



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Pedro Henrique de Oliveira Correia

**Desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis a produção de cloro-álcalis
no Brasil frente as necessidades ambientais atuais: Uma revisão
bibliográfica**

João Pessoa

2022

Pedro Henrique de Oliveira Correia

**Desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis a produção de cloro-álcalis
no Brasil frente as necessidades ambientais atuais: Uma revisão
bibliográfica**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários exigidos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a Dr^a Andrea Lopes de Oliveira Ferreira

João Pessoa

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C824d Correia, Pedro Henrique de Oliveira.
Desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis a
produção de cloro-álcalis no Brasil frente as
necessidades ambientais atuais: Uma revisão
bibliográfica. / Pedro Henrique de Oliveira Correia. -
João Pessoa, 2022.
36 f. : il.

Orientação: Andrea Lopes de Oliveira Ferreira.
TCC (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Indústria eletrólise Cloro-álcalis meio ambiente.
I. Ferreira, Andrea Lopes de Oliveira. II. Título.

UFPB/BSCT CDU 66.01(043.2)

Pedro Henrique de Oliveira Correia

Desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis a produção de cloro-álcalis no Brasil frente as necessidades ambientais atuais: Uma revisão bibliográfica

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários exigidos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a Dr^a Andrea Lopes de Oliveira Ferreira

Aprovado em: 15/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Andrea L.O. Ferreira

Profa. Dra. Andrea Lopes de Oliveira Ferreira

(Orientadora - DEQ/CT/UFPB)

Orlando Xavier de Oliveira

Me Orlando Xavier de Oliveira

(Examinador – PPGEQ/CT/UFPB)

Mirle Dayanne Freire de Lima

Me Mirelle Dayanne Freire de Lima

(Examinadora – PPGEQ/CT/UFPB)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a minha mãe, Edilsa Oliveira, pelo exemplo de coragem e perseverança, por nunca ter desacreditado de mim e por ser a minha maior fonte de inspiração. Dedico também à toda minha família, pelo amor e carinho que sempre me doaram, pelo incentivo ao estudo e pelo apoio em todos os momentos ao longo desta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me guiar nesta fase, por não ter me deixado desistir nos momentos difíceis, de dúvidas, frustrações e por colocar pessoas incríveis em meu caminho.

A minha mãe, que sempre será meu porto seguro, que está sempre ao meu lado, me estendendo a mão, sem medir esforços para a realização dos meus sonhos, me ensinando o caminho da bondade e honestidade.

Agradeço também a toda a minha família, que de uma forma ou de outra, sempre estiveram apoiando este meu sonho.

À Profa. Dra. Andrea Lopes, que mesmo em meio a tantas atribuições aceitou prontamente o meu convite para a orientação deste trabalho e por ter me dado a liberdade necessária para que eu pudesse expressar as minhas ideias e realizar a minha atividade acadêmica.

Aos amigos do Curso de Engenharia Química e Química Industrial, que comigo dividiram esses anos. De modo especial à Ana Brenda, Alessa Spadim, Ana Vithória, Adriano Belenguer, Camila Mesquita, Carla Lira, Gabrielle Maia, Gustavo Borba, João Pedro e Larissa Ribeiro. Sou grato pelos muitos momentos em que juntos, apoiamos-nos uns nos outros para que pudéssemos encontrar o conforto e as forças necessárias para superarmos as dificuldades e seguirmos adiante. Que a vida os retribua com a mesma generosidade de vocês para comigo.

Aos companheiros do CAEQ que me ajudaram na luta por uma integração maior dos alunos do curso de Engenharia Química.

Aos amigos que fiz no estágio na empresa Chlorum Solutions, Amós Gomes, Jackson Oliveira, Lucas Bernardo, Lucas Cavalcanti, Maria Alice, Maria Rayane, Mirlene Carneiro, Simone Silva e Washington Falcão, agradeço por todo apoio e compreensão doados a mim neste período. E, por terem contribuído para a minha formação e qualificação profissional.

A todos, cujos nomes não foram citados, mas que passaram pelo meu caminho no decorrer destes anos e que, de algum modo, contribuíram para que eu chegasse aonde cheguei e me tornasse a pessoa que sou hoje.

Muito Obrigado a todos!

RESUMO

A discussão sobre a indústria de cloro-soda, fornecedora de insumos intermediários para a indústria química e diversos outros setores industriais, ficou restrita a especialistas. O presente trabalho, considerando sua importância econômica e as grandes polêmicas ambientais que acarreta, visou contribuir para uma maior divulgação do conhecimento sobre o setor e facilitar a referência dos principais problemas que devem ser enfrentados. Assim, este trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis a produção de cloro-álcalis no Brasil frente as necessidades ambientais atuais. Além disso, é apresentado neste trabalho as tecnologias utilizadas atualmente no processo de produção de cloro-soda e os controles ambientais que as tecnologias de mercúrio e diafragma precisam passar. O modelo de revisão bibliográfica deste trabalho foi composto por três fases: planejamento, execução e análise de resultados. E a partir destas três fases e dos critérios de exclusão, foi possível identificar três trabalhos para esta revisão bibliográfica. Nestes trabalhos, observou-se o desenvolvimento e avaliação de trinta e cinco tipos de diafragmas poliméricos aplicáveis a produção de cloro-álcalis. E destacou-se a possibilidade de desenvolvimentos de outros tipos de tecnologias de diafragma sintético, competitivo ao mercado, tanto em termos de desempenho, quanto a relação custo/benefício.

Palavras-chave: Indústria, eletrólise, cloro, soda, meio ambiente.

ABSTRACT

The discussion on the chlor-alkali industry, a supplier of intermediate inputs for the chemical industry and several other industrial sectors, was restricted to specialists. The present work, considering its economic importance and the great environmental controversies it entails, aimed to contribute to a greater dissemination of knowledge about the sector and to facilitate the reference of the main problems that must be faced. Thus, this work carried out a bibliographic review on the development of new technologies applicable to the production of chlor-alkali in Brazil in view of current environmental needs. In addition, this work presents the technologies currently used in the chlorine-soda production process and the environmental controls that mercury and diaphragm technologies need to pass. The bibliographic review model of this work was composed of three phases: planning, execution and analysis of results. And from these three phases and the exclusion criteria, it was possible to identify three works for this bibliographic review. In these works, the development and evaluation of thirty-five types of polymeric diaphragms applicable to the production of chlor-alkali was observed. And the possibility of developing other types of synthetic diaphragm technologies, competitive in the market, both in terms of performance and the cost/benefit ratio, was highlighted.

Keywords: industry, electrolysis, chlorine, soda, environment.

LISTA DE SIGLAS

ABICLOR: Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados

AL: Alagoas

Cl⁻: Íon Cloreto

COVID-19: Doença do Coronavírus 19 (ano de 2019).

EDC: Dicloroetano

HCl: Ácido Clorídrico

Hg⁰, Hg¹ e Hg²: Estados de oxidação do Mercúrio

MF: Microfibra

MnO₂: Dióxido de Manganês

Na⁺: Íon Sódio

NaCl: Cloreto de Sódio

NaOH: Soda Cáustica

OH⁻: Hidroxila

PD: Diafragma Polimérico

PEUAPM: Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular

PVC: Policloreto de Vinila

RBS: Revisão Bibliográfica Sistemática

SARS-COV-2: Coronavirus 2 da Síndrome Respiratória Aguda Grave.

SP: Separador Polimérico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das tecnologias no Brasil em 2018.	14
Figura 2 - Produção mundial de cloro entre 1930 a 1990.	18
Figura 3 - Produção brasileira de cloro-soda entre 2009 a 2019.	20
Figura 4 - Composição da demanda por cloro e derivados, Brasil, 2019.	21
Figura 5 - Composição da demanda por soda cáustica, Brasil, 2019.....	22
Figura 6 - A transformação do sal e da água em cloro e soda ou potassa.	23
Figura 7 - Representação da eletrólise utilizando célula de mercúrio.	24
Figura 8 - Representação da eletrólise utilizando células de diafragma.	24
Figura 9 - Representação da eletrólise utilizando células de membrana.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo das principais características das tecnologias.....	26
Tabela 2 - Descrição da metodologia da RBS.	29
Tabela 3 - Trabalhos selecionados após adoção dos critérios de exclusão.	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 A História do Cloro e da Soda	17
3.2 Produção de Cloro-Soda no Brasil	19
3.3 Principais aplicações e usos da Cloro-Soda e Derivados	20
3.4 Processo de Produção do Cloro-Álcalis	22
3.4.1 O processo de eletrólise utilizando células de mercúrio	23
3.4.2 O processo de eletrólise utilizando células de diafragma	24
3.4.3 O processo de eletrólise utilizando células de membrana	25
3.5 Indústrias de cloro-álcalis e meio ambiente	26
3.5.1 Controle de mercúrio	26
3.5.2 Controle de amianto	27
3.5.3 Aproveitamento de Hidrogênio	28
4 METODOLOGIA	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Desde que a COVID-19, doença causada pelo vírus SARS-CoV-2, foi descoberta na China, espalhou-se pelo mundo e chegou no Brasil, que o hábito de lavar as mãos, higienizar a casa, lavar hortaliças, frutas, legumes e embalagens, tornou-se um hábito essencial para evitar a contaminação por uma das infecções mais graves que afetaram a humanidade desde a Gripe Espanhola. Tornando, nesse contexto, a indústria de cloro-álcalis ainda mais essencial na saúde e vida humana, seja no tratamento da água, na desinfecção de ambientes hospitalares, além da sua utilização na produção de alimentos e medicamentos.

No mesmo ano, em julho de 2020, o novo Marco Regulatório do Saneamento Básico Brasileiro (Lei 14.026) foi sancionado, garantindo avanços ao Brasil. Tendo como principal objetivo universalizar e qualificar a prestação dos serviços de sistema de abastecimento de água e tratamento de esgotos até 2033, atribuindo um grande desafio a sociedade brasileira. E os investimentos ligados a este setor influenciaram diretamente o consumo de cloro, e por consequente a produção de álcalis, seja por volumes destinados ao tratamento de água e esgoto ou para a produção de materiais utilizados em tubos e conexões, como o PVC.

Segundo a Abiclor (2022), em 2022, a produção brasileira de cloro no primeiro semestre do ano atingiu 521,1 mil toneladas, o que representa crescimento de 17,2% ante mesmo período de 2021. Em relação à soda cáustica, a produção foi de 571,6 mil toneladas, avanço de 18% em relação ao mesmo período do ano anterior.

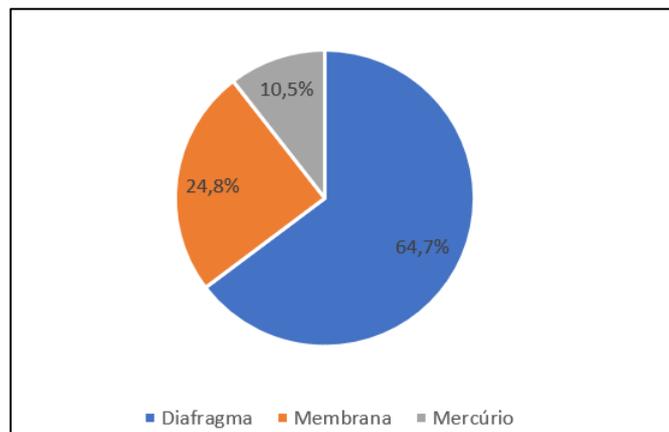
A cadeia do cloro, soda e seus derivados constituem uma das mais importantes atividades econômicas do mundo. Expressa uma extensa rede de produção, tendo como principais consumidores os seguintes setores da economia (JARDIN JÚNIOR, 2006):

- Papel e celulose;
- Química e petroquímica;
- Alumínio;
- Construção civil;
- Sabões e detergentes;
- Têxtil;
- Metalúrgica;
- Eletrônica;
- Alimentos;
- Defensivos agrícolas;
- Bebidas;
- Tintas;

- Tratamento de água;
- Embalagens.

Para a produção de cloro-soda existem três tecnologias principais: diafragma, mercúrio e membrana. Segundo o relatório socioambiental, em 2018, o processo de membrana é o mais utilizado no mundo (83%), seguidos pelos processos diafragma (12,5%) e mercúrio (2,1%) e outras tecnologias (2,4%). No Brasil a participação da tecnologia no processo produtivo ocorre da seguinte maneira: diafragma com 64,7%, membrana com 24,8% e mercúrio com 10,5%. A Figura 1 mostra a distribuição das tecnologias empregadas na produção de cloro-soda no Brasil em 2018.

Figura 1- Distribuição das tecnologias no Brasil em 2018.



Fonte: Abiclor (2022).

Pela natureza das tecnologias empregadas atualmente no processo produtivo do setor de cloro-álcalis, questões e aspectos associados direta e indiretamente ao meio ambiente e à sustentabilidade fazem parte do dia a dia das empresas e da pauta do setor como um todo (ABICLOR, 2020).

Dentre as principais questões estão o uso da tecnologia de mercúrio e uso de amianto na tecnologia de diafragma. Estes dois elementos são altamente nocivos se inalados ou ingeridos em grandes quantidades, podendo causar câncer e outras doenças graves. Além disso, no meio ambiente, estes elementos são responsáveis pela contaminação dos rios e conseqüentemente da fauna que ali existe, assim, prolongando o ciclo de contaminação por esses materiais.

Desta forma, considerando que a produção de cloro-álcalis pela tecnologia de mercúrio, assim como, o processo de diafragma com o uso do amianto, encontra-se entre as fontes de

produção altamente nocivas ao meio ambiente e à saúde humana, buscam-se, no mundo inteiro, alternativas tecnológicas que substituam o uso destes e que não acarretem riscos tão elevados. Portanto, este trabalho teve como objetivo revisar o desenvolvimento de novas tecnologias e alternativas para substituir o uso destes no Brasil.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Fazer um levantamento sobre o conhecimento dos processos produtivos de cloro-álcalis e revisar o desenvolvimento de novas tecnologias e alternativas para substituir o uso das tecnologias de mercúrio e a tecnologia de diafragma utilizando amianto no Brasil.

2.2 Objetivos específicos

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis aos processos de produção eletrolítica de cloro-álcalis no Brasil entre os anos 2000, entrada da Lei 9.976, a 2022;
- Verificar as produções de cloro-soda no Brasil no período de sancionamento do Marco Regulatório de Saneamento Básico até hoje;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A História do Cloro e da Soda

As origens da indústria química podem ser traçadas à Revolução Industrial. O nascimento da indústria química ocorreu a partir de uma matéria prima abundante e barata, o cloreto de sódio (SEIDL, 1998). A produção de cloro, soda cáustica e derivados é um símbolo da história da indústria da química inorgânica. É um exemplo claro de uma indústria de manufatura de larga escala que utiliza processos tecnológicos sofisticados para converter matérias-primas básicas.

Segundo Dias (2009), em 1774, o farmacêutico sueco Carl W. Scheele, que obteve um gás esverdeado a partir da reação entre ácido clorídrico com óxido de manganês (MnO_2), e o definiu como um composto contendo oxigênio. Depois de várias tentativas de decompor o suposto composto, em 1810 o químico inglês Humphry Davy provou que se tratava de fato de um elemento químico e não de um composto como se pensava anteriormente, e recebeu o nome de cloro devido à sua cor.

As primeiras aplicações do cloro datam do final do século XVIII e começo do século XIX, sendo utilizado na forma de hipoclorito de potássio na indústria têxtil. Aos poucos, o branqueamento químico à base de cloro foi se aperfeiçoando e sendo cada vez mais exigido nas fábricas têxteis, devido à forte demanda por roupas devido ao avanço do crescimento demográfico da época.

A produção de cloro gasoso é frequentemente associada ao hidróxido de sódio, pois são produtos simultâneos de cloreto de sódio diluído em água (comumente conhecida como salmoura) por eletrólise no mesmo processo. Com o advento desse processo, tornou-se possível a obtenção de hidróxido de sódio e cloro gasoso a um custo menor. Porém, segundo O'brien (2005), foi somente na Primeira Guerra Mundial que o uso do cloro se tornou mais importante, pois encontrou novas aplicações para suas propriedades germicidas, como no tratamento de água e saneamento básico. Com isso, a incidência de doenças infecciosas causadas pela falta de tratamento da água consumida pela população, como a febre tifóide, foi diminuído significativamente.

Apesar de seus muitos benefícios para a indústria e para a sociedade, a indústria de cloro e álcalis também foi utilizada com fins prejudiciais e conflituosos. Tendo o gás cloro e seus derivados utilizados como armas químicas na Primeira Guerra Mundial pelos exércitos alemão, francês e inglês, levando a guerra a um novo nível. Já a produção de hidróxido de sódio artificial começou na França como resultado das Guerras Napoleônicas, quando a falta de soda natural levou à invenção do processo de fabricação deste produto artificial.

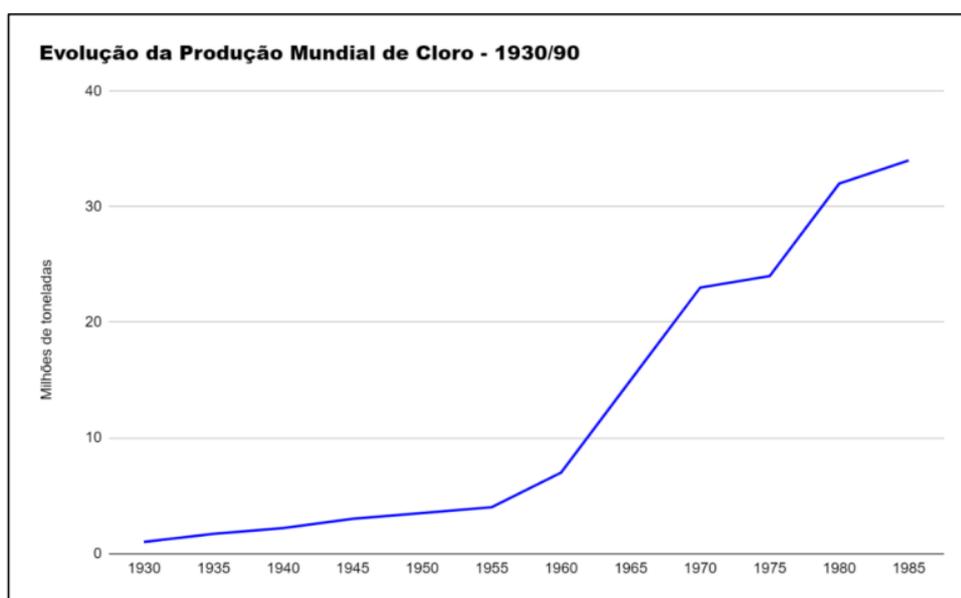
A primeira produção de soda cáustica em escala industrial pelo processo eletrolítico, com célula de diafragma, foi realizada em 1890 por Stroof, Parnicke e os irmãos Lang na Griesheim Elektron AG, Alemanha. Outros processos foram estudados até se chegar, nos Estados Unidos, ao desenvolvimento da célula Hooker (ABICLOR, 2022).

Já a célula com catôdo de mercúrio, foi inventada independentemente, em 1892 por Castner nos Estados Unidos e Kellner na Áustria, mas não se expandiu, na ocasião, por problemas técnicos. Somente a partir de 1935, durante a última guerra mundial, é que esta tecnologia foi aperfeiçoada por I.G. Farben na Alemanha, que desenvolveu a célula com reciclo de mercúrio (ABICLOR, 2022).

Dados da ABICLOR, mostram que a partir de 1940, o consumo de cloro começou a aumentar significativamente após novos derivados deste elemento terem sido descobertos. Desde então, um dos principais usos do cloro na indústria química tem sido a produção de Dicloroetano (EDC), que é matéria-prima base para a produção de cloreto de vinila, composto inorgânico usado como matéria-prima para a obtenção de policloreto de vinila, conhecido como PVC, resina plástica de grande aplicabilidade que contribui para melhorar qualidade de vida e desenvolvimento sustentável.

O cloro e seus subprodutos têm uma ampla gama de aplicações, por isso é um dos elementos mais importantes da indústria química. A Figura 2 demonstra a evolução da produção mundial de cloro ao longo das décadas de 30 e 90.

Figura 2 - Produção mundial de cloro entre 1930 a 1990.



Fonte: Andrade (1994).

3.2 Produção de Cloro-Soda no Brasil

Segundo a Abiclor (2022), no Brasil, a primeira fábrica com células de diafragma surgiu em 1934, na empresa Eletro-Química Fluminense, enquanto que com células a mercúrio a primeira foi à empresa Eletrocloro (atual Solvay Indupa do Brasil) em 1948.

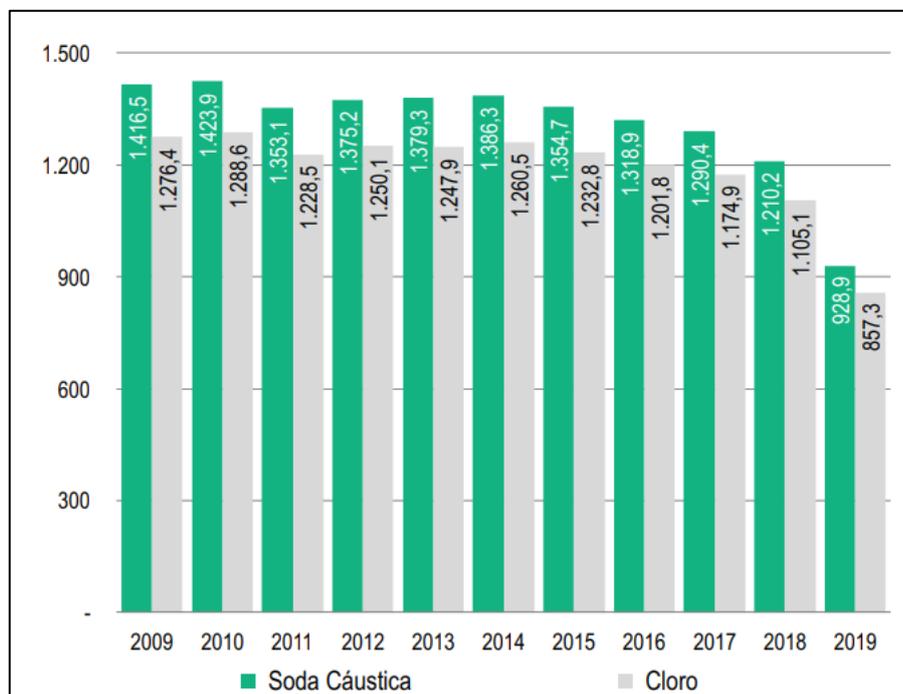
Na década de 70, empresas que buscavam novas alternativas para fabricação de soda cáustica com baixo teor de cloretos e sem utilização de mercúrio, desenvolveram a tecnologia de célula de membrana. O processo foi iniciado pela Du Pont com o desenvolvimento de membranas perfluorsulfônicas (Nafion 324), através das quais já no início, era possível produzir comercialmente lixívia de soda cáustica com teor de 10% a 20% de NaOH em peso. A primeira fábrica no Brasil a utilizar esta tecnologia foi uma unidade da Aracruz Celulose, em 1981 (ABICLOR, 2022).

A indústria brasileira de cloro e álcalis tem excelente responsabilidade corporativa, ou seja, em termos de competitividade, vai bem e acompanha os avanços tecnológicos no mundo. As indústrias químicas de cloro-álcalis têm as suas atividades acompanhadas pela ABICLOR – Associação Brasileira de Álcalis, Cloro e Derivados, que foi fundada em 1968 com a missão de atuar no desenvolvimento e competitividade da indústria.

A capacidade instalada do segmento cloro-soda, no Brasil, responde pelo equivalente a 3% da capacidade mundial instalada, situando-se na sexta posição no mundo, e, na América Latina, a indústria nacional é responsável por 55% do total. Em torno de 80% da produção é para uso cativo, principalmente para a fabricação de PVC, óxido de propeno, e para uso das indústrias de celulose (BRAGA, 2009).

Em 2019, a capacidade de produção de cloro no mundo foi de 87,69 milhões de toneladas. A tendência até 2024 é que a capacidade de produção de cloro cresça para cerca de 92,13 toneladas por ano (OFFSHORE-TECHNOLOGY, 2020). O aumento da produção deveu-se principalmente a China que se tornou um dos principais produtores de cloro e soda do mundo nas últimas décadas. Outros países asiáticos, também anunciaram investimentos nessa área, e o continente tornou-se um importante centro de produção de cloro e álcalis no mundo.

Segundo a Abiclor (2022), no Brasil, a produção de cloro foi de 857,3 mil toneladas em 2019, apresentando variações negativas por cinco anos consecutivos desde que o país entrou em recessão em 2014. Com isso, a indústria brasileira responde por apenas 54,4% de sua capacidade instalada, resultando em 45,3% da produção ociosa. A capacidade ociosa aumentou em 2019 devido a questões socioambientais que interromperam a produção da planta da Braskem em Maceió/AL. A Figura 3 mostra o total produzido de cloro e soda no Brasil entre os anos de 2009 a 2019.

Figura 3 - Produção brasileira de cloro-soda entre 2009 a 2019.

Fonte: Abiclor (2020).

Segundo o balanço socioeconômico de cloro-soda da ABICLOR, após seis anos de variação negativa, em 2021, a utilização da capacidade instalada saltou para 65,9%, e produção de cloro atingiu 936,4 mil toneladas, crescimento de 23,5%. Já a produção de soda cáustica foi de 1.021,5 mil toneladas, avanço de 24,7% em relação a 2020. Recentemente, em janeiro de 2022, a produção brasileira de cloro iniciou o primeiro trimestre com crescimento de 29,6% em relação a janeiro de 2021, e a utilização da capacidade instalada de 71,5%. Explicitando ainda mais a retomada da produção de cloro após fortes períodos de queda, onde a ociosidade das plantas brasileiras atingiu números preocupantes.

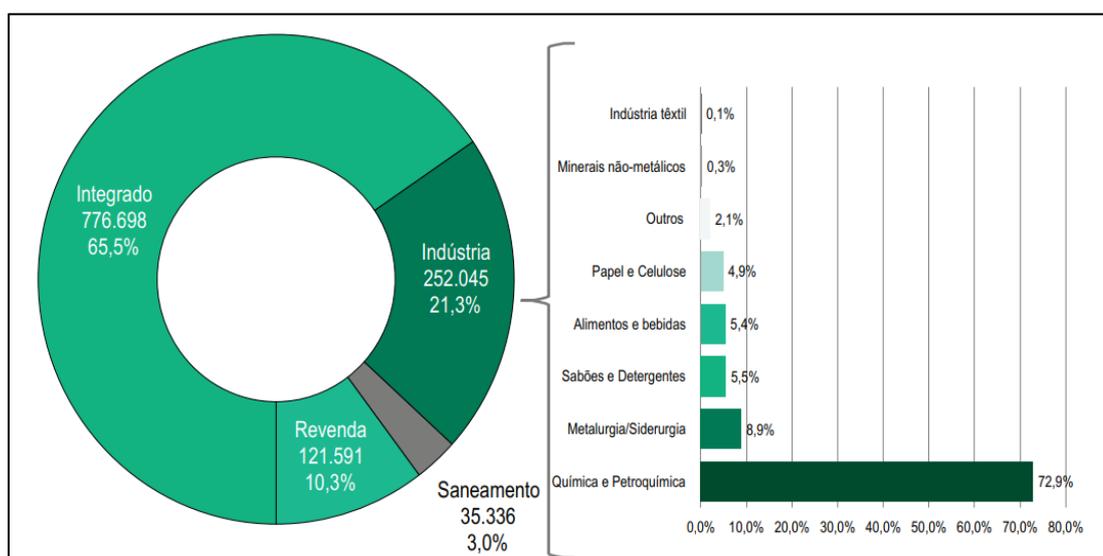
3.3 Principais aplicações e usos da Cloro-Soda e Derivados

As cadeias de cloro, soda e seus derivados constituem uma das atividades econômicas mais importantes do mundo, representando uma ampla rede de aplicações. Os principais consumidores estão nos seguintes setores da economia: papel e celulose, química e petroquímica, alumínio, construção civil, saneantes, têxtil, metalurgia, eletroeletrônicos, alimentos, fertilizantes, bebidas, tintas, tratamento de água e embalagens.

O cloro tem tanta importância na sociedade atual, que é o reagente mais utilizado na indústria química e está direta ou indiretamente envolvido em mais de 70% da produção química global. Este dado ressalta a importância do elemento na indústria química, principalmente no papel de insumo para produtos finais.

Além da própria indústria de cloro-álcalis (integrados), os setores que mais consumiram esses produtos foram a indústria de transformação, que absorveu 21,3% da demanda, e o setor de saneamento, com 3,0% do consumo total. O segmento de distribuição, que revende os produtos de cloro para os demais segmentos, principalmente para os operadores de saneamento, absorveu 10,3% da demanda (ABICLOR, 2020). A Figura 4 explicita a composição por demanda de uso do cloro, hipoclorito de sódio e ácido clorídrico como insumo ou produto final no ano de 2019.

Figura 4 - Composição da demanda por cloro e derivados, Brasil, 2019.



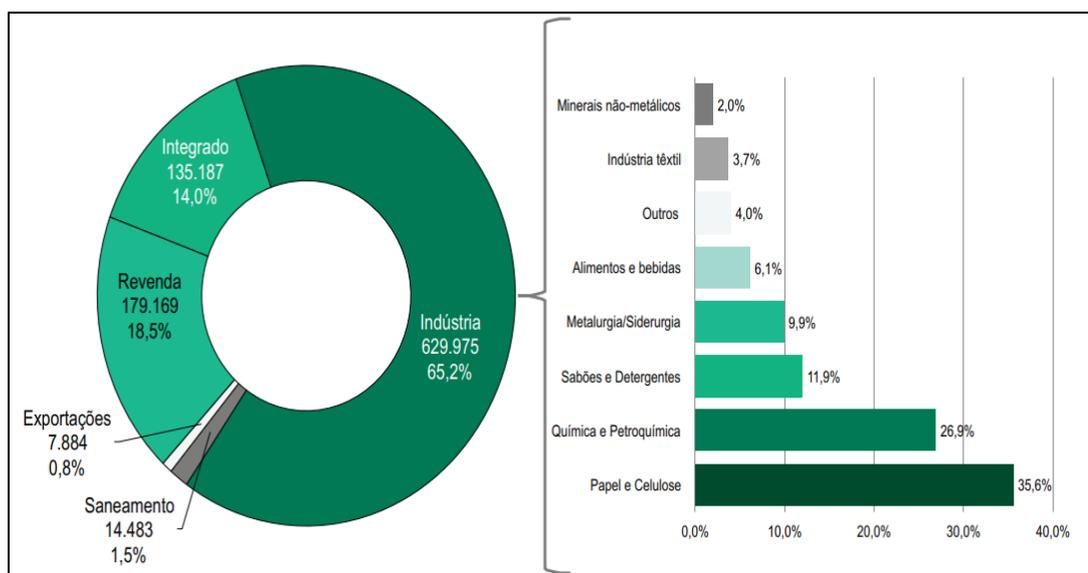
Fonte: Abiclor (2020).

Entre os setores da indústria de transformação, destacaram-se o de química e petroquímica, com 72,9% da demanda industrial. A demanda da metalurgia e siderurgia respondeu por 8,9% da demanda industrial, enquanto que a da indústria de sabões e detergentes, por 5,5% da demanda industrial e a da indústria de alimentos e bebidas, por 5,4% da demanda da indústria. Os demais setores industriais consumiram 7,3% da demanda industrial, ou ainda, 1,6% do consumo total (ABICLOR, 2020).

Os usos da soda cáustica são mais variados do que os usos do cloro e seu uso extensivo está associado com a capacidade de neutralizar ácidos, por ser uma base forte, e na capacidade

de reagir com alguns metais e óxidos. Em indústrias, é utilizado em sistemas que neutralizam as emissões de gases ácidos de chaminés e também utilizado na fabricação de sabões e detergentes, tecidos, operações de petróleo, gás natural e alumina, entre outros, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Composição da demanda por soda cáustica, Brasil, 2019.



Fonte: Abiclor (2020).

O consumo industrial de soda cáustica absorveu 65,2% da demanda doméstica em 2019. Entre os setores da indústria de transformação, destacaram-se o de papel e celulose (com 35,6% da demanda industrial), química e petroquímica (com 26,9% da demanda industrial), a indústria de sabões e detergentes (com 11,9% da demanda industrial) e a metalurgia e siderurgia (com 9,9% da demanda industrial). Os demais setores industriais consumiram 15,7% da demanda industrial.

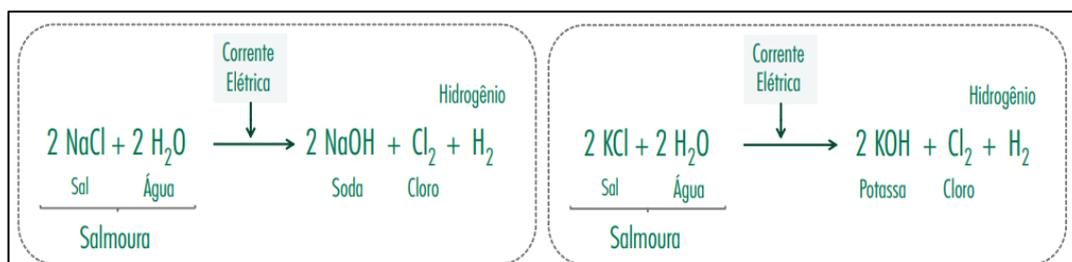
Apesar de diferentes, estes dois produtos são enfocados concomitantemente, pois são gerados ao mesmo tempo. No processo de fabricação, a soda é coproduzida com o cloro, em uma proporção de 1 tonelada de cloro para 1,12 toneladas de soda cáustica (FERNANDES, 2009).

3.4 Processo de Produção do Cloro-Álcalis

A produção de cloro e soda é resultado da combinação de três recursos básicos: sal e água, que formam a salmoura, e eletricidade, que atua na eletrólise, como mostra a Figura 6. A eletrólise é um processo no qual as moléculas de sal e água são separadas e recombinadas para formar moléculas de hidróxido de sódio, cloro e hidrogênio. Como resultado da produção há

uma proporção constante de 11 toneladas de soda cáustica para cada 10 toneladas de cloro. O hidrogênio, que também é um subproduto da eletrólise, pode ser recuperado e usado como combustível ou matéria-prima para a produção de ácido clorídrico.

Figura 6 - A transformação do sal e da água em cloro e soda ou potassa.



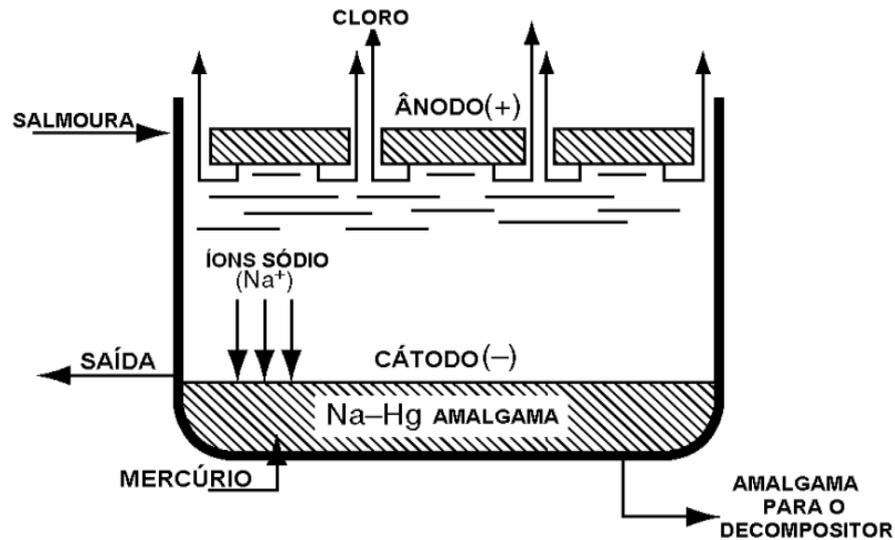
Fonte: Abiclor (2020).

Atualmente, três tecnologias por eletrólise são empregadas na produção de cloro e álcalis no Brasil: células de mercúrio, de diafragma e de membrana. Em todos os casos, os produtos são obtidos nos eletrodos (ânodo e cátodo) por meio da passagem de uma corrente elétrica de alta intensidade através da salmoura que circula em uma cuba denominada célula eletrolítica (ABICLOR, 2020).

3.4.1 O processo de eletrólise utilizando células de mercúrio

Segundo Roland e Kleinschmit (1986), a eletrólise usando células de mercúrio foi o primeiro método usado em escala industrial para produzir cloro gasoso, desenvolvida em 1892 de forma independente por H. Y. Castner e C. Kellner. No processo, o mercúrio flui na parte inferior da bateria, que atua como cátodo, possibilitando a obtenção do produto. A eletrólise da salmoura ocorre nesta célula onde o gás cloro é obtido no ânodo e a fusão de mercúrio e sódio é obtida no cátodo. O mercúrio flui para um decompositor e no decompositor, este reage com a água para obter a soda cáustica. O mercúrio é então devolvido ao eletrolisador e o processo repetido. Nesse processo, obtém-se como subprodutos cloro gasoso puro e soda cáustica de elevada concentração, obtendo um importante interesse comercial. No entanto, o mercúrio é continuamente perdido, ainda que em pequenas quantidades, para efluentes e emissões que causam danos ao meio ambiente.

Figura 7 - Representação da eletrólise utilizando célula de mercúrio.

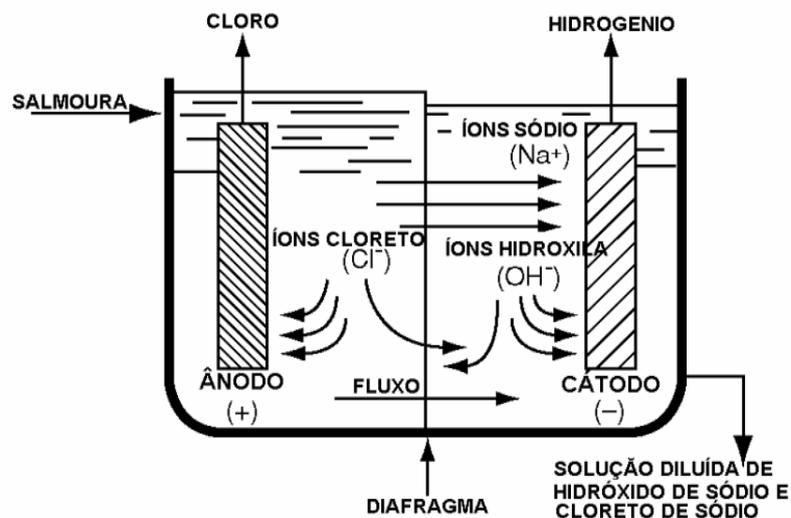


Fonte: Lima (2006).

3.4.2 O processo de eletrólise utilizando células de diafragma

A tecnologia da célula de diafragma emprega um cátodo de aço ou ferro perfurado e um ânodo de titânio revestido com platina ou óxido de platina. O diafragma entre o cátodo e o ânodo é um diafragma feito de fibras de amianto misturadas com outras fibras. O separador permite a passagem de íons por eletromigração, mas reduz a difusão de produtos. Os diafragmas são porosos e entopem após o uso, tornando sua manutenção ou substituição mais frequente, aumentando os custos do processo.

Figura 8 - Representação da eletrólise utilizando células de diafragma.



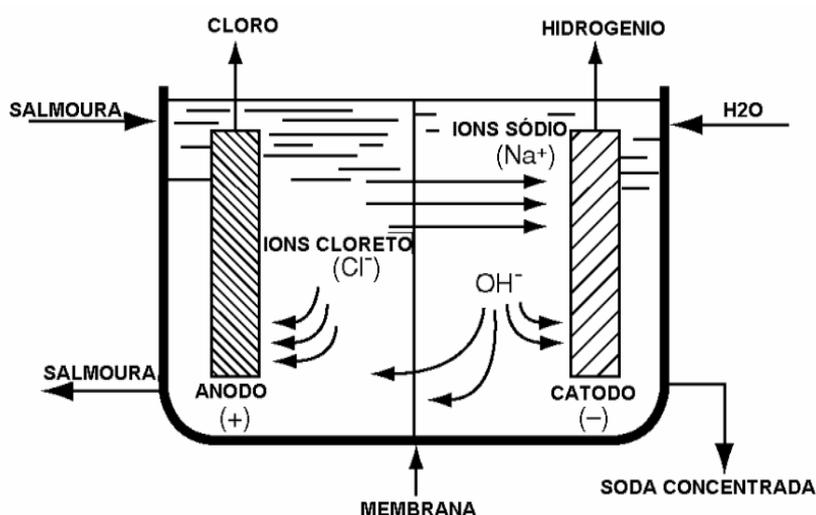
Fonte: Lima (2006).

Segundo Lima (2006), embora menos prejudicial ao meio ambiente do que a tecnologia que utiliza mercúrio, existem algumas desvantagens no uso dessa tecnologia, como: menor tempo de vida do separador de amianto, resistência e a não seletividade por parte do separador empregado, permitindo produzir a soda cáustica com elevados teores de cloreto de sódio, o que requer etapas de purificação que, conseqüentemente, acarreta custos adicionais para as indústrias que utilizam este processo. E apesar destas desvantagens, esta tecnologia é amplamente utilizada no Brasil, com cerca de 63% da capacidade instalada do país.

3.4.3 O processo de eletrólise utilizando células de membrana

De acordo com Fernandes (2009), essa tecnologia é moderna e similar a empregada na célula de diafragma. Uma membrana sintética seletiva substitui o diafragma, deixando passar íons Na^+ (sódio), impedindo a passagem dos ânions OH^- (Hidroxila) e Cl^- (Cloreto). Assim, obtém-se uma soda cáustica com alta pureza e concentração do que a obtida no processo de eletrólise por células de diafragma, e ainda consumindo menos energia que o método das células de mercúrio, apesar de produzir uma menor concentração de soda.

Figura 9 - Representação da eletrólise utilizando células de membrana.



Fonte: Lima (2006).

Há uma tendência para a extinção do processo de mercúrio na produção de soda-cloro, visto os problemas ambientais pertinentes a esse tipo de tecnologia e com isso as células de membrana têm se destacado por não agredir o meio ambiente como os outros métodos e por

apresentar um consumo energético menor (SILVA, 2015). A Tabela 1 apresenta uma comparação das principais características dessas três tecnologias.

Tabela 1 - Comparativo das principais características das tecnologias.

Características	Tecnologias		
	Merúrio	Diafragma	Membrana
Emprego da tecnologia	Há mais de 100 anos	Há mais de 100 anos	A partir de 1971
Qualidade dos insumos	Requer tratamento do sal	Requer tratamento do sal	Requer alta pureza do sal superior à das outras duas tecnologias
Concentração da soda	50%	12% Necessitando de energia térmica para concentrar a 50%	33% Necessitando de energia térmica para concentrar a 50%
Energia elétrica	Maior consumo	Menor consumo, mas exige uso de energia térmica adicional	Menor consumo, mas exige uso de energia térmica adicional menor do que diafragma
Qualidade dos produtos	Alta Menor do que 30 ppm de cloreto de sódio	1% a 1,5% de cloreto de sódio. Não apropriado para algumas aplicações	Alta Menor do que 50 ppm de cloreto de sódio
Meio ambiente	Controle do mercúrio	Controle do amianto	-

Fonte: Abiclor.

3.5 Indústrias de cloro-álcalis e meio ambiente

Pela natureza das tecnologias empregadas atualmente no processo produtivo do setor de cloro-álcalis, questões e aspectos associados direta e indiretamente ao meio ambiente e à sustentabilidade fazem parte do dia a dia das empresas e da pauta do setor como um todo (ABICLOR,2020).

Pode-se destacar três principais questões associadas ao meio ambiente:

1. Controle de mercúrio;
2. Controle de amianto;
3. Aproveitamento de Hidrogênio.

3.5.1 Controle de mercúrio

O mercúrio é um metal líquido pesado que são encontrados facilmente na natureza em compostos orgânicos e inorgânicos e nos estados de oxidação Hg^0 , Hg^I e Hg^{II} . O metal é tóxico e volátil a temperatura ambiente. É persistente no meio ambiente e continua a ser amplamente utilizado na sociedade. O comportamento do mercúrio na natureza, sua capacidade de reagir e

mudar e aumentar sua toxicidade é uma ameaça para várias formas de vida no meio ambiente, especialmente considerando que não há controle uma vez que ele é emitido.

O setor de cloro-álcalis exerce um estrito controle gerencial sobre o metal nas unidades fabris que utilizam das células de mercúrio. Esse controle envolve o manejo seguro do excedente de mercúrio das plantas fechadas ou convertidas e o uso das melhores práticas e técnicas disponíveis para manusear os resíduos dos processos industriais que contém o metal (ABICLOR, 2020).

A Lei 9.976, de 3 de julho de 2000, a qual dispõe sobre a produção de cloro no Brasil, estabelece uma série de práticas de controle gerencial do mercúrio nas empresas que a utilizam a tecnologia, prevendo a obrigatoriedade de operações de manuseio, recuperação, manutenção e armazenagem de mercúrio com fim de evitar a contaminação no local de trabalho e do meio ambiente. A lei também dispõe sobre a proibição de instalação de novas fábricas de produção de Cloro-Soda que utilize esta tecnologia.

Nesse contexto, a indústria brasileira se comprometeu a converter as plantas que empregam a tecnologia de mercúrio para outras tecnologias até 2025. Este prazo, ainda que contemple algumas exceções, foi estabelecido na Convenção de Minamata sobre o Mercúrio, que tem como propósito estabelecer a proteção a vida humana e ao meio ambiente.

3.5.2 Controle de amianto

O amianto é um minério barato, abundante na natureza, mas muito perigoso. Ele pode causar doenças graves, como câncer de pulmão e de laringe e asbestose. Os efeitos da contaminação surgem 30 anos após a exposição à substância, o que acaba mascarando o risco desse material.

No processo de produção de cloro-álcalis que utiliza a tecnologia de diafragma também há um controle estrito sobre o uso de amianto, também baseado na Lei 9.976. A lei dispõe os seguintes pontos:

- Utilização de amianto somente do tipo crisotila;
- Ambiente fechado com filtração de ar para o manuseio do amianto seco;
- Locais controlados nas operações de preparação e remoção de diafragmas de amianto;
- Segregação segura dos resíduos de amianto, com registro interno de todas as etapas; e
- Vigilância da saúde na prevenção de exposição ocupacional ao amianto.

3.5.3 Aproveitamento de Hidrogênio

Subproduto do processo de eletrólise, o gás hidrogênio pode ser comercializado ou utilizado como matéria-prima ou como combustível na geração de vapor de processo. Como resultado, diversas empresas, no contexto de seus programas de sustentabilidade, têm destinado o excesso de hidrogênio para a geração de energia elétrica, sendo o grau de aproveitamento do gás uma importante medida de eficiência (ABICLOR, 2020).

4 METODOLOGIA

O principal método utilizado para a realização deste trabalho foi a revisão bibliográfica sistemática (RBS), uma metodologia de pesquisa específica, desenvolvida para a investigação e avaliação de dados relacionados a um determinado tema. O modelo de revisão bibliográfica deste trabalho foi composto por três fases: planejamento, execução e análise de resultados.

Segundo Biolchini et al. (2005), a fase de planejamento consiste em definir os objetivos da revisão e do desenvolvimento de um protocolo de revisão, sendo este protocolo composto por três subfases: planejamento da revisão, formulação do problema, e coleta e avaliação de dados. Já a fase de execução envolve a identificação dos estudos, seleção e avaliação de acordo com os critérios de inclusão e exclusão que foram definidos no protocolo, na fase de planejamento. E, por fim, na fase de análise de resultados, são extraídos os dados para o estudo.

O principal objetivo da revisão foi executar o levantamento de estudos que abordassem, no geral, o desenvolvimento de novas tecnologias de produção por eletrólise de cloro-álcalis no Brasil frente as necessidades ambientais atuais, sendo assim, a Tabela 2 descreve o modo pelo qual a RBS foi conduzida.

Tabela 2 - Descrição da metodologia da RBS.

FASES	DESCRIÇÃO
I - PLANEJAMENTO:	Guiada por três subfases.
Subfase I: Formulação do problema:	Nesta subfase serão formuladas questões que guiarão na validação do protocolo da revisão.
Subfase II: Coleta e avaliação dos dados:	Nesta são identificadas as plataformas literárias/base de dados e as palavras-chaves que irão conduzir a revisão.
Subfase III: Análise e Interpretação dos resultados:	Uma vez selecionadas as publicações, esta etapa envolverá a extração dos dados relevantes e pertinentes ao objetivo da revisão.
II - EXECUÇÃO	Nesta fase serão avaliados todos os trabalhos (artigos e dissertações) que contemplam os termos estabelecidos na fase anterior e posteriormente serão aplicados os critérios de inclusão e exclusão.
III - ANÁLISE DOS RESULTADOS	É nesta última fase que verificamos a eficácia do protocolo estabelecido na fase de planejamento. Onde os trabalhos que passaram pela execução, são analisados, aplicados e direcionados ao estudo.

Fonte: Autor, 2022.

Segundo Brereton et al. (2007), no estágio de planejamento devem ser formuladas questões que guiarão na validação do protocolo de revisão. Sua finalidade é identificar trabalhos publicados referentes às atividades desenvolvidas nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto.

As perguntas iniciais que moldaram o planejamento deste trabalho foram: Quais artigos e dissertações abordam o desenvolvimento de novas tecnologias de eletrólise para a produção de cloro-álcalis no Brasil? Quais desses desenvolvimentos tecnológicos abordam as necessidades ambientais atuais?

De acordo com o definido na etapa de formulação do problema, foram identificadas as bases de dados, as palavras-chaves, a área de concentração e a linha de pesquisa que serão utilizadas na condução desta revisão. Para a base de dados, foi utilizada a Plataforma na busca pelas literaturas.

Seguindo para a Subfase III, de coleta e avaliação de dados, foram utilizadas palavras-chaves como: eletrólise, cloro-soda, meio ambiente, mercúrio, amianto, diafragma sintético, diafragma polimérico. Na pesquisa também foi definida uma área de concentração e uma linha de pesquisa: Desenvolvimento de processos químicos e fenômenos de superfície e reações, respectivamente. Nesta subfase de planejamento, encontraram-se 32 artigos no Periódico Capes e 1.420.354 trabalhos (teses e dissertações) no catálogo de teses e dissertações da Capes com os termos ou parte dos termos cloro-soda, cloro-álcalis, soda cáustica, processo eletrolítico, diafragma, diafragma polimérico, amianto, mercúrio e eletrólise nos títulos, ou resumos. Para a inclusão ou exclusão dos trabalhos, foram primeiramente avaliados os títulos, resumos e o ano da publicação do trabalho. Os que não se relacionavam com desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis a produção eletrolítica de cloro-álcalis entre os anos 2000 a 2022 foram excluídos. Deste modo, todos os artigos foram excluídos, pois nenhum se relacionavam ao desenvolvimento de novas tecnologias de produção de cloro-soda e apenas 3 Teses da plataforma Sucupira foram aproveitadas.

Uma vez que as publicações foram selecionadas, esta etapa envolveu a extração de dados relevantes e pertinentes para o objetivo da revisão sistemática, usando os padrões de representação de dados definidos no protocolo de avaliação e os critérios definidos para a classificação (BIOLCHINI et al., 2005).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a seleção dos trabalhos nas plataformas literárias e com a extração dos trabalhos relevantes e pertinentes a esta revisão, foi possível montar a Tabela 3 que mostra os trabalhos separados após os critérios de exclusão.

Tabela 3 - Trabalhos selecionados após adoção dos critérios de exclusão.

Base de Dados	Tema	Autor	Ano	Palavras-Chaves	Área de Concentração	Linha de Pesquisa
CAPES	Desenvolvimento e avaliação de diafragmas poliméricos para aplicação no processo de produção eletrolítica de cloro-soda	MOURA JUNIOR, Celso Fidelis de.	2018	Cloro-soda, eletrólise e diafragma polimérico.	Desenvolvimento de Processos Químicos	Fenômenos de Superfície e reações
	Desenvolvimento de Diafragmas Poliméricos Aplicáveis na Produção Eletrolítica de Cloro-Soda	CUNHA, Carlos Thiago Candido.	2015	Fibra polimérica, diafragma, processo eletrolítico e cloro-soda.	Estrutura, processamento e propriedade de materiais	Compósito e Blendas
	Diafragmas de PEUAPM para aplicação no processo de produção eletrolítico de cloro-soda	VIANA, Kaline Melo Souto.	2009	Diafragmas, amianto, PEUAPM, cloro e soda cáustica.	Desenvolvimento de Processos	Desenvolvimento e Tecnologia de Materiais

Fonte: Autor, 2022.

Nestes três trabalhos, observou-se o desenvolvimento e avaliação de 35 tipos de diafragmas poliméricos aplicáveis a produção de cloro-álcalis, sendo 9 por Moura Junior (2018), 15 por Cunha (2015) e 11 por Viana (2009).

Moura Junior (2018) desenvolveu, a partir de um planejamento experimental de mistura, diafragmas poliméricos a partir de quatro tipos de microfibras. Onde os diafragmas foram inicialmente sintetizados e dopados com inserção de argila atapulgita e caracterizados quanto a espessura, permeabilidade e resistividade (Nmac) e a partir do planejamento foi possível desenvolver modelos matemáticos que descrevem o comportamento das fibras sobre as propriedades do diafragma. Foram desenvolvidos 9 diafragmas, chamados de Polymeric Diaphragm (PD), em composições diferentes de microfibras. Os diafragmas que apresentarem as melhores propriedades foram testados num reator eletroquímico composto por duas células em série e foi avaliado sua capacidade de concentração de soda, teores de cloreto e clorato no licor de célula e eficiência de corrente e de energia. Os resultados obtidos mostram que proporções intermediárias (62,5%) de MF2 conferem as melhores propriedades aos diafragmas e a partir dos resultados de caracterização foram selecionados os diafragmas PD1, PD7 e PD8 para passar pelo processo de eletrólise. Dentre os diafragmas em estudo, o PD1 apresentou os

melhores resultados quanto a concentração de soda (29,44 g/L) e o menor teor de clorato de sódio no licor de célula (0,035 g/L) apresentando-se favorável à sua aplicação no processo de produção de cloro-soda.

Cunha (2015) realizou um estudo sobre o desenvolvimento de diafragmas alternativos à base de materiais poliméricos e aditivos que pudessem substituir o amianto e possibilitassem sua aplicação na indústria de cloro-soda. Para o seu estudo empregou-se fibras poliméricas, PEUAPM, que tem como característica a resistência as condições rígidas do processo de eletrólise. E para minimizar a permeabilidade dos diafragmas, fez necessário o uso de material orgânico (argila). Diante disso, foram desenvolvidos sistemas para deposição e caracterização dos diafragmas que possibilitam a reprodutividade e análises adequadas comparadas ao âmbito industrial. Partindo de um planejamento experimental de misturas com 5 diferentes fibras pode-se avaliar qual composição de diafragma favoreceu melhores resultados nos parâmetros da eletrólise. Os resultados se mostraram promissores, tendo em vista que dentre as 15 formulações testadas conseguiu-se chegar a uma composição cujas propriedades eletroquímicas atendem todas as especificações podendo inclusive ser aplicado em escala industrial.

Viana (2009) investigou a possibilidade de substituição dos diafragmas de amianto por diafragmas de PEUAPM. Sua pesquisa foi dividida em duas etapas, na primeira foi realizada a investigação da resistência química do PEUAPM na forma de fibras, em meio ácido, básico e salino, numa temperatura de 90°C, simulando-se as condições de operação das células eletroquímicas para produção cloro-soda e na segunda etapa foram realizadas eletrólises e para isto foram confeccionados diafragmas com diferentes composições, variando de 100% amianto (diafragma utilizado como referência), passando pelo balanço de 5:95 a 90:10% de PEUAPM:amianto, até 100% PEUAPM. Os resultados obtidos na etapa I, evidenciaram que as fibras de PEUAPM apresentam boa resistência ao ataque químico das soluções de NaCl, HCl e salmoura na temperatura de 90°C, durante as 96 horas de exposição, apresentando apenas um início de oxidação, detectada pela presença de carbonilas, além de uma redução de 15% na cristalinidade das fibras de PEUAPM. Já por meio dos resultados obtidos na etapa II, observou-se que os diafragmas amianto/PEUAPM estudados não apresentaram bom empacotamento de fibras e que há uma tendência de redução da eficiência de corrente (E.C.) e eficiência de energia (E.E.) com o aumento do percentual de PEUAPM. E assim, conclui-se que as fibras de PEUAPM são um substituto em potencial para as fibras de amianto na produção cloro-soda.

6 CONCLUSÃO

A análise dos trabalhos levantados pela revisão bibliográfica sistemática revelou que o desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis a produção eletrolítica de cloro-soda não é um tema muito consolidado, indicando, portanto, a necessidade e possibilidade de diversos estudos relacionados ao tema. Portanto, com base nos trabalhos e experiências relatados, é possível confeccionar diafragmas alternativos ao amianto e com possibilidade de desempenho semelhante ou superior. E dentro deste contexto, pretende-se com este estudo a possibilidade de consolidação de desenvolvimentos de outros tipos de tecnologias de diafragma sintético a base de polímero, competitivo ao mercado, tanto em termos de desempenho, quanto a relação custo/benefício.

REFERÊNCIAS

- ABICLOR. **A indústria de Cloro-Álcis**. Disponível em: <https://www.abiclor.com.br/a-industria-de-cloro-alcis/>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- ABICLOR. **Balanco Socioeconômico da Indústria de Cloro-Álcis no Brasil 2020**. Disponível em: http://www.abiclor.com.br/wpcontent/uploads/2021/04/Abiclor_Balanco_socioeconomico_2020.pdf. Acesso em: 23 nov. 2022.
- ABICLOR. **Cloro**. Disponível em: <https://www.abiclor.com.br/cloro/>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- ABICLOR. **Cloro-álcalis: Origem, evolução da indústria e valor para a sociedade**. Disponível em: https://issuu.com/abiclorebook/docs/af-abiclor-single__1_/1. Acesso em: 23 nov. 2022.
- ABICLOR. **Tecnologias de produção**. Disponível em: <http://www.abiclor.com.br/tecnologias-de-producao/>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- ALQUIMIA. **Cadeia produtiva Cloro e Soda**. Disponível em: <https://alquimiaprodutosquimicos.com.br/cadeia-produtiva-cloro-e-soda/>. Acesso em: 4 jul. 2022.
- ANDRADE, J. E. P. de; ZAPORSKI, J. **A Indústria de Cloro-Soda**. Revista do BNDES, V.1, N.2, P.183-226, 1994.
- ANTUNES, A; Mercado, A. **A aprendizagem tecnológica no Brasil: A experiência da indústria química e petroquímica**. 2.ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2000.
- BIOLCHINI, J. *et al.* **Systematic Review in Software Engineering** . 1. ed. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ – Computer Science Department, 2005.
- BRASIL. Lei Federal Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Dispõe sobre a atualização do marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 23 ago. 2022.
- BRASIL. Lei Federal Nº 9.976, de 03 de julho de 2000. Dispõe sobre a produção de cloro e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19976.htm. Acesso em: 15 ago. 2022.
- BRERETON *et al.* Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of Systems and Software**, Elsevier, v. 80, n. 4, p. 571-583, abr./2007.

BRIEN, T. F. O; BOMMARAJU, Tilak V.; HINE, Fumio. **Handbook of Chlor-Alkali Technology**. 5. ed. [S.l.]: Springer, 2005.

CARDOSO, P. C. S. *et al.* **Efeitos biológicos do mercúrio e seus derivados em seres humanos: uma revisão bibliográfica**. *Rev. Paranaense. Med.*, Curitiba, v. 15, n. 4, p. 51-58, 2001.

CUNHA, Carlos Thiago Candido. **Desenvolvimento de diafragmas poliméricos aplicáveis na produção eletrolítica de Cloro-Soda**. 2015. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, 2015.

DIAS, Debora Araújo. **A Química do Cloro: Importância, Implicações e Elemento Motivador no Ensino de Química**. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

DUARTE, P. A. F. **Novos poluentes: principais impactos de compostos desreguladores endócrinos na saúde pública**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

FERNANDES, Eduardo; GUIMARÃES, Bruna de Almeida; GLÓRIA, Ana Maria da Silva. **O setor de soda-cloro no Brasil e no mundo**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 29, p. 279-320, mar. 2009.

FREITAS, N. B. B. **Controle social do risco e da saúde dos trabalhadores: o caso da indústria de cloro-soda**. Dissertação de Mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública, Fiocruz, Rio de Janeiro, 1994.

JARDIN JÚNIOR, R. N. **Modelagem matemática de um processo industrial de produção de cloro e soda por eletrólise de salmoura visando sua otimização**. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

LIMA, P. R. **Investigação da formação e efeitos do clorato sobre a reação de desprendimento de hidrogênio no processo de cloro-soda com tecnologia de diafragma**. Dissertação (Mestrado em Química; Biotecnologia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

MOURA JUNIOR, Celso Fidelis de. **Desenvolvimento e avaliação de diafragmas poliméricos para aplicação no processo de produção eletrolítica de cloro-soda**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, 2018.

OFFSHORE TECHNOLOGY. **China set to drive global chlorine capacity growth by 2024**. Disponível em: <https://www.offshore-technology.com/comment/chlorine-growth-2024/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ROLAND, E.; Kleinschmit, P. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. 5a. ed., vol. A28 (B. Elvers e S. Hawkins, eds.) VCH, Weinheim, 1996.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Revista Brasileira de Fisioterapia. São Carlos, v. 11, n.1, p.83-89, jan./fev. 2007.

SCLIAR, C. **Amianto: Mineral Mágico ou Maldito?** Ecologia Humana e Disputa Político-Econômica. Belo Horizonte: CDI., 1998.

VIANA, Kaline Melo Souto. **Diafragmas de PEUAPM para aplicação no processo de produção eletrolítica de cloro-soda**. Campina Grande, 2009.