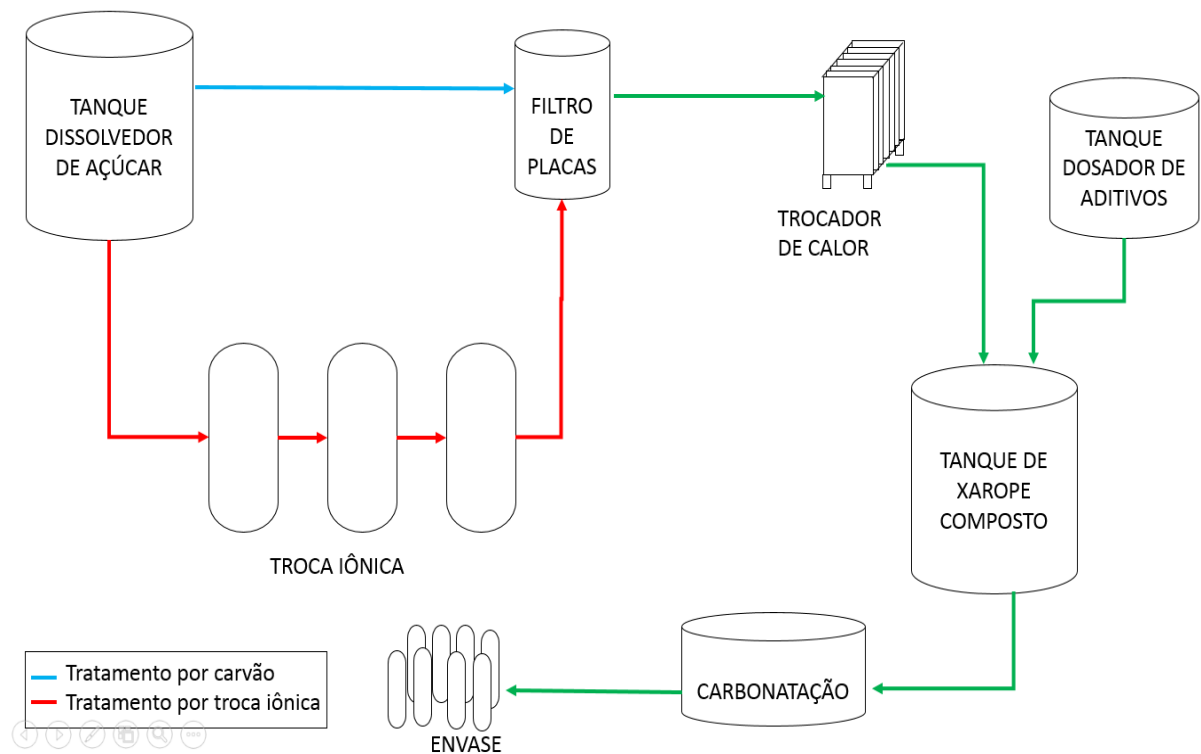


Figura 3.1: Fluxograma do processo de produção de refrigerantes, evidenciando os dois tipos distintos de tratamento do açúcar (Adaptado de BARNABÉ, 2010)

Conforme discutido no capítulo de referências bibliográficas, o tratamento com carvão ativado é o tratamento mais comumente empregado na indústria de refrigerantes. Neste processo o açúcar é tratado diretamente no tanque dissolvente, não sendo necessário equipamentos adicionais na planta. No entanto, o carvão ativado gera resíduo, uma vez que, por se tratar de uma indústria alimentícia, o carvão não pode ser regenerado para reuso no processo.

O tratamento do açúcar por troca iônica é um processo que exige um investimento inicial considerável para a instalação dos equipamentos e compra das resinas. No entanto, este tipo de tratamento tem o conveniente de as resinas serem passíveis de regeneração e possuírem vida útil de 3 a 5 anos. No processo de regeneração das resinas, entretanto, há a geração de uma grande quantidade de efluente líquido, incluindo o fósforo, componente de difícil remoção do efluente. Este efluente deve ser tratado na estação de tratamento de efluentes da empresa para que o mesmo possa ser descartado dentro dos parâmetros exigidos pela legislação.

O tratamento por troca iônica consiste na injeção, em fluxo ascendente, da mistura de açúcar dissolvido em água nas colunas de troca iônica. Na Figura 3.2 é possível ver um esquema deste sistema.

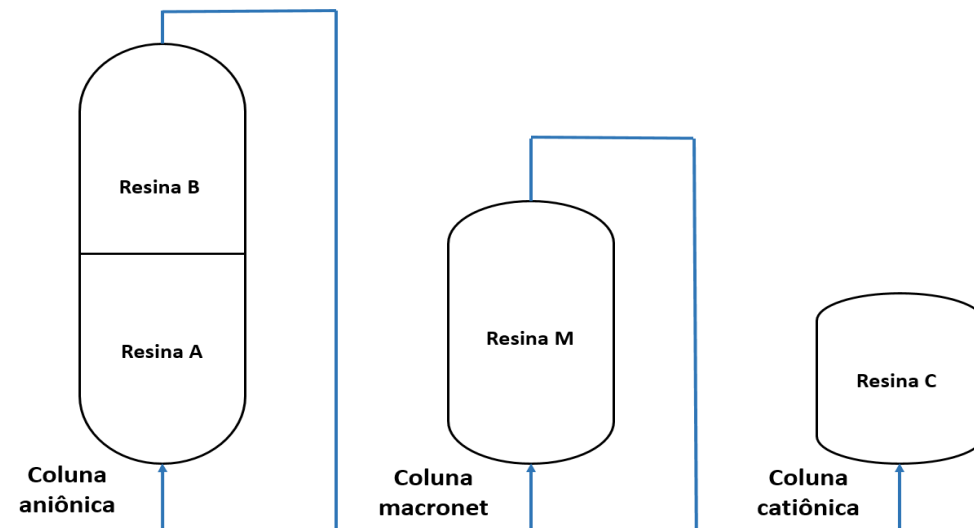


Figura 3.2: Resinas empregadas na clarificação do xarope de açúcar (Adaptado de SELVA, 2014)

A primeira coluna, denominada aniônica é responsável por cerca de 90% de redução de cor do xarope; possui dois tipos diferentes de resina, uma na parte inferior, denominada resina A e outra na parte superior, denominada de resina B. A resina localizada na parte inferior da coluna possui considerável estabilidade térmica e alta capacidade de adsorção de materiais complexos, tais como corantes, tanto ionizados, quanto não ionizados. A resina B foi desenvolvida para remover uma ampla variedade de moléculas orgânicas presentes no açúcar.

Na segunda coluna, denominada macronet, tem-se apenas um tipo de resina. Esta coluna age, principalmente, no tratamento do sabor e odor. Este adsorvente possui grande área de contato devido à sua porosidade, facilitando o processo de adsorção.

A terceira coluna, catiônica, tem por objetivo a remoção de amins oriundas das colunas aniônicas. É uma coluna macroporosa, permitindo altas taxas difusivas quando comparado a resinas catiônicas convencionais.

As resinas empregadas no processo de produção de refrigerantes foram projetadas especificamente para a clarificação do açúcar. Estas resinas possuem um modo de operação que deve ser seguido para garantir o máximo de eficiência no processo.

Uma vez em operação, as resinas podem permanecer, no máximo, 48 horas sem operação, desde que todo o xarope seja removido das colunas e as mesmas sejam preenchidas com água de processo aquecida. A água de processo, nas colunas com o processo interrompido, deve ser substituída a cada 24 horas, para evitar a contaminação microbológica.

Em função do tempo de operação do sistema de troca iônica, acaba ocorrendo a saturação das resinas. Assim, torna-se necessário proceder a regeneração das mesmas. Esse processo de regeneração deve ser feito quinzenalmente. Neste, são adicionadas soluções de hidróxido de sódio e cloreto de sódio com concentrações específicas, em

cada uma das colunas, de modo a dessorver os compostos outrora removidos da solução de sacarose e, portanto, adsorvidos nas resinas.

Uma questão importante a respeito das resinas de troca iônica são os cuidados necessários durante o período em que o tratamento por carvão ativado está sendo utilizado. Neste caso, como as resinas de troca iônica não estão operando, deve-se hibernar as mesmas semanalmente, de modo a conservar as propriedades de sorção das colunas. Neste processo, emprega-se cerca de metade da carga de produtos químicos utilizada no processo de regeneração.

Por conhecimento empírico, acredita-se que o método de tratamento por troca iônica é mais vantajoso quando o volume de produção de bebida é elevado. A empresa em análise, entretanto, localiza-se no sul do Brasil, onde o inverno é mais rigoroso do que no restante do país, e, em função disso, a produção de refrigerantes é sazonal. Esta sazonalidade deve ser levada em conta na escolha do método de tratamento do açúcar.

Outro fator que deve ser levado em consideração na escolha do processo de tratamento do açúcar é o tipo de açúcar utilizado na produção de refrigerantes. No processo em questão, três tipos de açúcar podem ser empregados. Na Tabela 3.1 estão detalhados os tipos de açúcares empregados, bem como seu custo e características de cor e turvação.

Tabela 3.1: Tipos de açúcar empregados na indústria de refrigerantes

Açúcar	Cor/turvação	Custo
Tipo A	Baixa	Grande
Tipo B	Moderada	Pequeno
Tipo C	Alta	Médio

Visando atender aos parâmetros de qualidade exigidos pelo mercado, avaliou-se, conforme a Tabela 3.2, quatro configurações diferentes de tratamento de açúcar, duas configurações sendo tratadas com resinas de troca iônica e outras duas, com carvão ativado.

Tabela 3.2: Configurações de açúcar versus tratamentos avaliados no estudo

Resina	Carvão ativado
Tipo B	Tipo B
Tipo C	Tipo A + Tipo C

18 Análise preliminar da viabilidade econômica do uso de resinas de troca iônica e carvão ativado na clarificação do xarope para a indústria de refrigerantes

Devido a sua coloração mais escura, o açúcar do tipo C não pode ser usado exclusivamente no tratamento por carvão ativado, sendo também necessária a adição de açúcar do tipo A ao tanque dissolvedor. Isto ocorre porque o tratamento por carvão ativado não é capaz de remover a totalmente a coloração escurecida do xarope. No caso do tratamento por troca iônica, o açúcar do tipo C pode ser empregado exclusivamente pois o tratamento por resinas remove os compostos que conferem cor, sabor e odor ao xarope.

Para as quatro configurações detalhadas na Tabela 3.2, a fim de comparar a viabilidade econômica e técnica da utilização de ambos os sistemas de tratamento, determinaram-se as quantidades de matéria-prima, bem como os custos das mesmas para a produção do xarope simples. Todos os custos foram ponderados por hectolitros de refrigerante produzidos.

Além da análise econômica, desejou-se avaliar a viabilidade do uso do tratamento por resinas durante o ano inteiro, inclusive nos períodos de baixa produção. Para isto, foram analisados dados de produção do ano anterior. Estes dados foram ponderados pela maior produção líquida da fábrica, ocorrida no mês de dezembro, conforme pode ser observado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Produções líquidas de refrigerante com açúcar pela planta em questão durante o ano de 2014.

Mês	Produção líquida relativa (%)
Janeiro	66
Fevereiro	69
Março	75
Abril	60
Maió	62
Junho	49
Julho	56
Agosto	63
Setembro	68
Outubro	76
Novembro	78
Dezembro	100

Esta tabela demonstra a sazonalidade na produção de refrigerantes, uma vez que nos meses mais frios do ano a produção diminui cerca de 50% da produção registrada no mês dezembro. O fato de o último mês do ano ser o de maior produção da bebida pode ser explicado pelas altas temperaturas e pelo aumento do consumo nas datas comemorativas.

A análise de viabilidade de um processo inclui o estudo de diversas variáveis controláveis do processo. Cada variável deve ser cuidadosamente analisada para o sucesso do estudo. Neste trabalho, procedeu-se o estudo das variáveis de processo analisadas para cada tipo de tratamento.

O fator limitante do tratamento por troca iônica são os períodos de baixa produção. Deste modo, deve-se analisar a produção mínima de xarope em um período de modo a atender as condições de operação das colunas de troca iônica. Os parâmetros que podem ser variados neste tipo de tratamento são tempo de operação e vazão de xarope nas colunas.

O tratamento por carvão ativado, por sua vez, não possui restrição quanto à quantidade mínima de refrigerantes produzida, uma vez que o tratamento ocorre diretamente no tanque dissolvedor.

4 Discussão e Resultados

A indústria de refrigerantes possui grande potencial de crescimento no Brasil. Tal afirmação pode ser baseada no fato de o país ser o terceiro maior produtor mundial da bebida, possuir clima favorável ao consumo de bebidas refrescantes e possuir consumo *per capita* inferior a países como México e Estados Unidos.

Um dos principais desafios do engenheiro atualmente é produzir produtos com qualidade, alinhado a uma elevada eficiência, a um baixo custo de produção e com o menor impacto ambiental possível. Deste modo, é de responsabilidade do profissional a análise das diversas possibilidades de operação de um processo com o objetivo de otimizá-lo.

Neste trabalho, foram analisadas quatro possibilidades de produção de xarope simples na indústria de refrigerantes estudada. Estas possibilidades estão novamente detalhadas na Tabela 4.1 e, nesta tabela, os diferentes tratamentos foram numerados com o intuito de facilitar discussões posteriores.

Tabela 4.1: Denominação dos tipos de tratamento de açúcar estudados neste trabalho.

	Troca iônica		Carvão ativado	
Tipo de açúcar	Tipo B	Tipo C	Tipo B	Tipo A + Tipo C
Denominação do tratamento	I	II	III	IV

Conforme pode ser observado na tabela 4.1, nos tratamentos I e II foi utilizado o processo com resinas de troca iônica e o que difere o tratamento I do II é o tipo de açúcar utilizado (tipo B e tipo C, respectivamente). Conforme exposto anteriormente, na Tabela 3.1, o açúcar tipo C é mais caro e mais turvo que o açúcar tipo B.

Entre os tratamentos que envolvem o processo de adsorção com carvão ativado (III e IV), a diferença também se situa no tipo de açúcar utilizado (tipo B e tipo A + tipo C, respectivamente). É importante salientar que, no caso do tratamento com carvão ativado, não é viável tecnicamente utilizar apenas o açúcar tipo C, pois este método de tratamento não remove totalmente a coloração mais escurecida proveniente deste tipo de açúcar. Assim, mistura-se o tipo C (de coloração acentuada) com o tipo A, mais caro, porém, de menor turbidez. A proporção da mistura é de cerca de 30% de açúcar do tipo A e 70% de açúcar tipo C.

Conforme comentado anteriormente, para a escolha do método de tratamento de açúcar mais viável economicamente para o processo, analisaram-se os valores e quantidades de cada matéria prima empregada no processo, além de custos com as hibernações e regenerações realizadas nas colunas de troca iônica durante o período de um mês.

Na Tabela 4.2 é possível observar a quantidade relativa de cada matéria prima utilizada na produção de xarope simples em cada um dos tratamentos estudados.

Tabela 4.2: Quantidades relativas das matérias primas do xarope simples em cada tipo de tratamento estudado.

Tipo de tratamento	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)
Açúcar	62,89	62,86	62,68	62,68
Água	37,10	37,09	36,98	36,98
Terra infusória	0,01	0,03	0,19	0,19
Carvão ativado	0	0,02	0,16	0,16

O açúcar, por ser a matéria prima utilizada em maior quantidade no processo, causa o maior impacto no custo do produto. Conforme comentado anteriormente, após análise dos custos de compra dos três tipos de açúcar utilizados na empresa (apresentada anteriormente na Tabela 3.1), constatou-se que o açúcar do tipo B é a opção com maior custo benefício em ambos os processos de tratamento.

A partir da Tabela 4.2 pode-se constatar que o processo de tratamento por carvão ativado utiliza praticamente a mesma quantidade de carvão e terra infusória no seu tratamento. No entanto, no tratamento IV, utiliza-se o açúcar do tipo A, o mais caro deles.

O tratamento por resinas de troca iônica utiliza uma pequena quantidade de carvão no tratamento II, mas não necessita da mistura do açúcar do tipo A. Este carvão é adicionado no tanque dissolvedor e é removido antes do xarope ser inserido nas colunas de troca iônica através de um conjunto de filtros. No tratamento I, não é necessário o uso de carvão pois apenas as resinas já são capazes de remover a coloração escurecida e a turbidez do xarope.

Nos tratamentos com resina de troca iônica, o processo de regeneração das resinas deve ser realizado a cada 15 dias, quando em operação, pois, neste período, ocorre a saturação das resinas, reduzindo a eficiência de remoção de cor das mesmas. Para a regeneração, as colunas são primeiramente enxaguadas, para a remoção do residual de açúcar. Em seguida, nas colunas aniônica e macronet são injetadas soluções de hidróxido de sódio e de cloreto de sódio, com posterior ajuste de pH com solução de ácido fosfórico; na coluna catiônica, por sua vez, injeta-se somente cloreto de sódio. Por fim, é feito um enxague duplo nas colunas de modo a remover toda a solução contida nas mesmas.

O processo de regeneração gera um volume de cerca de 100 m³ de efluente. Os efluentes gerados neste processo são enviados à estação de tratamento de efluentes da empresa, onde são tratados de modo a serem emitidos de acordo com a legislação vigente.

A hibernação das resinas de troca iônica é um processo realizado quando as colunas não estão em operação por mais de 48 horas e também deve ser levada em conta na análise econômica. Este processo consiste na injeção de hidróxido de sódio e cloreto de sódio, nas colunas aniônica e macronet, e de cloreto de sódio, na coluna catiônica. Após o período de hibernação, as colunas são enxaguadas para que o processo de tratamento possa ser restabelecido. Neste processo é gerado cerca de 40 m³ de efluente.

Caso as colunas fiquem sem operar por tempo superior a 7 dias, deve-se proceder a uma nova hibernação.

A Tabela 4.3 apresenta o percentual de cada componente relevante a cada tratamento no custo total de produção do refrigerante através de cada um dos tratamentos estudados. Para o desenvolvimento desta tabela, procedeu-se à análise dos custos de produção nos quatro tipos de tratamento estudados, englobando o custo com as matérias primas e as regenerações e hibernações realizadas nas colunas de troca iônica durante um período de um mês. Esses valores foram somados a fim de se avaliar o custo total de cada tratamento; a proporção do custo de cada componente é, portanto apresentada na tabela. Todos os custos calculados são médios, considerando-se os dados de produções de refrigerantes médios no ano de 2014 e não considerando custos gerados no tratamento dos efluentes gerados. É importante lembrar que, no estado do Rio Grande do Sul, ocorre grande variação de produção ao longo do ano, devido à variação do clima.

Tabela 4.2: Custos relativos das matérias primas e reagentes empregados nos diferentes tipos de tratamento estudados.

Tipo de tratamento	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)
Açúcar	99,04	98,79	96,96	97,11
Água	0,18	0,16	0,17	0,16
Terra infusória	0,05	0,13	0,73	0,69
Carvão ativado	0,00	0,22	1,81	1,72
Regenerações/ hibernações	0,73	0,70	0,33	0,32

A partir da Tabela 4.3 pode-se concluir que o açúcar é o maior responsável pelo custo total do xarope simples, visto que os outros itens analisados possuem um impacto menor no custo do processo. Uma análise simplista desta tabela leva, portanto, à conclusão de que usar o açúcar mais barato como matéria prima é o mais vantajoso, independentemente do processo. Essa análise simples, entretanto, nem sempre é válida e outros fatores importantes que devem ser levados em consideração serão discutidos a seguir.

A terra infusória, apesar de utilizada em menor quantidade que o açúcar, é responsável por quase 1% do custo total de produção de xarope simples quando o

tratamento empregado ao açúcar é a adsorção com carvão ativado. Isto se deve ao fato de a terra ser adicionada em duas etapas do processo: no tanque dissolvidor, em mesma quantidade que o carvão ativado, e como auxiliar no processo de filtração.

Comparando-se os dois processos de tratamento quanto ao consumo de terra infusória, percebe-se que o tratamento por troca iônica utiliza uma quantidade consideravelmente menor desta matéria prima como pode ser visto na Tabela 4.2. Isto ocorre por dois motivos: não há a adição de terra diatomácea ao tanque dissolvidor nos tratamentos com resinas de troca iônica e o volume filtrado por pré-camada de terra do filtro é maior, visto que o carvão ativado é o grande responsável pela saturação dos filtros de xarope.

A Tabela 4.4 apresenta o custo de cada tratamento em relação ao tratamento de maior custo (IV), o qual foi denominado como 100%. Essa tabela foi desenvolvida a partir dos dados de custos e quantidades de matérias primas empregadas no processo; esta forma de apresentação dos dados foi definida em função de exigências da empresa envolvida no estudo.

Tabela 4.3: Custos relativos de matéria prima para a produção de xarope simples pelos diferentes métodos estudados

Tipo de tratamento do açúcar	Custo relativo de produção do xarope simples (%)
I	92,92
II	98,24
III	94,72
IV	100

A partir da Tabela 4.4, conclui-se que, para uma produção média de refrigerantes, o tratamento I é o mais viável, uma vez que o custo de produção do xarope simples é o menor dentre os métodos estudados. Lembrando, este tratamento envolve a utilização do açúcar tipo B tratado com resinas de troca iônica. Este fato se deve, principalmente, ao custo de compra do açúcar tipo B utilizado no processo, de menor valor, o que reflete no tratamento III ser o segundo tratamento mais barato, visto que utiliza o mesmo tipo de açúcar.

A análise da Tabela 4.4 indica que o tratamento do açúcar com resinas de troca iônica mostrou-se como o mais viável economicamente para uma produção média de refrigerantes ao longo do ano. Entretanto, deve-se avaliar se este processo continua viável nos meses nos quais o consumo de refrigerantes (e, por consequência, a produção) diminui consideravelmente. Assim, realizou-se também uma análise da produção mínima de xarope para a viabilidade deste tipo de tratamento ao longo de todo ano, e não somente nos períodos de alta produção.

Esta análise foi feita considerando a disponibilidade de mão de obra e parâmetros de operação das colunas de troca iônica. A disponibilidade de mão de obra deve ser levada em consideração, uma vez que a fábrica em questão opera de segunda à sábado, em três

24 Análise preliminar da viabilidade econômica do uso de resinas de troca iônica e carvão ativado na clarificação do xarope para a indústria de refrigerantes

turnos. Os parâmetros de operação das colunas são, principalmente, a vazão e o tempo de operação.

A vazão nominal de tratamento de xarope nas colunas de troca iônica na planta estudada é de 10 m³/h. No entanto, o fabricante recomenda que a vazão mínima não seja inferior a 3 m³/h. Sendo assim, a vazão de trabalho pode variar entre 3 m³/h e 10 m³/h.

O tempo de operação é uma variável que pode ser manipulada de acordo com o volume de xarope a ser produzido. As colunas de troca iônica podem permanecer, no máximo, 48 h sem a circulação de xarope em seu interior, desde que todo o xarope seja removido e as colunas preenchidas com água de processo aquecida. Esta solução deve ser substituída a cada 24 horas. Além disso, para garantir o xarope livre de contaminação microbiológica o mesmo não pode permanecer dentro das colunas por mais de 8 h.

Visto isso, supôs-se que o tempo máximo de parada das colunas deve ser de 8 horas consecutivas. Além disso, a cada 15 dias, deve-se proceder ao processo de regeneração das resinas. Por ser um processo complexo e que consiste na injeção e circulação de diversas soluções de produtos químicos nas colunas, este processo tem duração de 24 horas.

Sendo assim, avaliando-se os dados de produção e operacionais da planta calculou-se que a produção mínima de refrigerantes necessária para utilização do processo de tratamento com resinas de troca iônica é de 12 milhões de litros de bebida. Este volume foi calculado considerando-se a operação em vazão mínima de xarope nas colunas e operação em turnos alternados, respeitando o tempo máximo de permanência do xarope nas colunas, que deve ser inferior a 8 horas.

O volume mínimo de produção da bebida calculado pode ser considerado razoável, uma vez que, mesmo nos períodos de baixa produção, o volume de refrigerante envasado foi maior do que o volume mínimo calculado, o que torna o tratamento por troca iônica viável durante todo o ano.

5 Conclusões

No presente trabalho foram estudados dois tipos distintos de tratamento para os diferentes tipos de açúcar empregados na produção de refrigerantes: por troca iônica e por carvão ativado. Em cada um dos tipos de tratamento avaliaram-se tipos distintos de açúcar utilizados na empresa estudada (A, B e C). Os tipos de açúcar estudados foram escolhidos por serem açúcares de uso comum na empresa estudada.

Conforme detalhado no decorrer do trabalho, a produção do refrigerantes no Brasil é sazonal, sendo os meses mais frios do anos o período de menor produção da bebida.

O tratamento do açúcar por carvão ativado, por ser um processo em batelada pode ser empregado em períodos de baixa produção da bebida. O tratamento do açúcar por troca iônica possui o inconveniente de ser possível somente em períodos de altas produções da bebida, devido à natureza contínua do processo.

Deste modo, simultaneamente à análise de viabilidade econômica, procedeu-se o estudo da mínima produção de bebida possível pelo tratamento do açúcar por troca iônica. Para este método de tratamento, alguns parâmetros de produção foram analisados como, por exemplo, vazão e tempo de operação, com o objetivo de minimizar

Ao proceder-se a análise da matéria prima mais viável economicamente, constatou-se que o açúcar denominado de tipo B mostrou-se mais viável, devido ao fato de ser a matéria prima de menor valor dentre as opções analisadas.

Em relação ao tipo de tratamento mais viável, constatou-se que que o tratamento por troca iônica é o mais vantajoso economicamente. Dentre as possibilidades de produção analisadas, a opção de menor custo foi o tratamento do tipo I, com custo de produção cerca de 8% menor do que o tratamento mais caro estudado.

Sendo assim, o método de tratamento e o açúcar mais viáveis para a produção do xarope simples empregado na indústria de refrigerantes é a adsorção por troca iônica e o açúcar do tipo B, respectivamente. Visto que o processo de troca iônica é contínuo, e minimizando-se parâmetros operacionais das colunas como vazão e tempo de operação, concluiu-se que a produção mínima mensal de refrigerantes com açúcar na planta estudada deve ser de 12 milhões de litros de bebida para que o processo de tratamento com resinas de troca iônica seja viável.

Este volume mínimo de bebida pode ser considerado razoável, devido ao fato de ser superior aos volumes produzidos em todos os meses de 2014. Entretanto, é necessário ressaltar que este volume de refrigerante produzido deve ser constante e igualmente dividido durante o período de um mês para tornar o processo viável.

6 Referências

ACHAERANDIO, I., GÜELL, C., LÓPEZ, F. **Continuous vinegar decolorization with exchange resins**. *Journal of Food Engineering*. 51: 311-317, 2001.

ANISUZZAMAN, S., JOSEPH, C., TAUFIQ-YAP, Y. H., DUDUKU KRISHNAIAH, TAY, V. V. **Modification of commercial activated carbon for the removal of 2,4-dichlorophenol from simulated wastewater**. *Journal of King Saud University – Science* 27: 318-330, 2014.

ANVISA, 2015. **Norma Geral de Aditivos Alimentares – GFSA**. Disponível em: <http://s.anvisa.gov.br/wps/s/r/dz>. Acesso em 30 de out de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS – ABIR. Disponível em <http://abir.org.br/o-setor/dados/refrigerantes>>. Acesso em 02 nov. 2015.

ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE REFRIGERANTE DO BRASIL – AFEBRAS. **História do setor**. Paraná, [200-?]. Disponível em: <<http://afrebras.org.br/>>. Acesso em 02 nov. 2015.

BARNABÉ, D. , VENTURINI FILHO, W. G.. **Refrigerantes. Bebidas não alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo. V2, n. 5, p. 177-196, 2010.

CRUZ, G. F. B. **Fabricação de Refrigerantes**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjc2NTQ>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

DZIEZAK, J.D. **Acidulants: Ingredients that do more than meet the acid test**. *Food Technology* 44: 78-83, 1990

FANTINEL, J. **Tecnologia de refrigerantes**. In: TOCCHINI, R. P.; NISIDA, A. L. A. C. Aspectos relevantes na industrialização de refrigerantes – seminário. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 1-12, 2000.

FREITAS FILHO, L. J. R. **Simulação de sistemas para avaliação do processo de produção de refrigerantes**. Campinas, SP: Unicamp, 2009.

GEANKOPLIS, C.J. **Transport Process and Unit Operations**. Prentice-Hall, 1993, 921p.

HANSSON, A., ANDERSSON, J., LEUFVÉN, A., PEHRSON, K. **Effect of changes in pH on the release of flavour compounds from a soft drink-related model system**. *Food Chemistry* 74: 429-435, 2001.

KAMMERER, J., REINHOLD, C., KAMMERER, D. **Adsorption and Ion Exchange: Basic Principles and Their Application in Food Processing.** *Agricultural Food Chemistry* 59: 22-42, 2011

LÓPEZ, F., MEDINA, F., PRODANOV, M., GÜELL, C. **Oxidation of activated carbon: application to vinegar decolorization.** *Journal of colloid and interface Science.* 257: 173-178, 2002.

MUDOGA, H., YUCEL, H., KINCAL, N. **Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons.** *Bioresource Technology.* 99: 3528-3533, 2007.

SALATA, C. C. **Produção de refrigerante a partir de suco integral congelado e suco desidratado de maracujá: avaliação físico-química, sensorial e econômica.** 2003, 194f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2003.

SELVA, M. **Tecnologia de Refrigenanc** - Tratamento Xarope Simples. Rio de Janeiro. Ambev, 2014.

SOLOMONS, T.W, FRYLE, C.B., **Organic Chemistry**, LTC, Rio de Janeiro, 2000, 474p.

VARNAM, A. H., SUTHERLAND, J. P. **Beverages: technology, chemistry and microbiology.** Gaithersburg, Maryland : Aspen, 1999, 164p.

WIGMANS, T. **Industrial Aspects of Production and Use os Activated Carbons.** *Carbon* 27: 13-22, 1989.

ZAGORODNI, A., KOTOVA, D., SELEMENEV, V. **Infrared spectroscopy of ion exchange resins: Chemical deterioration of the resins.** *Reactive and Functional Polymers.* 53: 157-171, 2001.

ZHANG, J., AMINI, A., O'NEAL, J. A., BOYER, T. H., ZHANG, Q. **Development and validation of a novel modeling framework integrating ion exchange and resin regeneration for water treatment.** *Water Research.* 84: 255-265, 2015.