

CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA

QUÍMICA BACHARELADO

ARIANE DE ALMEIDA RODRIGUES DA SILVA

**IMPACTOS DO PROCESSO DE EMPACOTAMENTO DO REFRIGERANTE QUE
PODEM INTERFERIR NA CARBONATAÇÃO**

CAMPO LIMPO PAULISTA

Novembro de 2023

CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA

QUÍMICA BACHARELADO

ARIANE DE ALMEIDA RODRIGUES DA SILVA

**IMPACTOS DO PROCESSO DE EMPACOTAMENTO DO REFRIGERANTE QUE
PODEM INTERFERIR NA CARBONATAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à banca avaliadora para
obtenção do diploma de Química orientado
pelo professor Matheus Pagnan.

CAMPO LIMPO PAULISTA

Novembro de 2023

BACHARELADO EM QUÍMICA

DEFESA PÚBLICA ORAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: Ariane de Almeida Rodrigues da Silva

RA: 31063

Nome do Trabalho: Impactos do processo de empacotamento do refrigerante que podem interferir na carbonatação.

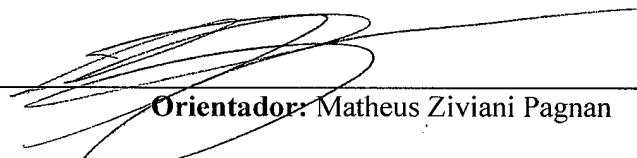
Aspecto	Quem avalia?	Total de pontos	Pontos obtidos
Trabalho durante o período de orientação (<i>assiduidade, interesse, relacionamento e produção</i>)	Orientador	(0-3)	3,0
Mérito (<i>importância, demonstração de esforço, maturidade do trabalho e resultados obtidos</i>)	Banca	(0-3)	3,0
Qualidade do texto (<i>uso correto da língua portuguesa, qualidade gráfica, atendimento aos padrões estabelecidos</i>)	Banca	(0-2)	1,5
Apresentação oral (<i>qualidade dos slides, postura e clareza na exposição das idéias</i>)	Banca	(0-2)	2
Total:			9,5

Aprovado

Reprovado

Banca:

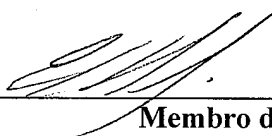
Ass.


Orientador: Matheus Ziviani Pagnan

Ass.


Membro da banca: Flávio Roberto Arruda

Ass.


Membro da banca: Franco Junior

*“Persistência é a irmã gêmea da excelência”.
Uma é a mãe da qualidade, a outra é a mãe do tempo”.*

- Marabel Morgan

Resumo

Segundo a ABIR – Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas, o Brasil é o terceiro maior país produtor de refrigerantes no mundo atrás somente dos Estados Unidos e da China, tendo grandes marcas como Ambev e Coca Cola com fábricas no seu território nacional; Além de estar no ranking dos dez maiores consumidores do mundo. (ABIR, s.d.)

O frescor, tão procurado pelos consumidores ao degustar uma bebida carbonatada depende da quantidade e solubilidade do gás carbônico contido na mesma, as quais interferem diretamente no nível de efervescência sentido pelo consumidor, assim como no seu sabor. (Lima, et al., 2009)

No início dessa indústria tão lucrativa no Brasil, o processo de carbonatação da Bebida era consideravelmente simples, porém sem grandes padrões de Qualidade. A crescente de inovações e tecnologias possibilitam um avanço significativo no controle e dosagem de gás Carbônico (CO₂) nesse processo com a implementação de sistemas de carbonatação avançados. (Portal de Bebidas Brasileiras, 2023)

A experiência sensorial do consumidor é um dos elementos mais importantes avaliado por uma fábrica de refrigerantes. É através da resposta do público alvo, e de suas reclamações, que estudos e análises estruturadas podem ser realizados a fim de aprimorar e melhorar os processos, com a finalidade de entregar sempre um produto de qualidade.

No presente trabalho, analisou-se o maior motivo de reclamações de uma empresa de grande porte no ramo de bebidas não carbonatadas, referenciada neste texto como Empresa A, por motivos de sigilo de informações. Acerca da problemática encontrada, foi monitorado a perda de CO₂ em refrigerante sabor cola envasado em garrafas plásticas de 1 e 2 litros e analisado qual a prática do processo que pode impactar significativamente no percentual de CO₂ e, por consequência, no sabor do refrigerante.

Palavras chave: Refrigerante. Processo de envase. Carbonatação. Sensorial.

Abstract

According to ABIR – Brazilian Association of Soft Drinks and Non-Alcoholic Beverage Industries, Brazil is the third largest soft drink producing country in the world behind United States and China only, with major brands such as Ambev and Coca Cola with factories in its national territory; In addition, it is in the ranking of the ten largest consumers in the world. (ABIR, n.d.)

The freshness, so desired for the consumers when tasting a carbonated drink, depends on the carbon dioxide's quantity and solubility contained in it, which directly influence the level of effervescence felt by the consumer, as well as its flavor. (Lima, et al., 2009)

At the beginning of this very profitable industry in Brazil, the drink carbonation process was considerably simple, but without high quality standards. Growing innovation and technology enable significant advances in the control and dosage of carbon dioxide (CO₂) in this process with the implementation of advanced carbonation systems. (Brazilian Drinks Portal, 2023)

The consumer's sensory experience is one of the most important elements evaluated by a soft drink factory. It is through the response of the target audience, and their complaints, that structured studies and analyzes can be done in order to improve processes, with the objective of always delivering a product with quality.

In the present work, it was analyzed the biggest reason for complaints from a large company in the non-carbonated drinks sector, referred to in this text as Company A, for reasons of confidentiality. Regarding the problem found, was monitored the loss of CO₂ in cola-flavored soft drinks packaged in 1 and 2 liter plastic bottles and analyzed the process practice that can significantly impact the percentage of CO₂ and, consequently, the flavor of the soft drink.

Keywords: Soft drink. Packaging Process. Carbonation. Sensory.

1 SUMÁRIO

1.1	Índice de Gráficos	10
2	Introdução.....	11
2.1	A história da indústria de bebidas carbonatadas não alcoólicas.....	11
3	Objetivos.....	13
4	Justificativa	14
5	Metodologia	15
6	Problemática.....	16
7	Lei dos gases.....	17
8	Solubilidade dos gases	20
8.1	Lei de Henry.....	20
9	Definição de Refrigerante	22
9.1	Matéria prima do Refrigerante.....	22
9.2	Extrato de frutas.....	22
9.3	Água	23
9.4	Açúcar.....	24
9.5	Edulcorantes	27
9.6	Conservantes.....	27
9.7	Acidulantes	28
9.8	Antioxidantes	28
9.9	Dióxido de Carbono (CO ₂)	29
10	Processo produtivo do xarope do refrigerante	29
10.1	Xarope Simples	29
10.2	Xaropes Composto	30
10.3	Carbonatação	31
11	Processo de envase do refrigerante.....	33
12	Percepção sensorial da Carbonatação.....	34

13	Metodologia.....	36
13.1	Amostragem	36
13.2	Preparação das amostras	36
13.3	Procedimento de Medição de CO ₂ dissolvido.....	36
13.4	Funcionamento do equipamento.....	37
14	Resultados e Discussões	39
15	Alternativas para o consumidor	44
16	Considerações finais	45
17	Referências Bibliográficas	46
18	Bibliografia da lista de figuras.....	49
	APÊNDICE 1.....	50

Índice de Figuras

Figura 1 - Elementos no estado gasoso em temperatura ambiente (Ptable, 2022) ..	17
Figura 2 - Esquema exemplificado do experimento de Boyle para medida de volume e pressão (PSIBERG, 2023).....	18
Figura 3 – Momento Dipolo da molécula de H ₂ O e CO ₂ (Autorial).....	21
Figura 5 – Fluxograma de processamento do xarope de Refrigerante (Adaptado de Barnabé, et al., 2005)	29
Figura 6 - Reação do CO ₂ com Água da receita (Celestino, 2010).....	31
Figura 7 – Fluxograma do processo de envase do refrigerante e do processo de formação do pack promocional (Empresa A, s.d.)	34
Figura 8 – Equipamento <i>Soft Drink Analyzer</i> (Anton Paar, s.d.)	37
Figura 9 – Máquina de refrigerante que possibilita a carbonatação da bebida na hora (Brastemp, s.d.).....	44

Índice de Equações

Equação 1 - Reação de produção de Gás Carbônico através do experimento de Gabriel Venel (Adaptado de Barnabé, et al., 2005).....	11
Equação 2 - Fórmula do cálculo de Pressão (Atkins, et al., 2012).....	18
Equação 3 – Fórmula obtida por Boyle para cálculo do Volume ou da Pressão a uma temperatura constante.....	19
Equação 4 - Fórmula da Lei dos gases ideias (Atkins, et al., 2012)	19
Equação 5 - Fórmula para cálculo da Constante dos gases (Atkins, et al., 2012)	20
Equação 6 – Fórmula da Lei de solubilidade dos gases (Silva, et al., 2017)	20
Equação 7 - Reação de inversão da Sacarose (Anton Paar, s.d.).....	24

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Constantes de Henry para alguns gases constituídos de átomos ou moléculas apolares válidos para solubilidade em água a 20°C (Silva, et al., 2017)	21
Tabela 2 - Definição da bebida de frutas gaseificada com base no extrato utilizado (MAPA, 2023)	22
Tabela 3 - Padrões de potabilidade da água necessários para uso na produção do refrigerante (Barnabé, et al., 2005)	23
Tabela 4 - Representação do poder edulcorante de substâncias comparadas a Sacarose (Barnabé, et al., 2005)	24
Tabela 5 - Parâmetros de Qualidade do açúcar para uso em Refrigerantes (Barnabé, et al., 2005)	26
Tabela 6 – Principais edulcorantes e os limites para bebidas com reduzido teor de açúcar (Adaptado de ANVISA, 2001)	27
Tabela 7 – Resultados das medições de CO ₂ das 120 amostras analisadas (expressos em volumes de CO ₂)	50

1.1 Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Número de chamados de reclamações de consumidores de refrigerantes ranqueados por motivo de queixa de janeiro á outubro de 2023 (Empresa A, 2023)	16
Gráfico 2 - Grau de inversão da Sacarose e impacto no valor de Brix ao longo do tempo (Anton Paar, s.d.).....	25
Gráfico 3 – Resultado de CO ₂ das amostras de 2 litros resultantes do 1° e 2°/3° Forno.....	39
Gráfico 4 – Curva de decaimento de CO ₂ da amostra de 2 litros resultante do 1° forno.....	40
Gráfico 5 - Curva de decaimento de CO ₂ da amostra de 2 litros resultante do 2°/3° forno.....	40
Gráfico 6 - Resultado de CO ₂ das amostras de 1 litro resultantes do 1° e 2°/3° Forno	41
Gráfico 7 - Curva de decaimento de CO ₂ da amostra de 1 litro resultante do 1° forno	42
Gráfico 8 - Curva de decaimento de CO ₂ da amostra de 1 litro resultante do 2°/3° forno.....	42
Gráfico 9 - Resultado de CO ₂ das amostras de 2 litros resultantes do 1° e 2°/3° Empacotamento da Empresa A - Comparativo (Empresa A, 2023)	43

2 INTRODUÇÃO

2.1 A história da indústria de bebidas carbonatadas não alcoólicas

A história do refrigerante remonta por volta do ano de 1750, quando o químico francês Gabriel François Venel (1723-1775) realizou um experimento bem sucedido na produção de água gasosa artificial onde obteve gás carbônico pela reação de Ácido Clorídrico (HCl) com Carbonato de Sódio (Na₂CO₃) em um vaso fechado, assim como pode ser observado na reação da Equação 1. (Barnabé, et al., 2005)



Equação 1 - Reação de produção de Gás Carbônico através do experimento de Gabriel Venel (Adaptado de Barnabé, et al., 2005)

Em 1772, Joseph Priestley (1733-1804), um importante Químico e Teólogo inglês que ficou conhecido pela descoberta do Oxigênio, realizou uma valiosa observação para a indústria de bebidas gaseificadas. Priestley morava ao lado de uma cervejaria, onde, observando o processamento do malte, evidenciou o desprendimento de gases nos tanques de fermentação; Esse processo lhe causou curiosidade ao ponto de iniciar um estudo mais aprofundado sobre o impacto que os mesmos poderiam ter sobre a bebida, notando que dissolviam-se em água e que era agradável ao paladar quando provada. No mesmo ano, publicou a obra “Directions for Impregnating Water with Fixed Air” sugerindo a aplicação de gás carbônico em bebidas, com a qual foi premiado com a Medalha Copley, sendo esse um prêmio de maior prestígio atribuído pela Royal Society no domínio das ciências. (Almeida, 1980)

Cerca de dez anos depois, em 1782, o farmacêutico Thomas Henry (1734-1816), usufruindo da ideia inicialmente publicada por Joseph, realizou estudos sobre a solubilidade dos gases com a variação de pressão e tornou-se pioneiro na produção de água carbonatada em escala industrial, abrindo caminho para a indústria de água mineral, considerada hoje, o berço do refrigerante. (Barnabé, et al., 2005)

Apesar de existirem alguns registros acerca da produção do refrigerante, somente em 1807, o primeiro refrigerante foi preparado pelo farmacêutico Townsend

Speakman pela mistura de flavorizantes e suco de frutas á água gaseificada.
(Almeida, 1980)

Por fim, no presente trabalho serão, inicialmente, abordadas e discutidas as propriedades dos gases e o processo de envase padrão do refrigerante. Em seguida, será demonstrado quantitativamente a influencia que os mesmos podem gerar na percepção sensorial ao degustar a bebida.

3 OBJETIVOS

- 1) Definir conceito de refrigerante e citar ingredientes e processos necessários para sua produção;
- 2) Dissertar sobre a vigência da lei de gases no processo de carbonatação do refrigerante;
- 3) Apresentar dados sobre o decaimento de CO₂ influenciado pela temperatura do processo.

4 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho foi desenvolvido a fim de realizar um estudo sobre os chamados de reclamações de consumidores (SAC) mais comuns referente ao refrigerante, a qual foi constatada ser o chamado de produto sem gás. Através desse dado foi pesquisada em referências bibliográficas a importância da carbonatação, pois a falta da mesma originou toda a problemática do trabalho em questão, e, foi realizado análises para comprovar o impacto que a formação de packs promocionais podem gerar nesse tipo de chamado.

5 METODOLOGIA

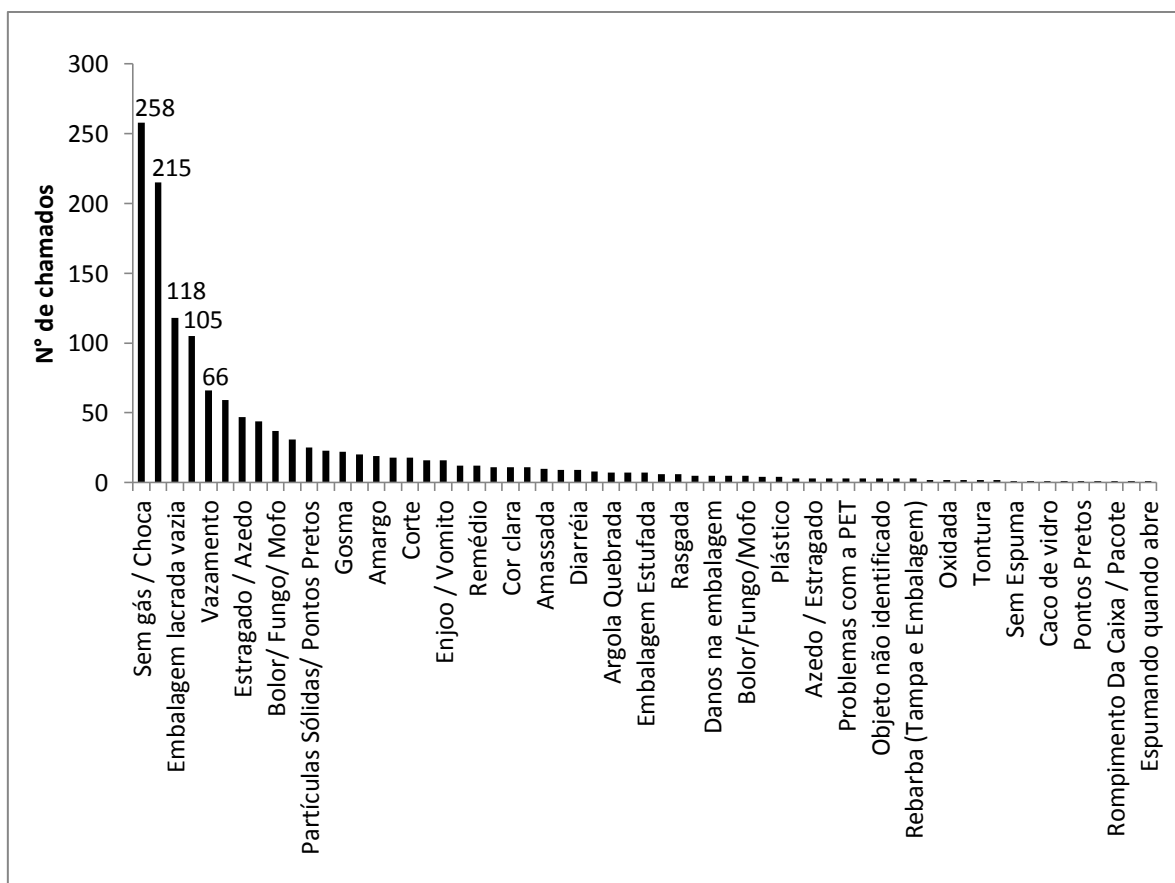
O estudo iniciou-se com uma revisão bibliográfica da história de desenvolvimento do refrigerante, seguindo da citação e explicação dos principais ingredientes indispensáveis para formulação do produto e das etapas do processo a qual o mesmo é sucedido.

Em seguida, foi realizada uma análise laboratorial a fim de medir o conteúdo de CO₂ presente em 120 amostras no total, divididas por volume de embalagem (1 Litro e 2 Litros) e que passaram por dois processos de empacotamento diferentes. Essa análise foi realizada mediante o equipamento Analisador de Refrigerante (*Soft Drink Analyzer*) da empresa Anton Paar, o qual mede a concentração de gás carbônico dissolvido, entre outros parâmetros de forma automática, sem necessidade de preparação prévia da amostra. A medição ocorreu no período decorrido de um mês, iniciando-se no dia 8 de setembro (dia do envase do produto) e finalizando no dia 8 de novembro de 2023, sendo realizada pela autora deste trabalho. Os dados obtidos foram transcritos para o Excel onde foram tratados em forma de tabela, gráficos e definição da curva de decaimento de CO₂.

6 PROBLEMÁTICA

Os dados apresentados pelo gráfico 1 mostram os chamados de reclamações de consumidores de uma empresa de grande porte da indústria de bebidas no período de janeiro até outubro de 2023. Os chamados de reclamações advindos de amostras degustadas que apresentavam pouca carbonatação (sem gás) representam 20% dos chamados de reclamações da Empresa A em 2023.

Gráfico 1 – Número de chamados de reclamações de consumidores de refrigerantes ranqueados por motivo de queixa de janeiro á outubro de 2023 (Empresa A, 2023)



7 LEI DOS GASES

Em meio gasoso, as moléculas estão em um constante movimento aleatório, tão distantes umas das outras que a interação entre elas torna-se possível somente quando sofrem breves colisões, mudando de direção e velocidade. Sobre a afirmativa do movimento aleatório das moléculas, observa-se um balão como exemplo, onde de todos os lados, a pressão permanece a mesma, sugerindo seu movimento desordenado. A propriedade de compressão dos gases torna evidente que existe muito espaço livre entre essas moléculas, e o volume preenchido pelo gás depende diretamente do volume do espaço que ele ocupa. (Atkins, et al., 2012)

Na tabela periódica ilustrada pela figura 1, evidenciam-se onze elementos que se encontram no estado gasoso em temperatura ambiente, dentre eles os gases nobres, o Flúor (F), Cloro (Cl), Oxigênio (O), Nitrogênio (N) e o Hidrogênio (H). Ademais, compostos de baixo peso molecular também podem ser incluídos nessa classificação, podendo citar o Metano (CH₃), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Sulfeto de Hidrogênio (H₂S). (Atkins, et al., 2012)

1		Atômico										2					
H		Símbolo										He					
Hidrogênio		Nome										Hélio					
1,008		Peso										4,0026					
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Lítio	Berílio											Boro	Carbono	Azoto	Oxigênio	Flúor	Néon
6,94	9,0122											10,81	12,011	14,007	15,999	18,998	20,180
		H Gás															
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Sódio	Magnésio											Alumínio	Silício	Fósforo	Enxofre	Cloro	Argônio
22,990	24,305											26,982	28,085	30,974	32,06	35,45	39,948
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Potássio	Cálcio	Escândio	Titânio	Vanádio	Cromo	Manganês	Ferro	Cobalto	Níquel	Cobre	Zinco	Gálio	germânio	arsênio	selênio	bromo	criptônio
39,098	40,078	44,956	47,867	50,942	51,996	54,936	55,845	58,933	58,693	63,546	65,38	69,723	72,630	74,922	78,971	79,904	83,798
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Rubídio	Estrôncio	Ítrio	Zircônio	Níobio	Molibdênio	Tecnécio	Rútenio	Ródio	Paládio	Prata	Cádmio	Índio	Estanho	Antimônio	Telúrio	Iodo	Xenônio
85,468	87,62	88,906	91,224	92,906	95,95	(98)	101,07	102,91	106,42	107,87	112,41	114,82	118,71	121,76	127,60	126,90	131,29
55	56	72		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	Hf		Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Césio	Báris	Háfnio		Tântalo	Tungstênio	Rênio	Osmio	Íridio	Platina	Ouro	Mercurio	Tálio	Chumbo	Bismuto	Polônio	Astato	Rádion
132,91	137,33	178,49		180,95	183,84	186,21	190,23	192,22	195,08	196,97	200,59	204,38	207,2	208,98	(209)	(210)	(222)
87	88	104		105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra	Rf		Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
Frâncio	Rádion	Rutherfordio		Dubnio	Séborgio	Bório	Háscio	Mitânio	Darmstádio	Róentgênio	Copernício	Nihoniu	Fleróvio	Moscóvio	Livermório	Tennesso	Oganesson
(223)	(226)	(267)		(268)	(269)	(270)	(277)	(278)	(281)	(282)	(285)	(286)	(289)	(290)	(293)	(294)	(294)
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
Lantânio	Cério	Praseodímio	Néodímio	Promécio	Samário	Európio	Gadolínio	Térbio	Disprósio	Hólmio	Erbio	Ítrbio	Íterbio	Lutécio			
138,91	140,12	140,91	144,24	(145)	150,36	151,96	157,25	158,93	162,50	164,93	167,26	168,93	173,05	174,97			
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			
Actínio	Tório	Protactínio	Urânio	Neptúnio	Plutônio	Americio	Cúrio	Berquélio	Califórnio	Einsteinio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Laurêncio			
(227)	232,04	231,04	238,03	(237)	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)	(266)			

Figura 1 - Elementos no estado gasoso em temperatura ambiente (Ptable, 2022)

Torna-se importante ressaltar que, em baixas pressões, existem muitas propriedades físicas semelhantes entre os gases. A grandeza da pressão P é definida quantitativamente pela força F exercida pelo gás a fim de expandir-se,

dividido pela área A que ele está ocupando, resultando em um valor dado pela unidade Pa onde $1 Pa$ equivale a $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$ e 100 kPa equivalem a 1 bar , assim como mostra a equação 1 a seguir: (Atkins, et al., 2012)

$$P = \frac{F}{A}$$

Equação 2 - Fórmula do cálculo de Pressão (Atkins, et al., 2012)

Em suma, a instabilidade dos movimentos gera colisões contínuas na superfície interna do recipiente onde o gás está alocado; essas colisões geram a força mencionada anteriormente, a qual é traduzida em pressão do gás. (Atkins, et al., 2012)

Em meados de 1661, Boyle (1627-1691) introduziu à Royal Society o conceito de compressão do ar através dos resultados do seu experimento, a qual mais tarde foi intitulada como Lei de Boyle. O mesmo consistia em aprisionar uma quantidade de ar dentro de um tubo de vidro em forma de “J” vedado na ponta menor, pela inserção de Mercúrio líquido. Ao realizar o teste, observou-se que, ao dobrar o volume de Mercúrio, diminuiu-se pela metade o volume de ar aprisionado, como o esquema evidenciado na figura 2. (Webster, 1965)

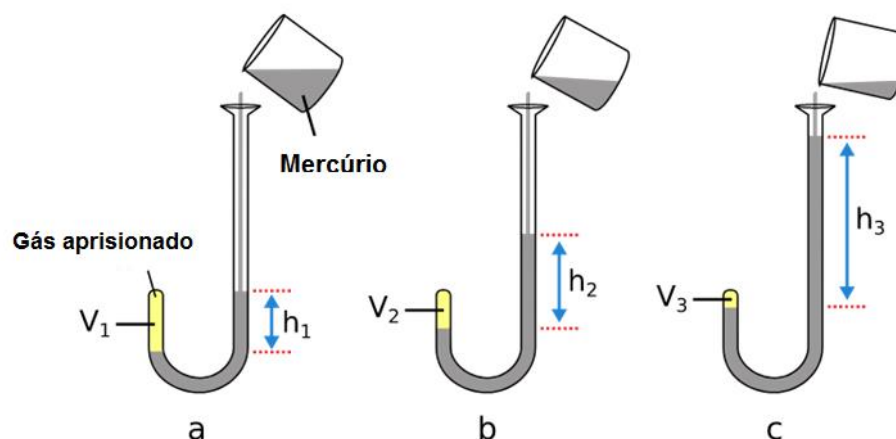


Figura 2 - Esquema exemplificado do experimento de Boyle para medida de volume e pressão (PSIBERG, 2023)

Um importante fato a ressaltar, é que a Lei de Boyle não sofre interferência da grandeza de temperatura do gás na quantificação da pressão, pois esta apresenta-se como uma constante. Portanto, a lei define que, sob temperatura constante, o

aumento de pressão resulta em uma diminuição de volume, bem como o contrário também mostra-se uma verdade, demonstrando que o volume e a pressão são grandezas inversamente proporcionais como mostra a equação 3. (Webster, 1965)

$$Volume = \frac{Constante \text{ (Número de átomos e Temperatura)}}{Pressão}$$

Equação 3 – Fórmula obtida por Boyle para cálculo do Volume ou da Pressão a uma temperatura constante

Observa-se que a Lei de Boyle apresenta uma condição muito importante: a temperatura constante. Certamente que, sem essa condição controlada, ao pressurizar um gás, o espaço disponível para o movimento livre das moléculas torna-se menor; nesse momento, a probabilidade de colisões entre elas aumenta, da mesma forma que a energia cinética do meio, resultando no aumento de temperatura resultante da energia liberada pelas colisões. A esse cenário, quando a temperatura é incluída na equação, temos a regência da Lei dos gases ideais. (Atkins, et al., 2012)

Em 1787, através de um passatempo, os franceses Jacques Charles (1746-1823) e Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) observaram como a temperatura afeta o volume, a pressão e a densidade de um gás. Utilizando balões de ar quente, ambos comprovaram que, sob pressão constante, o volume de um gás aumenta quando ele sofre aumento da temperatura, resultado na fórmula conhecida como Lei dos gases ideais representada pela Equação 4. Todos os gases que obedeceram as condições da fórmula são intitulados Gases ideais. (Atkins, et al., 2012)

$$P.V = n.R.T$$

Equação 4 - Fórmula da Lei dos gases ideais (Atkins, et al., 2012)

A constante dos gases, intitulada pela letra *R*, possui o mesmo valor para todos os gases, sendo: $R=8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$. Da mesma forma, esse resultado pode ser confirmado quando tem-se os valores de Pressão (P), Volume (V), Temperatura (T) e Número de mols (n), através da fórmula rearranjada da Equação 5. (Atkins, et al., 2012)

$$R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$$

Equação 5 - Fórmula para cálculo da Constante dos gases (Atkins, et al., 2012)

8 SOLUBILIDADE DOS GASES

8.1 Lei de Henry

Em 1801, o químico britânico William Henry, promulgou a Lei de solubilidade dos gases, a qual é conhecida como Lei de Henry em sua homenagem. Esta é governada pela equação 6, onde tem-se que S_g é a solubilidade do gás (mol/L), K_h é o valor da Constante de Henry (mol.L⁻¹.atm⁻¹) e P_g é a pressão parcial do gás (atm). Portanto, quanto maior a pressão, maior a solubilidade do gás. (Silva, et al., 2017)

$$S_g = K_h \cdot P_g$$

Equação 6 – Fórmula da Lei de solubilidade dos gases (Silva, et al., 2017)

A constante de Henry depende da natureza do gás, da temperatura e do solvente empregado. Quando os dois últimos citados são constantes, a intensidade da força de interação das moléculas do gás e do solvente dita o valor de K_h , onde mostra-se favorável, as interações do tipo dipolo permanente-dipolo induzido. (Silva, et al., 2017)

Em especial, a molécula de CO₂ apresentada na figura 3, possui uma configuração linear, apolar, do tipo dipolo induzido-induzido com densidade eletrônica simétrica que permite a polarização. Entende-se por polarizabilidade, a medida da facilidade de distorção de uma nuvem eletrônica. Em contrapartida ao gás carbônico, a molécula de água é uma molécula polar, com dipolo permanente, que provoca um momento de dipolo induzido na molécula de CO₂. A extremidade negativa da molécula de H₂O aproxima-se da molécula de CO₂, ocasionando uma repulsão e afastando a nuvem eletrônica do CO₂. O gás carbônico fica momentaneamente polarizado possibilitando uma interação com a água, e solubilizando-se na mesma. (Silva, et al., 2017)

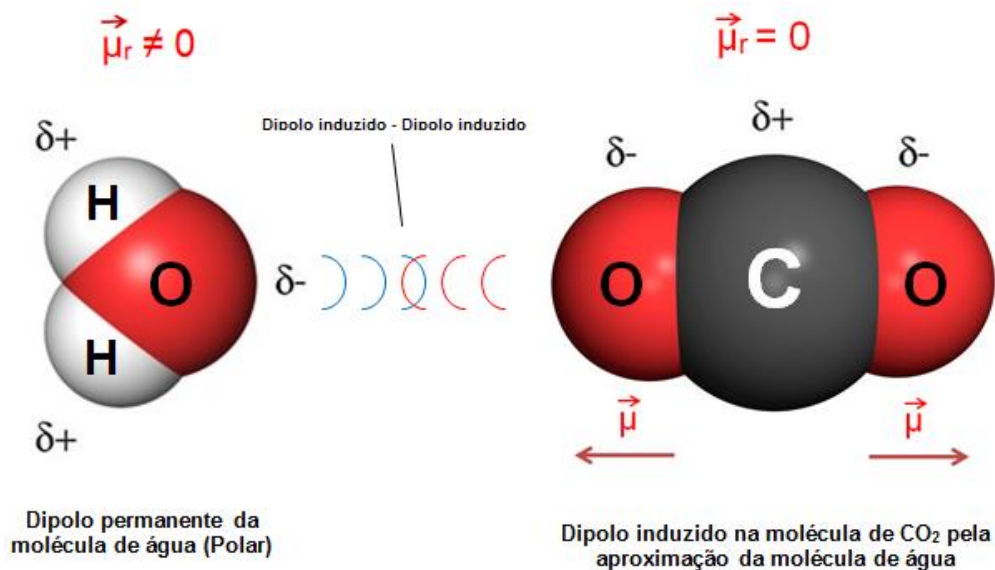


Figura 3 – Momento Dipolo da molécula de H₂O e CO₂ (Autoral)

A tabela 1 mostra o valor da Constante de Henry para soluções de gases formados por átomos isolados (gases nobres) ou por moléculas apolares dispersas em um solvente polar, sendo ele a água, a temperatura de 20°C. (Silva, et al., 2017)

Tabela 1 - Constantes de Henry para alguns gases constituídos de átomos ou moléculas apolares válidos para solubilidade em água a 20°C (Silva, et al., 2017)

Gás	K_h (mol.L ⁻¹ .atm ⁻¹)
He	$3,7 \cdot 10^{-4}$
Ne	$5,0 \cdot 10^{-4}$
N ₂	$7,0 \cdot 10^{-4}$
H ₂	$8,5 \cdot 10^{-4}$
O ₂	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Ar	$1,5 \cdot 10^{-3}$
CO ₂	$2,3 \cdot 10^{-3}$

Quando a temperatura torna-se uma variável, sua influência vai depender da fase de dispersão, a qual pode gerar efeitos de solubilidade contrários. Quando o meio de solubilização for líquido, à medida que a temperatura aumenta, há uma redução da intensidade das forças intermoleculares, por exemplo, entre o CO₂ e o H₂O, por isso,

o CO₂ tem sua solubilidade reduzida e é liberado. Em contrapartida, na fase de dispersão sólida, à medida que a temperatura aumenta, a energia cinética e a mobilidade das espécies do gás também aumentam, tornando a solubilidade maior nesse caso. (Silva, et al., 2017)

9 DEFINIÇÃO DE REFRIGERANTE

O MAPA (Ministério da Agricultura e Pecuária) descreve no Decreto nº 6.871/2009 de 4 de junho de 2009, o Refrigerante como uma “bebida gaseificada, obtida pela dissolução, em água potável, de suco ou extrato vegetal de sua origem, adicionada de açúcar”. O órgão ainda define que a pressão gasosa da bebida deve ser >2,5 V (dois e meio volumes de CO₂) a 20°C, sendo essa exigência apresentada no art. 18, § 1º, da I.N. Mapa nº 19/2013, alterado pela I.N. Mapa nº 23/2014. (MAPA, 2023)

9.1 Matéria prima do Refrigerante

9.2 Extrato de frutas

Na produção do refrigerante, o extrato de frutas pode variar conforme o sabor da bebida, podendo ser um suco concentrado, desidratado ou polpa de frutas congeladas. (Celestino, 2010)

A portaria nº 476/2022 do MAPA define alguns critérios para a denominação do refrigerante em detrimento do extrato utilizado no processo de fabricação da bebida, conforme mostra a tabela 1:

Tabela 2 - Definição da bebida de frutas gaseificada com base no extrato utilizado (MAPA, 2023)

Denominação	Quantidade mínima obrigatória contida na receita
Fruta	Quantidade mínima, em mL/100 mL
Refrigerante de Laranja, Tangerina ou Uva	10,0% do respectivo suco na sua concentração natural
Refrigerante de Limão ou Soda Limonada	2,5% de suco de limão

Refrigerante de Maçã	5,0% de suco de maçã
Extrato Padronizado	Quantidade mínima, em g/100 mL
Refrigerante de Guaraná	0,02 g de semente de guaraná
Refrigerante de cola	Presença de semente de noz de cola ou extrato de noz de cola

9.3 Água

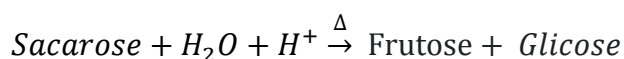
Na composição do refrigerante, a água compõe cerca de 90% da receita. Devido à alta proporção, mostra-se de suma importância o controle crítico de qualidade da água, uma vez que, qualquer concentração elevada de Alcalinidade ou do teor de Cloro podem impactar na aparência, estabilidade ou sabor do produto. Ademais, a estabilidade da água representa um papel importância no balanço químico da bebida, ao passo que é o veículo de dissolução dos demais ingredientes da receita. Deste modo, a mesma precisa passar por um processo de tratamento específico anterior ao processo de produção do refrigerante, pois, a água fornecida pelas companhias de saneamento raramente conseguem fornecê-la com as os padrões de potabilidade necessários apresentadas na tabela 2: (Barnabé, et al., 2005)

Tabela 3 - Padrões de potabilidade da água necessários para uso na produção do refrigerante (Barnabé, et al., 2005)

Parâmetros	Teor máximo
Ferro	Ausente
Cloro residual	Ausente
Cálcio	<85 ppm CaCO ₃
Magnésio	<85 ppm CaCO ₃
Alcalinidade	50 – 100 ppm CaCO ₃
Turbidez	< 1 NTU

9.4 Açúcar

O principal açúcar utilizado na composição do refrigerante é a Sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), carboidrato obtido comercialmente a partir da cana, a qual deve obedecer a padrões de pureza a fim de não gerar interferência sensorial na bebida. Quando adicionado na formulação do refrigerante, pelas características ácidas do meio, a sacarose pode sofrer inversão hidrolisando-se em frutose e glicose como mostra a equação 3. Por esse motivo, o açúcar para uso na fabricação do refrigerante deve apresentar uma polarização inicial superior a 99,5%, e caso esse parâmetro não seja atendido, o mesmo precisa passar por processos envolvendo calor e carvão ativado a fim de atingir a taxa de polarização mencionada. (Barnabé, et al., 2005)



Equação 7 - Reação de inversão da Sacarose (Anton Paar, s.d.)

A inversão que a Sacarose sofre pode ser medida pelo grau de Polarização, como mencionado anteriormente. Esse processo evidencia-se como um problema enfrentado pelas empresas de refrigerantes, uma vez que o poder edulcorante da Frutose é maior que da Sacarose, como pode-se observar pelas porcentagens apresentadas na tabela 3 (Anton Paar, s.d.)

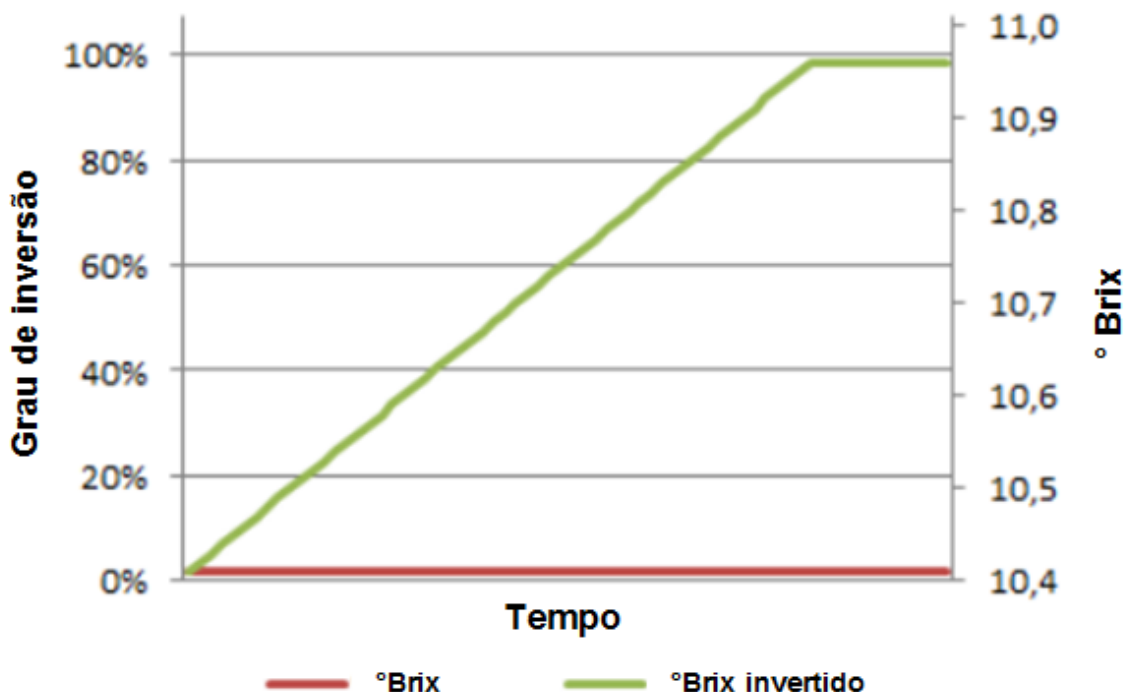
Tabela 4 - Representação do poder edulcorante de substâncias comparadas a Sacarose (Barnabé, et al., 2005)

Substância	Poder edulcorante (% relativa à Sacarose)
Sacarina	300
Aspartame	200
Frutose	1,7
Sacarose	1
Glicose	0,74
Maltose	0,33
Lactose	0,16

A empresa de instrumentos de laboratório e sistemas de medição, Anton Paar, realizou análises em amostras de refrigerantes onde acompanhou o valor de Brix

das mesmas em comparação ao percentual de açúcar invertido. O gráfico 4 comprova o ponto levantado a respeito da variação de Brix citada; ação na qual, impacta em alteração na percepção sensorial, e dificuldade de controle e consistência sensorial do produto. (Anton Paar, s.d.)

Gráfico 2 - Grau de inversão da Sacarose e impacto no valor de Brix ao longo do tempo (Anton Paar, s.d.)



Ainda sobre a equação 7, comparando a massa molar da Sacarose (342,3 g/mol) e da Frutose + Glicose (360,3 g/mol) é possível observar o aumento de massa de açúcares na receita em uma média percentual de, aproximadamente, 5%. Isso ocorre, pois, como mostra a reação na equação 3, a Sacarose sofre interação com a molécula de água para formar os produtos. Nessa situação, se o cálculo de dosagem de açúcar foi realizado somente com base no °Brix da Sacarose, caso ocorra uma inversão durante o processo, a receita pode sofrer uma super dosagem de açúcares. (Anton Paar, s.d.)

Para contornar esse problema, atualmente a indústria de bebidas possui duas opções: Forçando a inversão total do açúcar ou medição por um Método Instrumental. A inversão forçada, como o próprio título já esclarece, garante um cálculo de dosagem mais exato, uma vez que, se realizada corretamente, 100% dos açúcares serão compostos de Frutose e Glicose. De antemão, a medição por

método instrumental consiste em analisar a densidade das soluções de açúcar, pois, como explicado, ela é maior quando o açúcar é invertido. (Anton Paar, s.d.)

Outra análise importante que deve ser realizada no açúcar é a de cor. A Cor é o principal parâmetro medido no mesmo para determinar sua qualidade, a qual quantifica a luz incidida e ultrapassada por uma solução na concentração de 50% em um comprimento de onda de 420 nm, sendo sua unidade expressa em U.I (Unidades ICUMSA). Pela interpretação dos resultados, tem-se que um menor valor de Cor implica em uma melhor qualidade do açúcar, pois, este contém menor teor de interferentes, e, portanto, maior pureza. A tabela 4 apresenta o teor máximo de Cor permitido nessa matéria prima do refrigerante, a qual deve ser levada em consideração, principalmente, no caso do açúcar cristal; este último não passa por processos de refinamento com aditivos químicos que o deixam branco, como acontece com o açúcar refinado. (Oliveira, et al., 2007)

Tabela 5 - Parâmetros de Qualidade do açúcar para uso em Refrigerantes (Barnabé, et al., 2005)

Características	Teor máximo
Polarização	99,5% - 100%
Cor ICUMSA	60 U.I
Turbidez ICUMSA	45 U.I
Cinzas condutimétricas	0,035%
SO ₂	20 mg/kg
Arsênio	1 mg/kg
Cobre	2 mg/kg
Chumbo	1 mg/kg
Mercúrio	0,05 mg/kg
Odor diferente do usual	Ausente
Sabor diferente do usual	Ausente

9.5 Edulcorantes

Os edulcorantes são compostos dietético substituintes do açúcar, de baixa caloria e alto poder adoçante. São utilizadas em refrigerantes diet indicados para consumo de pessoas em dieta e que possuem alguma patologia restritiva a algum componente alimentar, como é o caso da restrição de diabéticos á ingestão de açúcar. (Rossoni, et al., 2007)

A RDC nº 3, de 2 de janeiro de 2001 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) aprova o uso de Edulcorantes e determina o limite máximo de dosagem dos principais utilizados, como mostra a tabela 5. (ANVISA, 2001)

Tabela 6 – Principais edulcorantes e os limites para bebidas com reduzido teor de açúcar (Adaptado de ANVISA, 2001)

Substância	Limites máximos permitidos (g/100g)	Calorias
Sacarina	0,022	0
Ciclamato	0,097	0
Aspartame	0,056	5
Acesulfame – K	0,026	0
Sucralose	0,019	0

9.6 Conservantes

Os conservantes são aditivos que retardam a atividade microbiológica, a qual podem provocar alterações sensoriais no produto se não controladas. A proporção de conservantes necessária na receita depende de alguns fatores, entre eles, o pH do meio, a água e o suco de frutas. A presença de água e de suco de frutas na composição da receita pode ser um estímulo para o crescimento da população microbiológica. No caso dos refrigerantes, o pH é comumente ácido, tornando o meio inóspito para as bactérias e fungos e abaixando o percentual de conservantes necessários. Controles microbiológicos do produto acabado são imprescindíveis, pois, são essas análises que indicarão a eficiência da proporção utilizada desse ingrediente. (Barnabé, et al., 2005)

O Ácido Benzoico (C_6H_5COOH) e o Benzoato de Sódio (C_6H_5COONa) são os conservantes mais utilizados devido ao baixo custo, ausência de cor e toxicidade baixa. O Benzoato é mais solúvel que o Ácido, porém em pH baixo ele pode precipitar formando flocos irreversíveis, por esse motivo, ele deve ser adicionado na receita antes dos acidulantes. Ambos são compostos eficientes no controle de fungos e leveduras, mas não desempenham da mesma forma para o controle de bactérias. De acordo com a Resolução RDC nº 05/2007, o valor máximo permitido desses compostos é de 0,05g para cada 100 ml de refrigerante. (Barnabé, et al., 2005)

9.7 Acidulantes

Os acidulantes são compostos capazes de acentuar o sabor e aroma da bebida, atuar como sequestrantes de compostos metálicos como o Ferro, Manganês, Cromo e Cobre, além de controlar o pH do meio. Da mesma forma, como mencionado anteriormente, os acidulantes aumentam a efetividade dos conservantes e provocam a inversão dos açúcares. Dentre os mais utilizados, temos os orgânicos como o Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) para refrigerantes de limão, laranja, abacaxi e maracujá; o Ácido Málico ($C_4H_6O_5$) para refrigerantes de caju e maçã; e o Ácido Tartárico ($C_4H_6O_6$) para refrigerante sabor uva. Há ainda, os acidulantes inorgânicos como o Ácido Fosfórico (H_3PO_4) utilizado na receita de refrigerantes de Cola. (Barnabé, et al., 2005)

9.8 Antioxidantes

A oxidação é um processo que causa alteração sensorial desagradável ao produto e inicia-se pela exposição do mesmo ao calor, a luz ou a uma substância reativa composta de metais pesados, peróxidos e/ou Oxigênio. Contudo, como afirmado por Barnabé (2005), os antioxidantes são substâncias mais suscetíveis à oxidação do que a própria bebida, e agem inativando os radicais livres, complexando os íons metálicos ou reduzindo os hidroperóxidos a fim de serem incapazes de formar radicais livres e produtos de decomposição, sendo o Ácido Ascórbico o mais utilizado indústria de bebidas.

9.9 Dióxido de Carbono (CO₂)

O gás carbônico, composto de nome Dióxido de Carbono (CO₂), é utilizado no processo de envase do refrigerante por ser inerte, atóxico, insípido, incolor, de baixo custo quando comparado a outros gases disponíveis no mercado e age como um conservante no controle de bactérias aeróbicas. Sua pureza é de suma importância, não podendo ser inferior a 99,9%, uma vez que ele representa a característica mais notável do refrigerante no realce do sabor e da refrescância. Mais sobre a influência que o mesmo exerce dentro da formulação da receita será discutida no capítulo adiante. (Celestino, 2010)

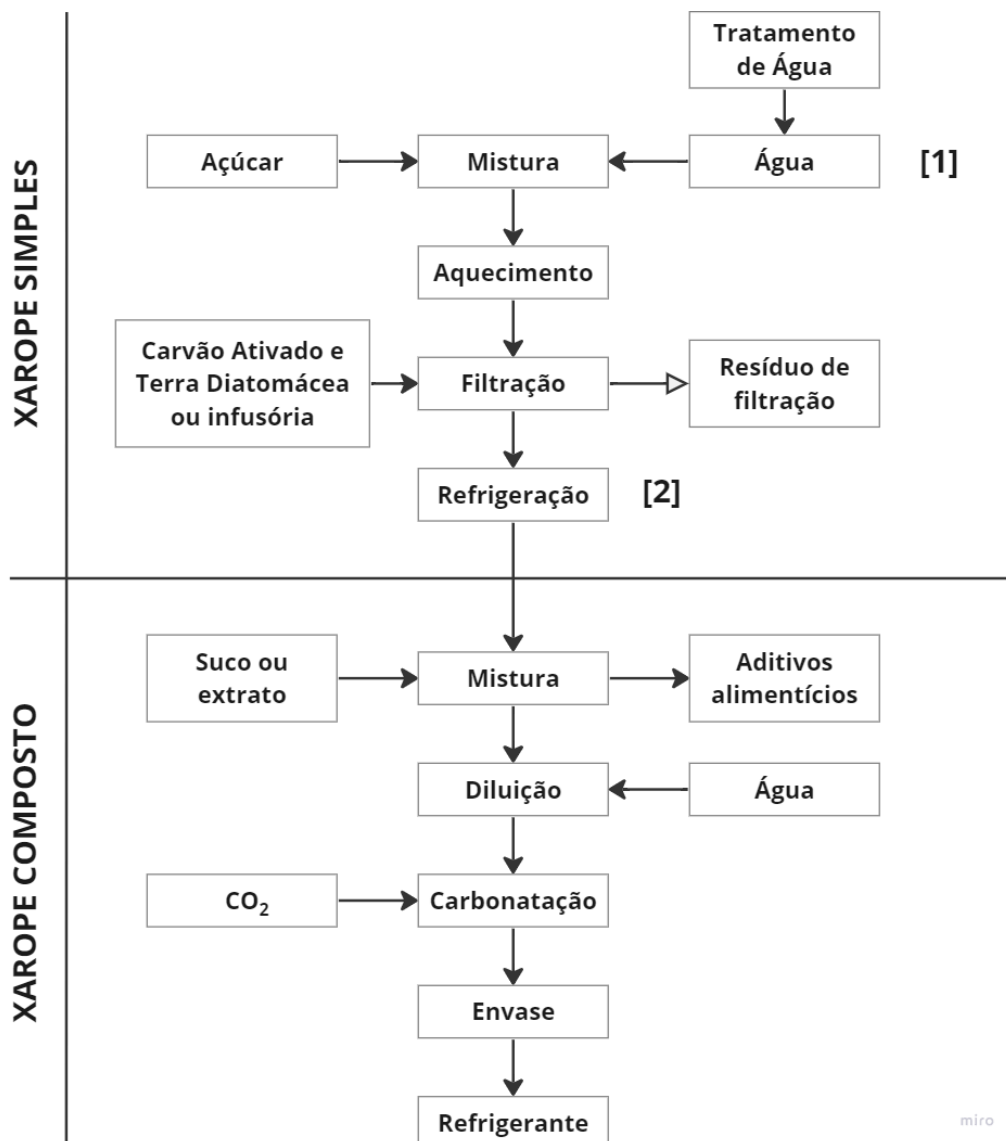
10 PROCESSO PRODUTIVO DO XAROPE DO REFRIGERANTE

10.1 Xarope Simples

Na primeira etapa do processo do refrigerante tem-se a produção do Xarope simples, o qual consiste na mistura de água e açúcar, onde a solução obtida varia com a concentração na faixa de 60°Brix (60g Sacarose / 100g solução). Essa mistura pode acontecer por meio de alguns processos, dentre eles: a frio e a quente, normal ou acidificado, sendo o processo a quente, o mais comumente utilizado pelas fábricas de refrigerantes. (Barnabé, et al., 2005)

Nesse processo, a mistura de água e açúcar é aquecida em um tanque dissolvedor de aço inoxidável a $85^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para que a dissolução seja facilitada; nesse mesmo tanque, há o fornecimento de agitação constante com o objetivo de tornar a mistura a mais homogênea possível e adição de carvão ativado, a fim de retirar qualquer impureza que possa causar interferência de sabor e intensificar a clarificação da solução devido sua característica de adsorção. Posteriormente, a mistura é transferida para um sistema de filtro de placas, onde ocorre a retenção do carvão e de partículas grandes que não dissolveram-se. Por fim, trocadores de calor são responsáveis por resfriar o xarope formado até atingir a faixa de $17,5^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para evitar a inversão da Sacarose, o escurecimento do xarope e perda de aroma no xarope composto. (Celestino, 2010)

Figura 4 – Fluxograma de processamento do xarope de Refrigerante (Adaptado de Barnabé, et al., 2005)



Vale ressaltar que, a água [1] utilizada para dissolver o açúcar é previamente aquecida a 60°C; e esta, normalmente, é oriunda do resfriamento do xarope simples [2], pois, dessa forma, é possível aproveitar seu poder calorífico. Outro fato é que, no caso de bebidas diet, o Xarope simples é substituído por uma solução diluída de Edulcorantes. (Celestino, 2010)

10.2 Xaropes Composto

Assim como exemplifica o fluxograma do processamento do refrigerante presente na figura 5, o Xarope composto é formado pela mistura do xarope simples, ao suco ou extrato da receita e a aditivos, como acidulantes e conservantes mencionados anteriormente. A mistura deve passar por um processo de agitação adequado que

promova uma boa homogeneização sem adicionar Oxigênio à bebida, pois o mesmo pode aumentar o processo de oxidação do produto. (Barnabé, et al., 2005)

Um aspecto muito importante no preparo do Xarope composto é a ordem de adição dos ingredientes da receita, pois caso ela não seja respeitada, a mistura pode sofrer precipitação ou turvação decorrente da interação dos mesmos. A sequência, normalmente, inicia-se com o Xarope simples, seguido dos conservantes, acidulantes, antioxidantes, extrato, aromatizante e corante, completando o restante do tanque com água de processo. Ao final dessa etapa, análises de controle de qualidade devem ser realizadas, a fim de garantir que o Xarope está pronto para seguir com a etapa seguinte; dentre as análises cita-se a determinação do °Brix, acidez, turvação, cor e degustação. (Barnabé, et al., 2005)

10.3 Carbonatação

A carbonatação do refrigerante agrega valor sensorial ao mesmo, realçando seu aroma e o sabor. A refrescância da bebida dá-se devido a solubilidade do CO₂ no líquido, fator o qual altera-se perante a temperatura, como mencionado anteriormente. Esse fato explica a razão pela qual o consumidor sente-se mais cheio ao degustar um refrigerante em temperatura ambiente, em comparação a um refrigerante gelado. (Lima, et al., 2009)

No processo de envase, após a formação do Xarope composto, a mistura é enviada para a linha de envase onde sofre diluição dentro do tanque proporcional; a água de diluição é então pré carbonatada, onde volumes de gás carbônico são incorporados ao líquido. Nesse momento, ocorre uma interação entre as moléculas de CO₂ e moléculas de H₂O, formando Ácido Carbônico e Água, que dissociam-se em H₃O⁺ e HCO₃⁻ como pode-se observar na figura 6. (Celestino, 2010)

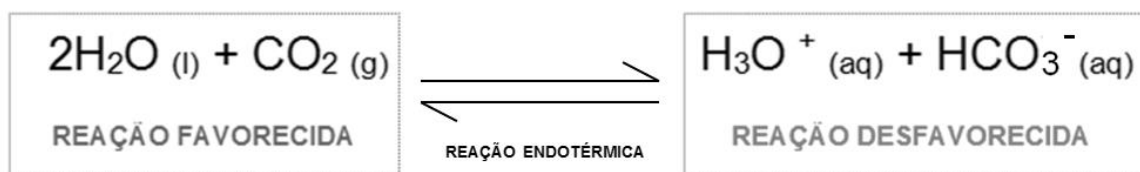


Figura 5 - Reação do CO₂ com Água da receita (Celestino, 2010)

A etapa de carbonatação acontece em duas partes: A primeira, como mencionado anteriormente, é a etapa de pré carbonatação, onde ocorre a desaeração da água por meio da retirada de O₂ dissolvido. Em seguida, o CO₂ é agregado á água em baixa temperatura (variando de 4° a 8°C) para que a solubilidade do gás seja maior. Posteriormente, ocorre a mistura do xarope composto á água desaerada e carbonatada, e, ao final da etapa de envase, mais gás carbônico é inserido dentro da garrafa, a fim de aumentar a pressão interna da mesma e, por consequência, a solubilidade do gás. A etapa de desaeração da água é considerada uma etapa facilitadora da carbonatação, pois minimiza a formação de espuma causada pela liberação de CO₂ na presença de O₂. (Silva, et al., 2017)

Existem alguns fatores que influenciam o grau de carbonatação, como:

- a. Pressão do Carbonatador – Uma vez que, quanto maior a pressão interna, maior a solubilidade do CO₂ na água;
- b. Temperatura de envase – Quanto menor a temperatura, maior a solubilidade. Variáveis inversamente proporcionais.

O tipo de material da garrafa também interfere no percentual de perda de CO₂. Em garrafas PET, devido a estrutura cristalina do Politereftalato de etileno ser mais porosa que a estrutura da garrafa de vidro, a perda de gás pela permeação das moléculas através da estrutura ao longo do tempo acontece mais rápido na primeira embalagem. Por esse motivo ainda, é popularmente comum ouvir que o sabor do refrigerante da garrafa de vidro é melhor; apesar de o conteúdo interno ser o mesmo, a garrafa de vidro retém mais gás gerando uma diferença sensorial ao degustar e comparar o refrigerante de ambas as embalagens. (Silva, et al., 2017)

Ao longo da última década, com a preocupação crescente em diminuir o descarte do PET, a gramatura das garrafas provenientes desse material tem diminuído cada vez mais. A resistência mecânica da mesma é um fator limitante, pois a garrafa deve ser capaz de manter o conteúdo interno de CO₂ durante todo o prazo de validade do produto. Um exemplo é a garrafa de 2 litros, que dentro dos últimos 5 anos, saiu de uma gramatura de 44,8g para 42,6g, estando atualmente com 40g. (ABIR, s.d.)

11 PROCESSO DE ENVASE DO REFRIGERANTE

A Enchedora é responsável por envasar o refrigerante propriamente dito. É através desse equipamento que o xarope composto diluído e carbonatado é adicionado a garrafa anteriormente higienizada. Logo após passar pelo processo de enchimento, a garrafa é lacrada com a tampa e quanto mais rápida for a velocidade nominal do equipamento, menos CO₂ será perdido nessa etapa. Em sequência, a garrafa passa a ser rotulada, seguindo para a formação de pacotes contendo seis garrafas, que, ao final, são empilhadas formando um palete.

Na Empresa A (Empresa de grande porte da indústria de bebida), existem dois fluxos após formação do palete. No primeiro deles, o palete é enviado ao armazém para ser estocado até que seja enviado ao cliente. No segundo fluxo, esses produtos são transferidos para uma linha de Repack, a qual diferencia-se do layout normal de uma linha de envase, pois, só contém os dois últimos equipamentos padrões, sendo eles a Empacotadora e a Paletizadora; Tem-se ainda, que esta linha forma os packs promocionais. (Empresa A, s.d.)

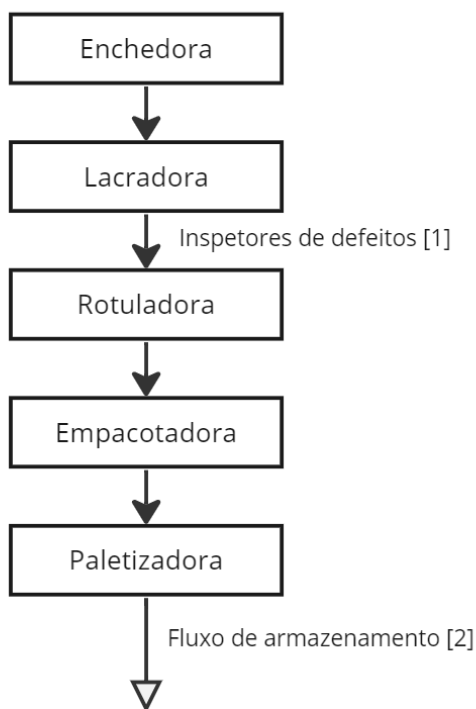
Os Packs promocionais são kits (combos) de produtos criados de forma estratégica e vendidos com preços mais competitivos para o consumidor. Na prática, trata-se da criação de combos com produtos que já estão à venda, com preço inferior. (3M, s.d.)

No envase, de modo geral, a etapa da Empacotadora pode gerar influência sobre a carbonatação. Trata-se de um forno, onde o plástico que forma o pacote é aquecido, e por consequência a garrafa, em uma temperatura que permanece em torno de 160°C por alguns segundos, até que o plástico mencionado seja capaz de derreter e aderir ao formato das garrafas mantendo o pacote bem formado. (Empresa A, s.d.)

Como mencionado anteriormente, o aumento da temperatura do refrigerante pode dificultar a solubilidade do CO₂, porém a garrafa sofre mais com esse impacto quando é segregada para formar os packs promocionais. Na empresa A, onde os processos são evidenciados na figura 7, a garrafa passa inicialmente pelo 1° forno da própria linha de envase, onde os pacotes formados a uma temperatura de 160° por 45 segundos são paletizados e enviadas para a linha de Packs promocionais. Nesta segunda, há o 2° forno que forma os pacotes de dois refrigerantes (packs

promocionais) submetendo-os a uma temperatura entre 140° e 160°C por apenas 4 segundos; Para finalizar, 3 pacotes promocionais são juntos para formar o fardo de refrigerante com 6 garrafas a uma temperatura de 160° por 45 segundos. No total, somam-se três processos de aquecimento que uma mesma garrafa pode sofrer, alterando o grau de carbonatação através dos choques térmicos a qual a garrafa está suscetível. (Empresa A, s.d.)

Linha de envase de garrafas de 1L e 2L



Linha de formação de pack promocional

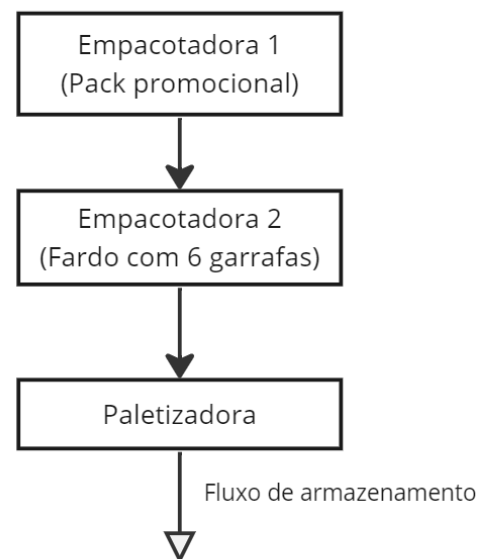


Figura 6 – Fluxograma do processo de envase do refrigerante e do processo de formação do pack promocional (Empresa A, s.d.)

12 PERCEPÇÃO SENSORIAL DA CARBONATAÇÃO

A Carbonatação provoca percepções sensoriais complexas mediante o sistema somatosensorial (sistema nervoso sensorial). Esse sistema é formado por neurônios sensoriais, vias neurais e fibras nervosas por toda a cavidade oral, que respondem a mudanças dentro ou na superfície do corpo. Os axônios dos neurônios sensoriais

(prolongamentos únicos) são responsáveis por conduzir os impulsos transmitindo informações do neurônio para outras células receptoras. (Yarmolinsky, 2014)

Apesar de o Gás Carbônico ser considerado insípido, além dos impulsos somatosensoriais, a atividade das Anidrases Carbônicas está, especificamente, envolvida na detecção sensorial de CO_2 . Estas são enzimas que transportam o Dióxido de carbono para ser excretado pelo organismo, catalisando a conversão do mesmo com a água em Ácido Carbônico. (Yarmolinsky, 2014)

Ainda sobre a percepção sensorial que a carbonatação provoca, tem-se envolvido na cadeia de reação o suco gástrico presente no sistema digestivo, composto principalmente por Ácido Clorídrico (HCl), o qual gera influencia no equilíbrio da bebida. Ao ingerir o refresco, a acidez do estomago implica no aumento da concentração de H_3O^+ , favorecendo a reação inversa, a qual é endotérmica, e ocasionando a formação e desprendimento de gás CO_2 , onde o mesmo passa por uma expansão do seu volume ocupando o espaço interno do estomago, provocando uma sensação de saciedade e frescor, conforme exemplifica a equação presente na figura 6. (Silverthorn, 2017)

13 METODOLOGIA

13.1 Amostragem

Foram coletadas 60 garrafas de refrigerante sabor cola de 2 litros e 60 garrafas de 1 litro pós-empacotadora, e estas foram armazenadas em local fresco, arejado e longe do sol por todo o período do teste, sendo retiradas do local citado somente no momento da análise.

13.2 Preparação das amostras

Das 60 amostras coletadas, 30 delas foram separadas, de ambos volumes, e introduzidas no processo de Repack, sendo coletadas novamente, pós segundo empacotamento. A proposta consistiu em analisar, no período de 30 dias a curva de decaimento de CO₂ de amostras de 1 Litro e 2 Litros, empacotadas 1 e 2 vezes.

13.3 Procedimento de Medição de CO₂ dissolvido

A primeira análise foi realizada imediatamente após o envase e as análises seguintes nos dias que se sucederam. Para determinação da concentração de CO₂, utilizou-se o equipamento Analisador de Refrigerante (*Soft Drink Analyzer M*), ilustrado pela figura 8, da empresa Anton Paar calibrado no dia 17 de maio de 2023 com prazo de validade de 1 ano.



Figura 7 – Equipamento *Soft Drink Analyzer* (Anton Paar, s.d.)

Colocaram-se as amostras sobre a base do amostrador, onde foi introduzido o adaptador na embalagem, ajustando-o sobre a tampa para evitar vazamentos e o anel perfurador foi regulado de modo a permitir a passagem da agulha sem muita resistência.

Na tela do equipamento foi inserido o nome de identificação de cada amostra, e em seguida, a tecla de “Start” foi acionada dando início a análise de CO₂, permitindo que a agulha perfurasse e atravessasse a tampa das garrafas, sugando 150 mL de amostra para realizar a medição. Todo o processo que se seguiu foi realizado de forma automática pelo equipamento e, ao final, a concentração de Gás carbônico dissolvido na bebida foi apresentada na tela do Analisador.

13.4 Funcionamento do equipamento

A determinação de CO₂ do presente trabalho ocorreu através do Método de expansão de múltiplos volumes (MVE) patenteado pela empresa Anton Paar (AT 409673), sendo uma das formas mais precisas de medir, seletivamente, o CO₂ dissolvido em bebidas. Vale citar, que a técnica leva em consideração as Leis de Henry, Dalton e dos Gases ideais. (Anton Paar, s.d.)

A respeito do seu funcionamento, o equipamento possui uma câmara de medição, a qual é completamente preenchida com amostra e fechada mecanicamente por válvulas. O volume da câmara de medição é então ampliado, gerando um equilíbrio de pressão e temperatura. Quando o equilíbrio é atingido, a pressão e a temperatura são medidas, intituladas como P_1 e T_1 . Em seguida, pela segunda vez o volume da câmara de medição é expandido ainda mais; novamente o equilíbrio é gerado e a pressão e a temperatura são medidas, resultando em P_2 e T_2 . O valor de ambas as pressões e temperaturas são utilizadas para determinação final do CO_2 e compensação de ar dissolvido. (Anton Paar, s.d.)

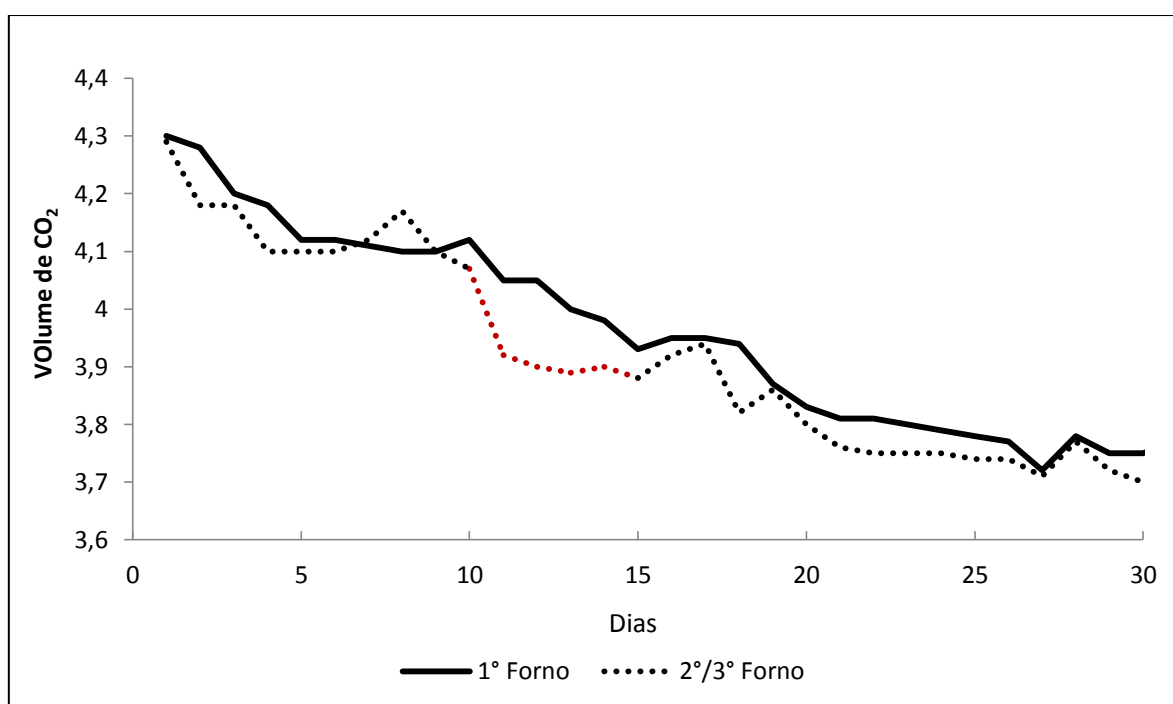
O MVE utiliza-se do fato de que a solubilidade do ar (O_2 e N_2) na bebida é menor que a solubilidade do CO_2 ; devido a essa diferença, ao expandir-se o volume da câmara de medição, a pressão parcial do ar diminui em uma proporção maior que o CO_2 . A diferença entre P_1/T_1 e P_2/T_2 é utilizada para determinar a quantidade de gás dissolvido da amostra.

14 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela presente no anexo A mostra o resultado da concentração de CO₂ medido nas amostras ao longo dos 30 dias de acompanhamento:

O Gráfico 2 mostra o comparativo do decaimento de CO₂ de ambas amostras de 2 litros. Observa-se que a amostra que passou pelos 3 fornos tem maior descarbonatação em relação a amostra que passou somente pelo 1º forno. Apesar disso, ao final do período de teste os valores de CO₂ chegam a se igualar.

Gráfico 3 – Resultado de CO₂ das amostras de 2 litros resultantes do 1º e 2º/3º Forno



O Gráfico 4 e 5 mostram a curva individual do decaimento de CO₂ de cada uma das garrafas. A garrafa que passou por somente um forno demonstra um linearidade maior do decaimento, uma vez que o R² da reta traçada é 0,9535, em relação amostra que passou também pelo 2º/3º forno, a qual tem um R² igual a 0,9092. Ambos valores demonstram que a garrafa do gráfico 4 sofreu com a instabilidade do gás que foi aumentada pela temperatura, e a solubilidade que, de forma inversa, foi diminuída.

Gráfico 4 – Curva de decaimento de CO₂ da amostra de 2 litros resultante do 1º forno

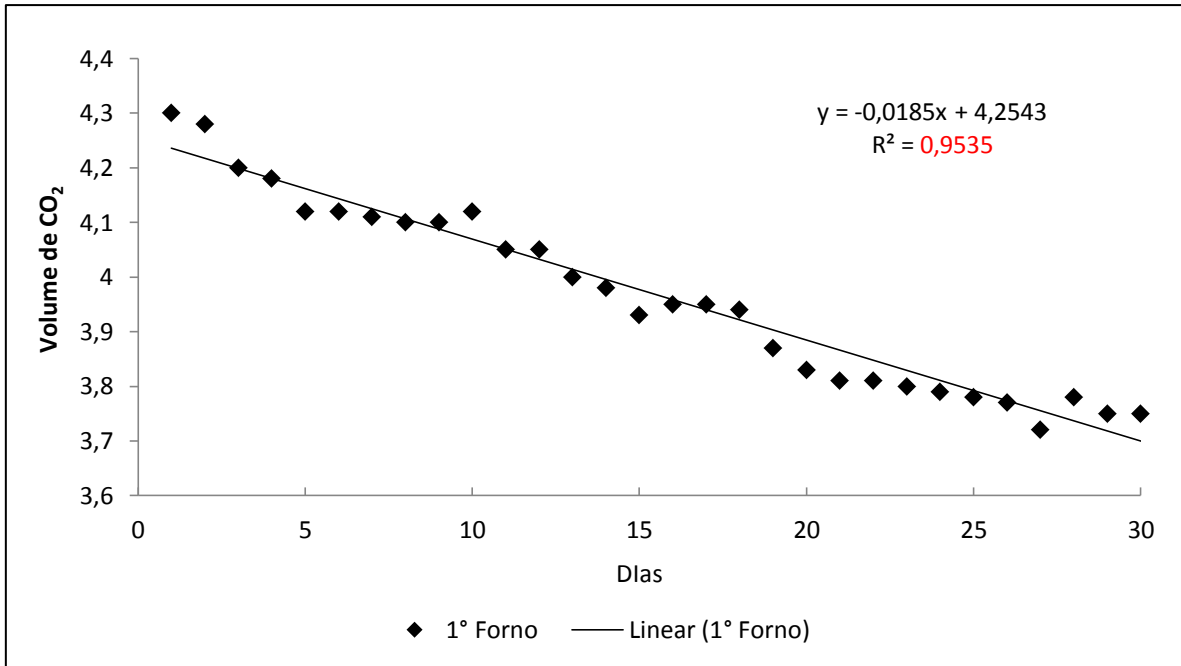
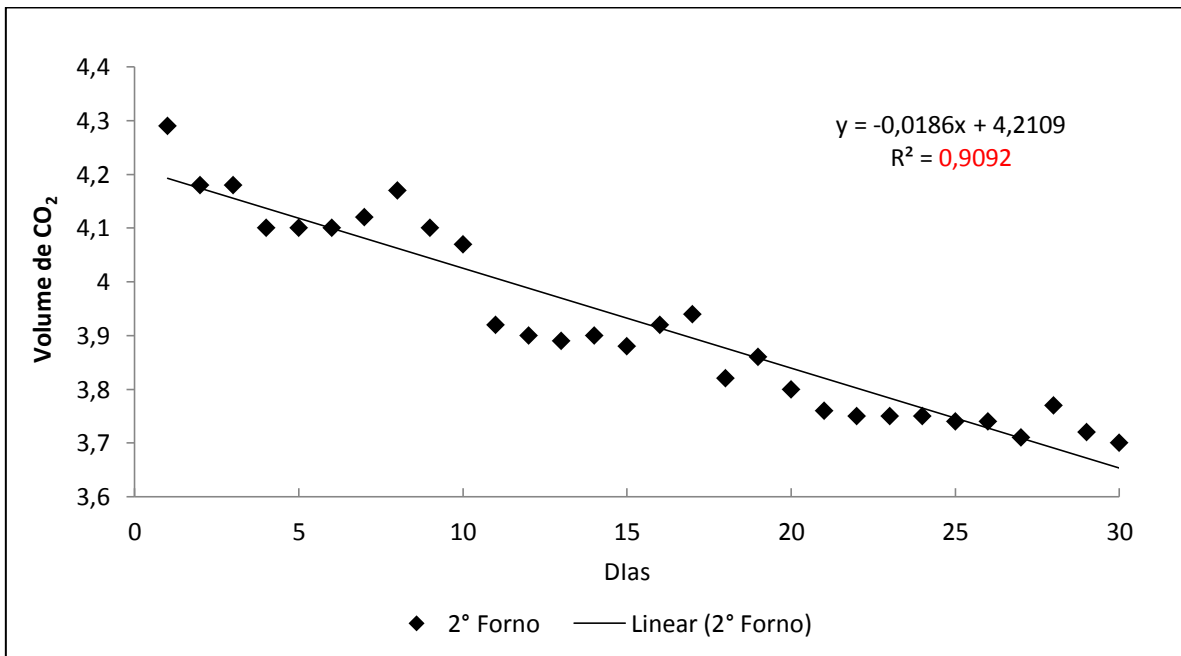


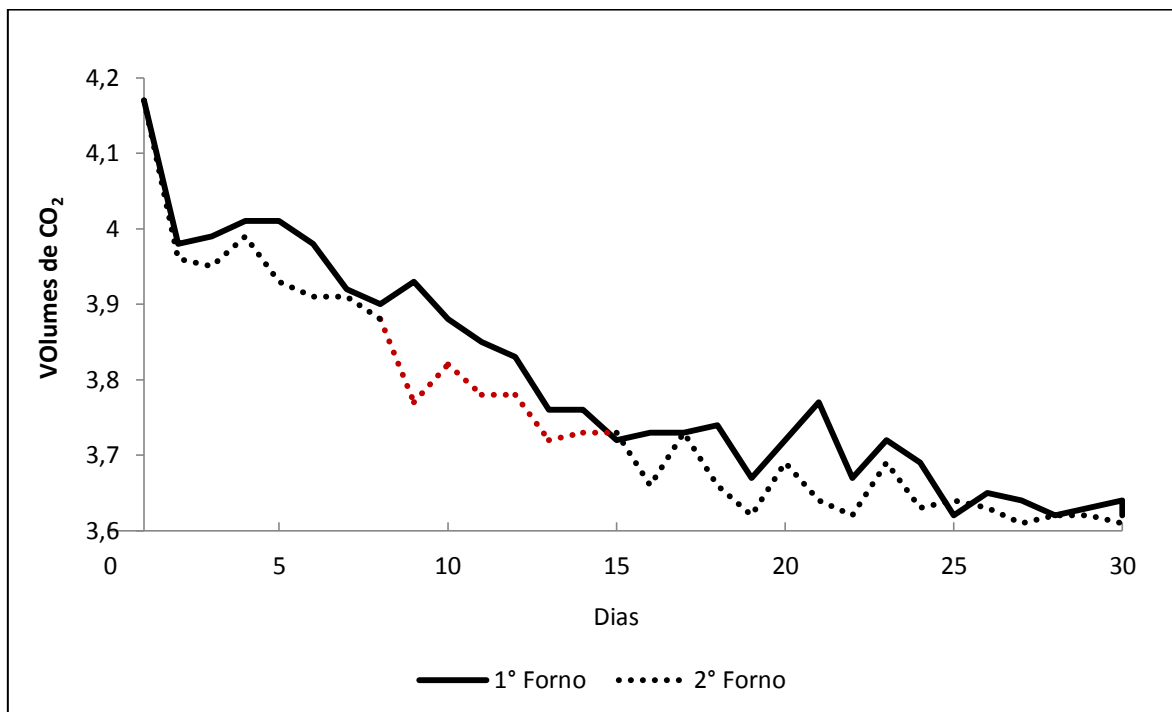
Gráfico 5 - Curva de decaimento de CO₂ da amostra de 2 litros resultante do 2º/3º forno



Em semelhante comportamento, o gráfico 5 mostra o decaimento de CO₂ das garrafas de 1 litro, as quais demonstraram que dentre elas, a garrafa que passa pelo 2º/3º forno tem um grau de descarbonatação mais significativo em relação a garrafa de 2 Litros.

No entanto, vale apontar que em ambos os resultados de decaimento, entre o 10° e o 15° dia do produto envasado, a diferença de carbonatação entre a amostra do 1° forno e a amostra do 2°/3° forno são mais evidentes; novamente, tende-se a igualar ao final dos 30 dias.

Gráfico 6 - Resultado de CO₂ das amostras de 1 litro resultantes do 1° e 2°/3° Forno



Novamente, os Gráficos 7 e 8 mostram a curva individual do decaimento de CO₂ de cada uma das garrafas. Apesar do comportamento de perda de gás em razão do tempo ser semelhante a garrafa de 2 Litros, quando observa-se os valores de R² observa-se uma dispersão na escala de $\approx 0,05$; por esse motivo, entende-se que o volume exerce um grau significativo de interferência nos resultados medidos.

Gráfico 7 - Curva de decaimento de CO₂ da amostra de 1 litro resultante do 1º forno

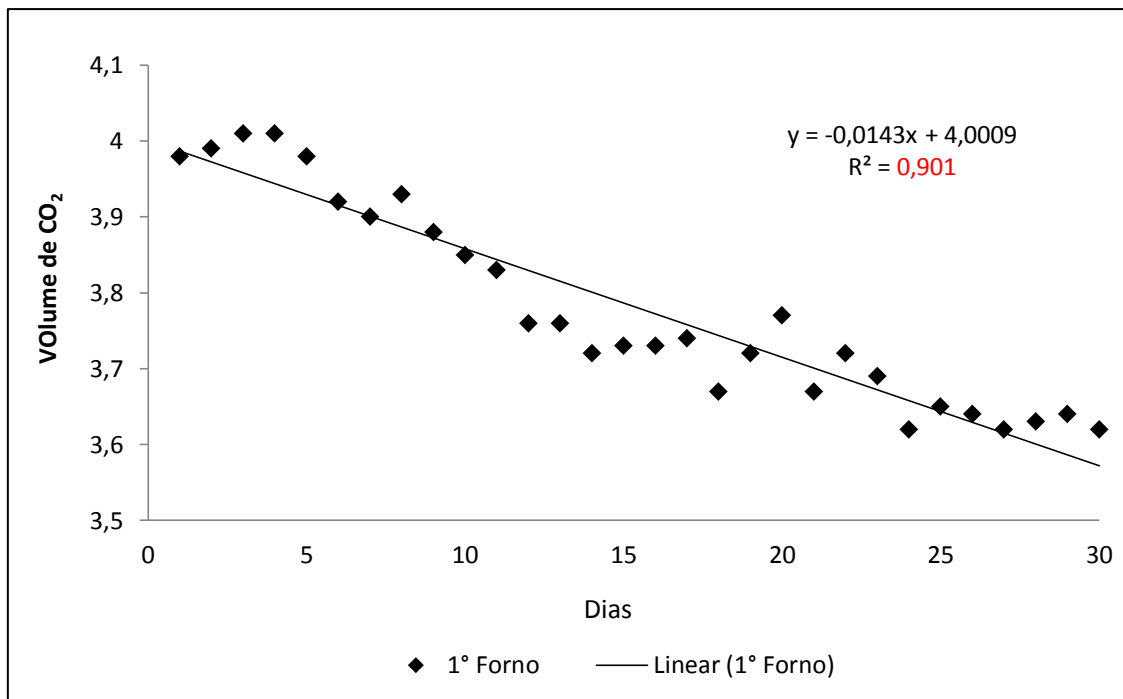
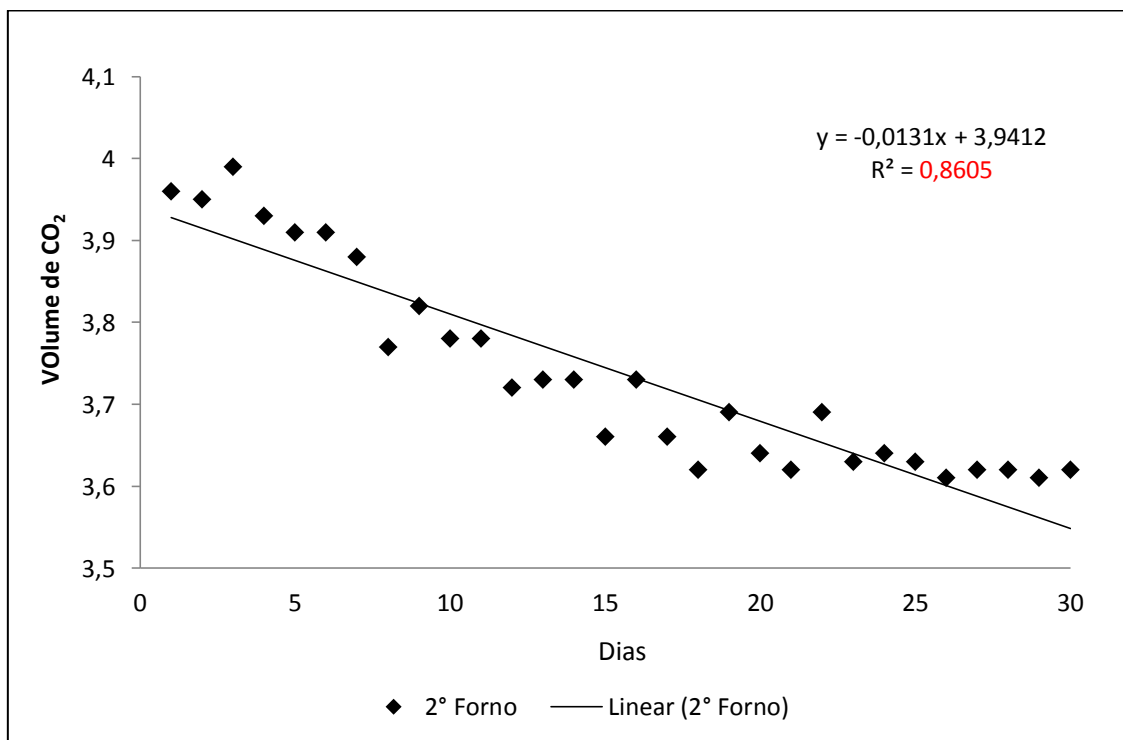


Gráfico 8 - Curva de decaimento de CO₂ da amostra de 1 litro resultante do 2º/3º forno

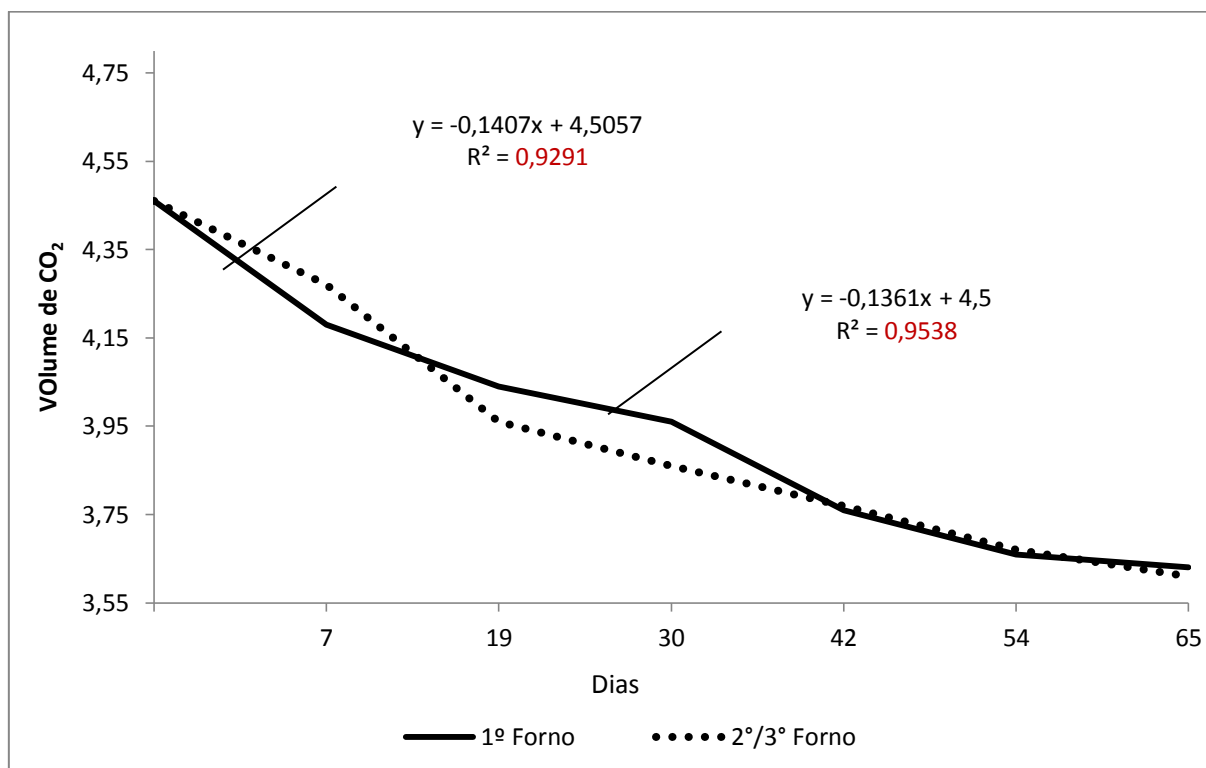


O gráfico 8 mostra um comparativo da Empresa A da curva de decaimento de CO₂ para amostras de 2 litros do mesmo sabor do teste. Nota-se que o impacto

observado pelas amostras que são submetidas ao 2º e 3º forno são evidenciados do 19º ao 42º dia do produto. Isso se dá pela diferença de CO₂ inicial entre as amostras.

Nas amostras do teste, o nível de CO₂ no momento do envase era de 4,36 V, enquanto que, nas amostras na Empresa A o nível de CO₂ era de 4,46 V. Ambos os valores, indicam que, a garrafa não tem sua capacidade de reter o CO₂ alterada, mesmo sofrendo efeito de uma carbonatação e pressão interna maior. Nesse contexto, as perdas de CO₂ somente são adiadas, mas ainda há uma dispersão significativa entre a garrafa passada somente por 1 forno e a garrafa passada pelos 3 fornos, dado o R² de ambas as retas que tem valor muito parecido com o R² apresentado nos gráficos 4 e 5.

Gráfico 9 - Resultado de CO₂ das amostras de 2 litros resultantes do 1º e 2º/3º Empacotamento da Empresa A - Comparativo (Empresa A, 2023)



15 ALTERNATIVAS PARA O CONSUMIDOR

Desde 2015, empresas como a Brastemp vêm destacando-se por lançar máquinas que possibilitam ao consumidor fazer o refrigerante em casa. A B.blend é o modelo mais popular da marca citada anteriormente e o mais popular oferecido no mercado. (Brastemp, s.d.)

De modo geral, a operação dessas máquinas de refrigerante é baseada no uso de cápsulas, parecidas com as de café, as quais contém o xarope concentrado da bebida. Esse método de encapsulamento preserva o sabor e as demais características do produto. Por meio da leitura do código de pontos da cápsula, a máquina identifica e configura automaticamente a receita de preparo na temperatura e concentrações ideais. (Brastemp, s.d.)

Para a etapa de carbonatação, tem-se acoplado á máquina um cilindro de gás CO₂, e o método de solubilização ocorre de forma parecida ao do tanque carbonatador, com pressão elevada para promover uma boa solubilidade do gás na bebida. Pelo fato da máquina realizar a carbonatação instantaneamente, o frescor sentido ao degustar o refrigerante recém-preparado é significativamente maior que o sentido em garrafas compradas no mercado. (Brastemp, s.d.)



Figura 8 – Máquina de refrigerante que possibilita a carbonatação da bebida na hora (Brastemp, s.d.)

16 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, com o presente trabalho que, práticas promocionais voltadas a estratégia financeira de vendas da indústria de bebidas carbonatadas podem afetar negativamente a carbonatação do produto, uma vez que o CO₂ constitui um fator importante na aceitação dos refrigerantes. Pelos dados apresentados, tal impacto pode ser sentido pelo consumidor, principalmente, no primeiro mês pós envase do produto. Tratando-se de produtos de alta rotatividade, o consumo nesse período tem alta probabilidade de acontecer.

Além disso, o fator de comparação entre garrafas de datas de envase divergentes pode agravar a percepção sensorial do consumidor, realçando a diferença de sabor entre duas garrafas decorrente do ponto da curva de decaimento de CO₂ que as mesmas estão.

Da mesma forma, foi destacado que o mercado já encontra algumas alternativas para contornar essa problemática, porém, dentre as apresentadas, necessita-se de um investimento inicial alto por parte do consumidor. Dessa forma, o presente trabalho deixa uma oportunidade de aprofundamento de alternativas, dentro do próprio processo de envase do refrigerante, que podem minimizar o impacto da prática abordada nesse estudo.

17 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lima, Ana Carla da Silva e Afonso, Júlio Carlos. 2009. *A Química do refrigerante.* 2009. pp. 210-215. Vol. 31, Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/10-PEQ-0608.pdf. Acessado em 06 de outubro de 2023. 2175-2699.

3M. s.d.. *Como reduzir custos com packs promocionais e valorizar a marca.* s.d. Disponível em: https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/embalagem-empacotamento/~/~/packs-promocionais/?storyid=c61ad864-1fd6-417d-ab20-a780e3ed075f. Acessado em 18 de novembro de 2023.

ABIR - Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas. s.d.. *Volume de produção do mercado brasileiro de refrigerantes dos anos de 2010 a 2021.* Brasília : s.n., s.d. Disponível em: <https://abir.org.br/>. Acessado em 18 de novembro de 2023..

ABIR. s.d.. *Redução na gramatura de garrafas plásticas: inovação e sustentabilidade.* Brasília : s.n., s.d. Disponível em: <https://abir.org.br/reducao-na-gramatura-de-garrafas-plasticas-inovacao-e-sustentabilidade/#:~:text=A%20redu%C3%A7%C3%A3o%20da%20gramatura%20das,ml%20com%20somente%208%20gramas>. Acessado em: 14 de novembro de 2023.

Almeida, Paulo Garcia. 1980. Refrigerantes: Desenvolvimento histórico, estudos, importância social. [A. do livro] Jayme da Nóbrega Santa Rosa. *Revista de Química Industrial.* Dezembro. Rio de Janeiro : Químia de Revistas Técnicas Ltda, 1980, N° 584, pp. 369-373.

Anton Paar. s.d.. *Método de expansão de múltiplos volumes.* s.d. Disponível em: <https://wiki.anton-paar.com/en/multiple-volume-expansion-method/#:~:text=The%20patented%20Multiple%20Volume%20Expansion,than%20that%20of%20CO2>. Acessado em: 18 de novembro de 2023.

—. s.d.. *Sugar Inversion and °Brix in Soft Drinks.* s.d. Cobrix 5500/5600 Measures Both! Disponível em: <https://www.anton->

paar.com/?eID=documentsDownload&document=60490&L=0&dhash=2d813c10260f33d52900bdfb16ed4c14. Acessado em: 15 de novembro de 2023..

— **s.d.**. *The Impact of Sugar Inversion on Soft Drinks with Sugar*. s.l. : Anton Paar, s.d. Soft Drinks. Disponível em: <https://www.anton-paar.com/corp-en/services-support/document-finder/application-reports/beverage-soft-drinks-the-impact-of-sugar-inversion-on-soft-drinks-with-sugar/>. Acessado em: 15/11/2023.

ANVISA. 2001. Resolução - RDC Nº 3. 2 de Janeiro de 2001. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0003_02_01_2001.html. Acessado em: 17 de novembro de 2023.

Atkins, Peter e Jones, Loretta. 2012. *Princípios de Química, Questionando a vida moderna e o meio ambiente*. [trad.] Ricardo de Alencastro Bicca. 5ª edição. Porto Alegre : Bookman, 2012. pp. 132-170. 9781429219556.

Barnabé, Daniela, Salata, Cristiane da Cunha e Filho, Waldemar Gastoni Venturini. 2005. Refrigerantes. *Tecnologia de Bebidas: Matéria prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado*. 1ª ed. s.l. : Edgard Blücher, 2005, 7, pp. 141-168.

Brastemp. s.d.. *B.blend - A primeira máquina de bebidas all-in-one do mundo e purificador de água classe A*. s.d. Disponível em: <https://loja.bblend.com.br/maquinas>. Acessado em: 25 de novembro de 2023.

Celestino, Sonia Maria Costa. 2010. *Produção de Refrigerantes de Frutas*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Distrito Federal : Embrapa Cerrados, 2010. p. 29. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77769/1/doc-279.pdf>. Acessado em: 13/11/2023. 1517-5111.

MAPA. 2023. *Consolidação das Normas de Bebidas, Fermentado Acético, Vinho e Derivados da Uva e do Vinho*. [ed.] Coordenação-Geral de Vinhos e Bebidas. [prod.] Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Vegetal. 2ª ed, Brasília : Secretaria de Defesa Agropecuária, 17 de fevereiro de 2023. ANEXO À NORMA INTERNA DIPOV. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-de-produtos-origem->

vegetal/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/AnexoNormalInternaDIPOV2Edicao.pdf. Acessado em: 29 de outubro de 2023.

Oliveira, Danilo Tostes, Esquiaveto, Maria Madalena Mangue e Júnior, José Felix Silva. 2007. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Agosto de 2007, Vol. 27, pp. 99-102. Disponível em: file:///D:/Dados/User/Pictures/Um%20hosp%C3%ADcio%20chamado%20Faculdade/Livros%20acad%C3%AAmicos/Impacto_dos_itens_da_especificacao_do_ac.pdf. Acessado em: 15 de Novembro de 2023.

Portal de Bebidas Brasileiras. 2023. Evoluções na Fabricação de Refrigerantes. *Constante inovação e melhorias na indústria*. Brasília, Distrito Federal : s.n., 2023. Disponível em: <https://afrebras.org.br/noticias/o-consumo-de-refrigerantes-no-brasil/#:~:text=Essa%20tradi%C3%A7%C3%A3o%20vem%20crescendo%20nos,Brasil%20%C3%A9%20a%20sua%20diversidade>. Acessado em: 20 de novembro de 2023.

Rego, Raul Amaral, Vialta, Airton e Madi, Luis Fernando Ceribelli. 2016. Tendência de mercado de bebidas Não-alcoólicas. *Brasil Beverage Trends 2020*. 1ª ed. Campinas : Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas (ABIR) e Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 2016. Disponível em: <https://ital.agricultura.sp.gov.br/brasilbeveragetrends/publicacao.pdf>. Acessado em: 10 de novembro de 2023.

Rossoni, Eloá, Graebin, Lires Beatriz e Moura, Rafael Paolo. 2007. Adoçantes Presentes na Formulação de Refrigerantes, Sucos e Chás. *Revista da Faculdade de Odontologia*. Março de 2007, Vol. 48, 1/3, pp. 5-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275275553_Adocantes_Presentes_na_Formulacao_de_Refrigerantes_Sucos_e_Chás_Diet_e_Light. Acessado em: 14 de novembro de 2023.

Silva, Luciana Almeida , et al. 2017. *Solubilidade e Reatividade de gases*. [ed.] Universidade Federal da Bahia Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energia e Ambiente. Nº 7. Salvador : Química nova, 2017. pp. 824-832. Vol. 40,

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170034>. Acessado em: 5 de novembro de 2023. 40170-115.

Silverthorn, Dee Unglaud. 2017. Sistema digestório. *Fisiologia Humana: Uma abordagem integrada*. 7ª ed. s.l. : Artmed, 2017, 21, pp. 685-722.

Webster, Charles. 1965. Boyle's Experiments on the compression and dilation of air. *The discovery of Boyle's Law and the concept of Elasticity of air in the Seventeenth century*. London : Leeds University, 1965, 10, pp. 484-495. Disponível em: <https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/webster1965.pdf>. Acessado em: 15 de outubro de 2023.

Yarmolinsky, David. 2014. *Mechanisms for Taste Sensation of Carbonation*. Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.7916/D8RB72KD>. Acessado em: 20 de novembro de 2023.

18 BIBLIOGRAFIA DA LISTA DE FIGURAS

DAYAH, Michael. **Ptable**, 12 out. 2022. Disponível em: <https://ptable.com/?lang=pt#>. Acessado em: 25 nov. 2023.

EQUIPE PSIBERG. **PSIBERG**: Lei de Boyle: definição, explicação, aplicações. 16 ago. 2023. Disponível em: <https://psiberg.com/boyles-law/>. Acessado em: 25 nov. 2023.

CCEAD - COORDENAÇÃO CENTRAL DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (Brasil). **Simulação Embolia e mergulhador**: Interações intermoleculares e suas relações com a solubilidade. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2017. 8 p. Disponível em: http://research.ccead.puc-rio.br/sites/reas/wp-content/uploads/sites/15/2017/11/guiaDidatico_embolia_mergulhador.pdf. Acessado em: 15 de novembro de 2023.

APÊNDICE 1

Tabela 7 – Resultados das medições de CO₂ das 120 amostras analisadas (expressos em volumes de CO₂)

	Embalagem de 1L		Embalagem de 2L	
CO ₂ de envase	4,27		4,36	
Dia	1º Forno	2º/3º Forno	1º Forno	2º/3º Forno
1	4,28	4,18	3,98	3,96
2	4,20	4,18	3,99	3,95
3	4,18	4,10	4,01	3,99
4	4,12	4,10	4,01	3,93
5	4,12	4,10	3,98	3,91
6	4,11	4,12	3,92	3,91
7	4,10	4,17	3,9	3,88
8	4,10	4,10	3,93	3,77
9	4,12	4,07	3,88	3,82
10	4,05	3,92	3,85	3,78
11	4,05	3,90	3,83	3,78
12	4,00	3,89	3,76	3,72
13	3,98	3,90	3,76	3,73
14	3,93	3,88	3,72	3,73
15	3,95	3,92	3,73	3,66
16	3,95	3,94	3,73	3,73
17	3,94	3,82	3,74	3,66
18	3,87	3,86	3,67	3,62
19	3,83	3,80	3,72	3,69
20	3,81	3,76	3,77	3,64
21	3,81	3,75	3,67	3,62
22	3,80	3,75	3,72	3,69

	Embalagem de 1L		Embalagem de 2L	
23	3,79	3,75	3,69	3,63
24	3,78	3,74	3,62	3,64
25	3,77	3,74	3,65	3,63
26	3,72	3,71	3,64	3,61
27	3,78	3,77	3,62	3,62
28	3,75	3,72	3,63	3,62
29	3,75	3,70	3,64	3,61
30	3,77	3,69	3,62	3,62