

**CENTRO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
3º MTEC-PI Química**

**Caio Freire Moreira
Clara Carvalho Padovani
Fabrício Gabriel Sapatin**

**SÍNTESE DE HIPOCLORITO DE SÓDIO (NACLO) UTILIZANDO
RESÍDUO DE SALMOURA APLICANDO OS PRINCÍPIOS DE
ECONOMIA CIRCULAR**

**Limeira – SP
2025**

SÍNTESE DE HIPOCLORITO DE SÓDIO (NACLO) UTILIZANDO RESÍDUO DE SALMOURA APLICANDO OS PRINCÍPIOS DE ECONOMIA CIRCULAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da Etec Trajano Camargo, orientado pelos professores Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Ricardo Francischetti Jacob como requisito parcial para obtenção do título em Química

Orientador: Prof. Gislaine Aparecida Barana Delbianco

**Limeira – SP
2025**

SÍNTESE DE HIPOCLORITO DE SÓDIO (NACLO) UTILIZANDO RESÍDUO DE SALMOURA APLICANDO OS PRINCÍPIOS DE ECONOMIA CIRCULAR

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, apresentado à Etec Trajano Camargo – Limeira, no Sistema de Ensino Presencial Conectado, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Química, com nota final igual a ____, conferida pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Orientador
Etec Trajano Camargo de Limeira

Prof. Membro 2
Etec Trajano Camargo de Limeira

Prof. Membro 3
Etec Trajano Camargo de Limeira

Limeira
2025

Limeira, ____ de _____ de 20 ____.

Dedicamos, sobretudo, a Deus, por nos proporcionar discernimento e sabedoria para a realização deste projeto e, aos familiares, por serem alicerce e amparo no decorrer do ciclo acadêmico.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a todos que nos incentivaram ao longo deste caminho de conhecimento. Agradecemos especialmente aos nossos professores orientadores, Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Ricardo Francischetti Jacob, por sua orientação e apoio indispensáveis durante a elaboração deste trabalho. Agradecemos também aos nossos familiares, pelo apoio e compreensão, e aos colegas de turma, pela colaboração e por todos esses anos de convivência. Reconhecemos o empenho e a dedicação incansáveis de nosso grupo, que se manteve firme na busca pela excelência e pelo aprofundamento da pesquisa

"Compreender a água é compreender o planeta.
Sem ciência, esse entendimento seca." (Autor:
desconhecido)

RESUMO

A salinização do solo, agravada pelo descarte inadequado de salmoura rica em cloreto de sódio, prejudica o crescimento das plantas e reduz a biodiversidade. A eletrólise da salmoura apresenta-se como alternativa útil, permitindo produzir hipoclorito de sódio (NaClO), composto amplamente empregado em desinfecção e tratamento de água. O projeto teve como objetivo transformar esse resíduo em NaClO por meio da eletrólise, além de estudar e aplicar seus conceitos teóricos e práticos. A eletrólise, processo não espontâneo que converte energia elétrica em energia química, promove oxidação no ânodo e redução no cátodo. O NaClO formado atua como desinfetante, e sua ação depende do pH. Sua concentração é determinada por iodometria, que mede o poder oxidante da solução por meio de titulação com tiosulfato. O procedimento incluiu padronizar a salmoura e realizar a eletrólise com ânodo de grafite e cátodo de aço inox. O cloro gerado reagiu com a água e com íons OH^- para formar hipoclorito, posteriormente filtrado, armazenado e analisado. Os testes mostraram pH ácido no ânodo (≈ 1) e alcalino no cátodo (≈ 12). Uma segunda eletrólise sob agitação não conseguiu elevar a concentração de NaClO, que permaneceu em 0,1%, muito abaixo dos valores comerciais (2–2,5%); além disso, o pH final entre 7 e 8 não favoreceu a estabilidade do composto. Concluiu-se que a baixa concentração inicial de sal e o curto tempo de eletrólise reduziram o rendimento, recomendando-se tempos maiores de operação.

Palavras-chave: Salinização. Salmoura. Eletrólise. Água Sanitária. Resíduo.

ABSTRACT

Soil salinization, aggravated by the improper disposal of brine rich in sodium chloride, impairs plant growth and reduces biodiversity. Brine electrolysis is a useful alternative, allowing the production of sodium hypochlorite (NaClO), a compound widely used in disinfection and water treatment. The project aimed to transform this waste into NaClO through electrolysis, in addition to studying and applying its theoretical and practical concepts. Electrolysis, a non-spontaneous process that converts electrical energy into chemical energy, promotes oxidation at the anode and reduction at the cathode. The NaClO formed acts as a disinfectant, and its action depends on the pH. Its concentration is determined by iodometry, which measures the oxidizing power of the solution through titration with thiosulfate. The procedure included standardizing the brine and performing electrolysis with a graphite anode and stainless steel cathode. The chlorine generated reacted with water and OH^- ions to form hypochlorite, which was subsequently filtered, stored, and analyzed. The tests showed acidic pH at the anode (≈ 1) and alkaline pH at the cathode (≈ 12). A second electrolysis under agitation failed to increase the NaClO concentration, which remained at 0.1%, well below commercial values (2–2.5%); in addition, the final pH between 7 and 8 did not favor the stability of the compound. It was concluded that the low initial salt concentration and short electrolysis time reduced the yield, and longer operating times were recommended.

Keywords: Salinization. Brine. Electrolysis. Sanitary water. Waste.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Introdução e Justificativa	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Histórico e Morfologia dos Usos da Salmoura	14
3.2 Aplicação dos Sais	14
3.3 Sobre o Resíduo de Salmoura.....	15
3.4 Problemática de Resíduos da Salmoura.....	16
3.5 Eletrólise	17
3.5.1 princípio da eletrólise.....	17
3.5.2 leis de faraday	18
3.5.3 processo de eletrólise.....	19
3.5.4 eletrólise do nacl.....	20
3.5.5 legislação vigente	23
3.6 Produtos Sintetizados na Eletrólise	24
3.6.1 hipoclorito de sódio (naclo)	24
3.6.2 hidróxido de sódio (NaOH)	25
3.6.3 subproduto – gás cloro (Cl ₂).....	26
3.7 Eletrólise do Sal no Tratamento de Águas.....	28
3.8 Inteligência Artificial Generativa.....	29
3.9 Determinação de Cloreto.....	31
3.9.1 método de mohr	31
3.9.2 método de fajans	32
3.10 Economia Circular	32
3.11 pH e pHmetro	34
3.12 Determinação de Hipoclorito	35
3.12.1 método iodométrico	35
4 METODOLOGIA.....	37
4.1 Coleta da Amostra.....	38
4.1.2. padronização da salmoura	38
4.1.3 preparo da solução da salmoura de nacl a 22%	38
4.2 Decomposição da Salmoura por eletrolise	39
4.2.1 Montagem do Sistema da Eletrólise	39
4.3 Filtração e Armazenamento.....	42
4.4 Testes	42
4.4.1 Determinação do teor de hipoclorito	42
4.4.1.2 Preparação das Soluções.....	43

4.4.1.3 Leitura de Resultados.....	44
4.4.2 Teste de pH.....	45
5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS	46
5.1 Coleta da amostra	46
5.2 Decomposição da salmoura por eletrólise	47
5.2.1 Montagem do sistema de eletrólise	47
5.2.2 Processo de eletrólise	48
5.2.1 eletrólise da salmoura.....	48
5.2.2 eletrólise da salmoura sob agitação.....	48
5.2.3 Eletrólise da Salmoura – Água do Mar	49
5.3 Filtração e armazenamento	50
5.4 Testes de caracterização.....	51
5.4.1 Determinação do teor de hipoclorito	51
5.4.2 Teste de pH.....	51
5.5 Modelo Canvas de Negócios.....	53
5.6 Considerações da Banca.....	54
6 CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	57

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e Justificativa

A salinização do solo ocorre quando há um aumento excessivo de sais, dificultando o crescimento das plantas e podendo ser tóxico para a vida. Esse processo pode ocorrer naturalmente, como em desertos, ou ser intensificado pela ação humana, como no uso inadequado da irrigação ou no descarte de salmoura de processos industriais. Isso prejudica a agricultura e reduz a biodiversidade, pois muitas espécies não conseguem sobreviver ao excesso de sal (ONU, 2021; VISRAM, 2023).

A salmoura é uma solução com alta concentração de cloreto de sódio (NaCl) e outros sais. Quando descartada de forma inadequada, pode aumentar a salinidade de corpos d'água e prejudicar a vida marinha, além de contaminar os aquíferos. Nos Estados Unidos, os métodos de gestão incluem descarte em águas de superfície, injeção profunda e lagos de evaporação, mas esses métodos podem não ser viáveis a longo prazo devido a regulamentações ambientais mais rígidas (PENA, 2024; VISRAM, 2023).

A eletrólise aquosa de NaCl (cloreto de sódio) é um processo eletroquímico fundamental na produção de diversos compostos químicos, incluindo o hipoclorito de sódio (NaClO). Quando uma solução aquosa de NaCl é submetida a corrente elétrica, ela se decompõe, liberando gás cloro (Cl_2) no ânodo, gás hidrogênio (H_2) no cátodo e gerando íons hidróxido (OH^-) na solução. O cloro liberado no ânodo reage com a água presente na solução para formar hipoclorito de sódio, um poderoso agente oxidante utilizado em diversos setores, como no tratamento de água e desinfecção de superfícies. O processo de eletrólise é uma aplicação direta da teoria de reações redox, onde ocorrem oxidação e redução nos respectivos eletrodos. O hipoclorito de sódio gerado é amplamente utilizado na purificação de água potável, nas indústrias alimentícias, e no tratamento de efluentes (XEQUEMATEENEM, 2021; MIGRAAMBIENTAL, 2023)

A produção de hipoclorito de sódio por eletrólise envolve a reação do cloreto de sódio com a água, resultando em um composto que se torna altamente eficaz como desinfetante. O hipoclorito de sódio é uma substância extremamente versátil, usada principalmente no tratamento de água e esgoto, mas também em desinfecção hospitalar, limpeza de alimentos e em processos industriais. Na água sanitária, por exemplo, o hipoclorito de sódio é diluído, tornando-se seguro para uso doméstico.

Esse composto também é utilizado na indústria têxtil para branqueamento de tecidos e na limpeza de piscinas, onde ajuda a manter a água livre de micro-organismos patogênicos. A utilização do hipoclorito de sódio se expande em diversos outros setores devido à sua capacidade de eliminar bactérias, vírus e fungos, tornando-se essencial para garantir a saúde pública e a qualidade ambiental (FERNANDO, 2024; BASEQUÍMICA, s.d)

O processo requer uma quantidade significativa de energia elétrica, o que pode tornar a produção do composto um processo caro. Esse fator impacta diretamente o custo da água dessalinizada, onde o hipoclorito de sódio é utilizado para tornar a água potável, especialmente em regiões com escassez de fontes naturais de água doce. A utilização de métodos mais eficientes e a redução dos custos operacionais da eletrólise são aspectos importantes a serem considerados para a ampliação do uso de hipoclorito em diversas aplicações. A eletrólise, portanto, não é apenas fundamental para a produção de hipoclorito de sódio, mas também desempenha um papel essencial na produção de cloro e soda cáustica, compostos amplamente utilizados em diferentes indústrias (XEQUEMATEENEM, 2021; MIGRAAMBIENTAL, 2023).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Utilizar o resíduo da salmoura (cujo descarte indevido no meio ambiente causa aumento da salinidade no solo), para a produção de hipoclorito de sódio (NaClO), utilizando o processo físico-químico Eletrólise.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar os conceitos de Eletrólise;
- Preparar um circuito de Eletrólise;
- Observar o processo da Eletrólise na prática;
- Discutir as características visíveis do hipoclorito de sódio (NaClO) gerado;
- Utilizar o método analítico de Mohr para quantificar íons cloreto do hipoclorito gerado;
- Calcular o rendimento da reação;
- Comparar dados estatísticos e eficiência da solução preparada com a comercializada

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Histórico e Morfologia dos Usos da Salmoura

Cedo o homem descobriu o valor do sal. A substância é vital à nossa sobrevivência. Intuitivamente, o homem sempre soube disso. Inicialmente, retirava o sal da carne de caça. No período da Pré-História conhecido como Neolítico, quando começamos a nos dedicar à agricultura, surgiu a necessidade de novas fontes de sal (um tempero para os vegetais). Os arqueólogos contam que o homem desenvolveu, então, técnicas para extração em pontos tão díspares quanto China e Roma. Os chineses obtinham a substância com a fervura da água do mar em vasilhas de barro. Os romanos usavam cerâmica para fazer a secagem e, depois, quebravam os utensílios para retirar o bloco salgado. (FLEURY, 2013).

Muito antes da invenção do congelador, o homem descobriu utilidades extras para o mineral, como polir o cobre e preservar os alimentos. Em altas concentrações, o sal inibe a proliferação de micro-organismos e aumenta a vida útil dos perecíveis. A indústria, que afirma que hoje a produção mundial do mineral já ultrapassa as 210 milhões de toneladas anuais, propagandeia outros 13.987 usos para o produto. Isso inclui alguns muito úteis, como o degelo da neve que encobre as ruas em países de clima frio. (FLEURY, 2013).

Sob condições ainda desconhecidas, partículas de sais, chamadas Fleur del sel (flor de sal), podem se formar na superfície da água salina. A fim de estudar a morfologia e a microestrutura desses cristais em diferentes condições de densidade e sob influência de uma descarga de plasma atmosférico, amostras de água salina foram inseridas em recipientes plásticos e aquecidas a 40°C. A superfície foi exposta à temperatura ambiente, 25°C, e dividida em dois lados. Um lado foi submetido a uma descarga de plasma atmosférico. Os cristais formados foram coletados e estudados por MEV, DRXe análises químicas. O plasma atmosférico, além de promover a nucleação gerando uma maior massa e maior número de cristais menores, também provocou aumento na cristalinidade do material. A cristalização de NaCl é bastante complexa, e tem sido estudada desde muitos anos atrás sob diferentes condições. (ALMADA, 2019).

3.2 Aplicação dos Sais

Segundo Dias (2024), além de ser utilizado para salgar os alimentos, o cloreto de sódio pode ser utilizado ainda nas seguintes situações:

- Produção de xampus;
- Produção de papel;
- Produção de Hidróxido de sódio (NaOH);
- Produção de detergentes;
- Produção de sabões;
- Derretimento da neve em locais que sofrem com nevascas;
- Produção de sódio metálico;
- Produção de gás cloro;
- Em isotônicos para reposição eletrolítica corporal
- Em soluções descongestionantes nasais;
- Produção do soro fisiológico; entre outras aplicações.

A coagulação é a etapa mais decisiva na produção de queijos, a qual visa concentrar a proteína do leite, retendo também a gordura. Para tal, é nessa fase produtiva que é necessária a adição do coalho. O coalho ou renina não é mais que uma mistura de enzimas (ex. quimosina e pepsina) que quando adicionado ao leite produz a primeira etapa de formação do queijo, a coagulação. (FERNANDES, 2015).

A adição de cloreto de sódio (NaCl) no leite prolonga o tempo de coagulação quando se está a usar esta enzima, enquanto que a adição de cloreto de cálcio (CaCl₂) o reduz consideravelmente. Este extrato é sensível a temperaturas na faixa de 37 a 45°C sendo destruído a temperatura superior a 70°C. (FERNANDES, 2015).

3.3 Sobre o Resíduo de Salmoura

Um dos objetivos da Organização das Nações Unidas é alcançar, até 2020, o manejo ambiental adequado dos produtos químicos e de todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionalmente acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e meio ambiente (CARNAÚBA, 2018).

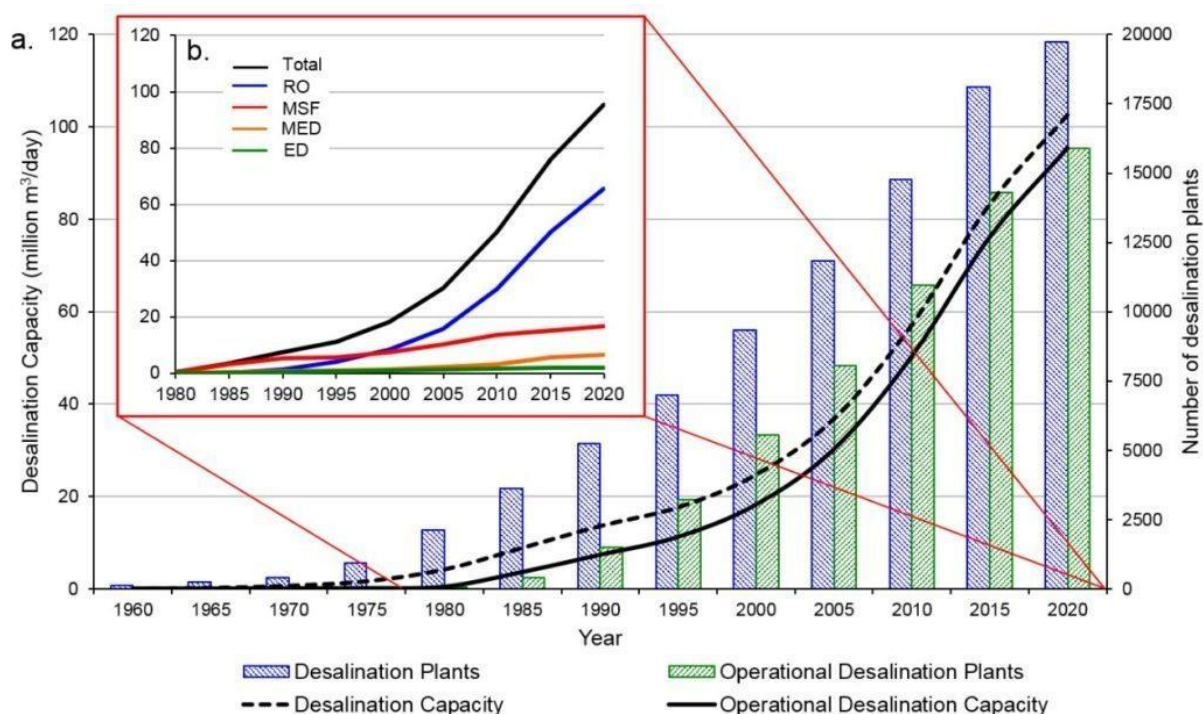
Os resíduos de salmoura são normalmente reciclados para uso no processo da instalação ou tratados (juntamente com o tratamento de efluentes industriais) para descarte. Por exemplo, sabe-se que soluções com alta concentração de sal reduzem a condutividade térmica, portanto, os resíduos de salmoura são frequentemente reciclados e reutilizados como agente de resfriamento para trocadores de calor de aço em muitas usinas de energia. Esse tipo de salmoura é frequentemente tratado para

remover oxigênio dissolvido e outros contaminantes nocivos, uma vez que os resíduos de salmoura podem ser altamente corrosivos para as máquinas e tubulações da usina se não forem tratados, e a presença de oxigênio dissolvido e outros contaminantes pode aumentar esse risco (SAMCOTECH, 2017).

3.4 Problemática de Resíduos da Salmoura

Em um documento apoiado pela ONU (The state of desalination and brine production: A global outlook), especialistas estimam a capacidade de produção de água doce das usinas de dessalinização em 95 milhões de metros cúbicos por dia – igual a quase metade do fluxo médio sobre as Cataratas do Niágara. Para cada litro de produção de água doce, no entanto, as plantas de dessalinização produzem em média 1,5 litros de salmoura (embora os valores variem drasticamente, dependendo da tecnologia de salinidade e dessalinização da água de alimentação utilizada e das condições locais). Globalmente, as usinas agora descarregam 142 milhões de metros cúbicos de salmoura hipersalina todos os dias (um aumento de 50% em avaliações anteriores). (AFONSO, SILVA, 2019).

Figura 1. Capacidade de dessalinização



Fonte: Ecodebate, 2019

A indústria de dessalinização em rápido crescimento produz água potável e para a agricultura nas regiões costeiras áridas no mundo. Mas deixa para trás como resíduo uma grande quantidade de salmoura altamente concentrada, que é descartada geralmente despejando-a de volta no mar, um processo que requer sistemas de bombeamento caros e que deve ser cuidadosamente gerenciado para evitar danos aos ecossistemas marinhos. Agora, engenheiros do MIT dizem que encontraram uma maneira melhor. (DAVID, 2019).

Figura 2. Solo prejudicado pela salinização



Fonte: Toda Matéria, 2025

Em novo estudo, eles mostram que, através de um processo bastante simples, o efluente pode ser convertido em produtos químicos, incluindo aqueles que podem tornar o processo de dessalinização em si mais eficiente. (DAVID, 2019).

3.5 Eletrólise

3.5.1 princípio da eletrólise

Etimologicamente, eletrólise significa “decomposição pela eletricidade”. A eletrólise é, assim, um processo que utiliza corrente elétrica para promover uma reação química não espontânea. Para isso, um gerador de corrente elétrica contínua é ligado aos elétrodos de uma célula eletrolítica forçando os eletrões a participar em reações provocadas de oxidação num dos elétrodos (o ânodo) e de redução no outro elétrodo (o cátodo) (FERNANDES, 2015).

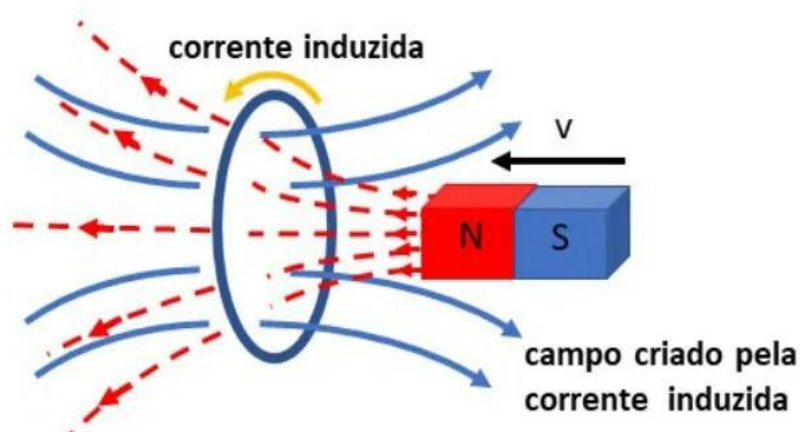
A eletrólise é um processo químico não espontâneo no qual ocorre a decomposiçãoeletrouímica de uma substância pela passagem da corrente elétrica, ou seja, a conversão de energia elétrica em energia química (HAMANN *et al.*, 2007).

A corrente elétrica que flui em um sistema eletroquímico promove reações de oxidação e redução das espécies envolvidas. Um sistema eletroquímico possui, no mínimo, dois condutores eletrônicos (chamados de eletrodos) imersos em um condutor eletrolítico (eletrólito). Os eletrodos e os eletrólitos são componentes básicos nos quais ocorrem os fenômenos eletroquímicos, podendo participar ou não das reações químicas (TICIANELLI;GONZALEZ, 2005).

3.5.2 leis de faraday

O cientista Michael Faraday propôs regras para a compreensão da eletrólise a partir de experimentos divulgados em 1834. A eletrólise é o processo em que a corrente elétrica determina reações químicas. Pelo conhecimento desse processo, o cientista propôs as chamadas leis da eletrólise ou Leis de Faraday. As Leis de Faraday ajudam na compreensão da massa corroída e do processo de eletrodecomposição dos minérios (ASHT, 2024).

Figura 3. Esquema Leis de Faraday



Fonte: Ecodebate, 2019

A Primeira Lei de Faraday aponta que "a massa de um elemento, depositada durante o processo de eletrólise, é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade que atravessa a célula eletrolítica".

$$Q = i \cdot t$$

Na equação, Q representa a carga elétrica medida em coulombs (C). A letra i representa a corrente elétrica, cuja unidade de medida o ampère (A). E, por fim, a letra t está representando o intervalo de tempo da passagem da corrente elétrica em segundos (s) (ASHT, 2024).

A segunda lei diz: "Empregando-se a mesma quantidade de carga elétrica (Q) em diversos eletrólitos, a massa da substância eletrolisada, em qualquer dos eletrodos, é diretamente proporcional ao equivalente-grama da substância."

$$m = k_2 \cdot E$$

m = massa da substância (g)

k_2 = constante de proporcionalidade

E = equivalente-grama

Unindo as duas leis, temos:

$$m = k \cdot E \cdot Q \text{ (SóQuímica, 2024).}$$

3.5.3 processo de eletrólise

A eletrólise é composta por quatro partes:

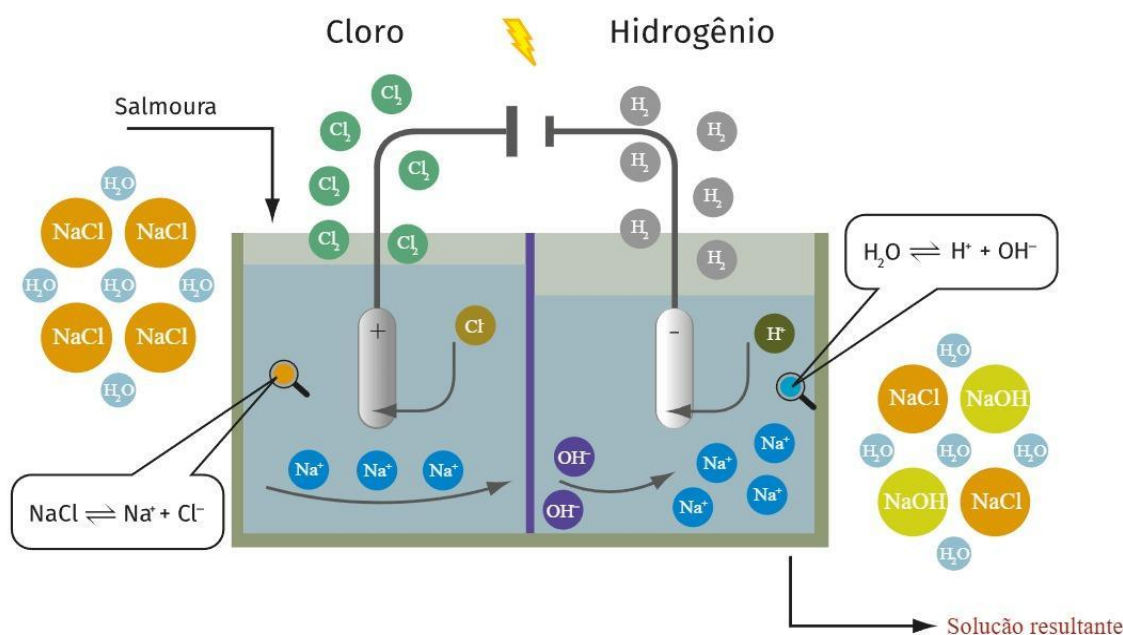
- Uma fonte de corrente contínua;
- Dois eletrodos;
- Um eletrólito;
- Cuba eletrolítica, que é o recipiente onde ocorre a reação global (ECYCLE, 2024).

Para acontecer a eletrólise necessita de uma fonte de energia, o que torna o processo não espontâneo. A eletrólise depende de um fluxo constante de energia para funcionar (FERNANDES, 2019).

São utilizadas, então, fontes de alimentação para que isso aconteça, como baterias, pilhas ou geradores. Essa fonte de energia é quem vai fazer com que os eletrodos funcionem. Esses eletrodos são partes essenciais para o esquema da eletrólise. Eles são, na maioria das vezes, feitos de grafita (ou grafite, composto por carbono) ou de platina (FERNANDES, 2019).

Para uma melhor compreensão da eletrólise, segue abaixo um esquema desse processo:

Figura 4. Esquema da eletrólise



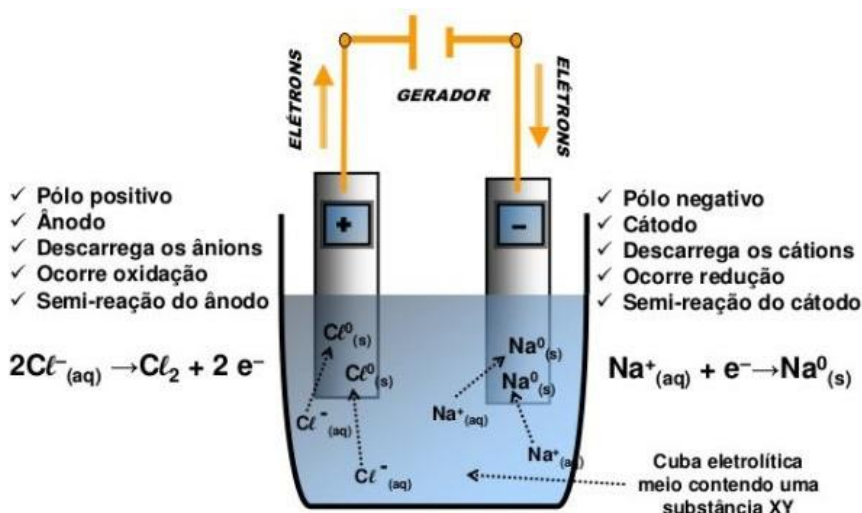
Fonte: Contieri, 2021

Esses materiais servem como condutores elétricos das ondas que são enviadas por fios ligados as fontes de energia. O grafite, apesar de ser um ametal, é um ótimo condutor de energia. Todo o processo acontece em um recipiente chamado de cuba eletrolítica (FERNANDES, 2019).

3.5.4 eletrólise do nacl

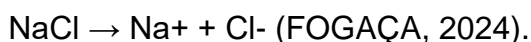
A eletrólise é aplicada na produção de metais, como Na, K, Mg, Al, de ametais, como Cl_2 e F_2 , e de hidróxido de sódio (NaOH). A eletrólise é, também, usada no processo de galvanização, que se trata da deposição de finas películas de metais sobre peças metálicas ou plásticas, tornando-as mais bonitas, brilhantes e valiosas, e aumentando sua resistência à corrosão (NAHRA, 2022).

Figura 5.Mecanismo de eletrólise

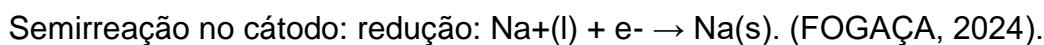


Fonte: LOPES, 2018

A eletrólise ígnea do sal produz o gás cloro (Cl_2) e o sódio metálico (Na), substâncias que não são encontradas na natureza nessa forma. O sal funde-se a uma temperatura aproximada de 800°C e, no estado líquido, o NaCl sofre dissociação, produzindo os seguintes íons:



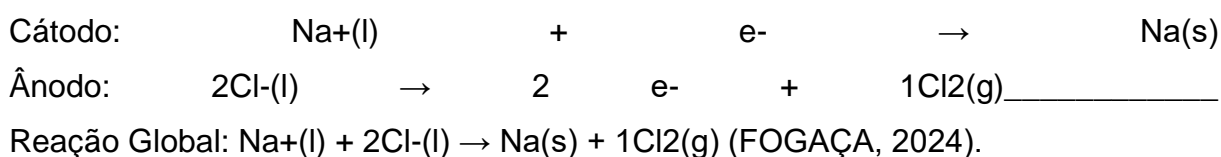
O polo negativo da bateria fornece elétrons para um dos eletrodos, que se torna o cátodo ou polo negativo. Visto que ele é negativo, ele atrai os cátions Na^{+} que estão no líquido. Esses íons recebem os elétrons do cátodo e, nesse eletrodo, ocorre a seguinte semirreação de redução:



Nesse eletrodo foi formado o primeiro produto, que é o sódio metálico. Por outro lado, o outro eletrodo torna-se o ânodo, pois está carregado positivamente, atraindo os ânions Cl^{-} , que perderão seus elétrons, sofrendo oxidação. O gás cloro fica borbulhando ao redor do ânodo:



Assim, a reação global da eletrólise ígnea do sal é:



Na solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl (aq)), temos:

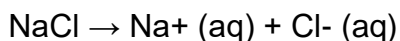
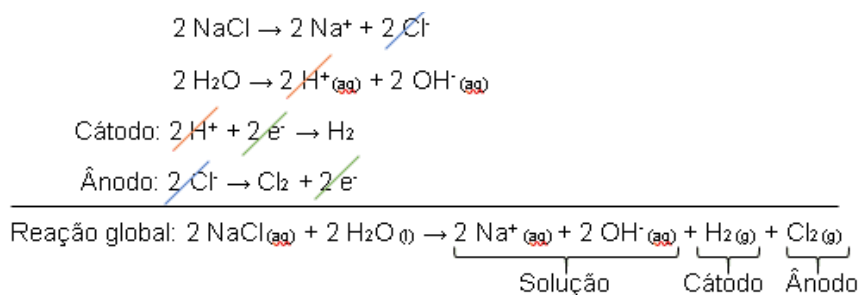


Figura 6. Semi reação de eletrólise

	Cátodo	Ânodo
Migração de íons	H^+ e Na^+	Cl^- e OH^-
Facilidade de descarga	$\text{H}^+ > \text{Na}^+$	$\text{Cl}^- > \text{OH}^-$
Semi-reação	Redução $2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	Oxidação $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$
Íons presentes na solução	Na^+	OH^-

Fonte: NAHRA, 2022)

Figura 7. Reação global



Fonte: NAHRA, 2022

A reação global do processo é obtida a partir da soma das quatro equações acima. Na eletrólise do NaCl (aq), é possível obter soda cáustica (NaOH), gás hidrogênio (H₂) e gás cloro (Cl₂). A presença de OH⁻ ao final do processo de eletrólise caracteriza soluções básicas (NAHRA, 2022).

3.5.5 legislação vigente

Art. 1º A produção de cloro pelo processo de eletrólise em todo o território nacional sujeita-se às normas estabelecidas nesta Lei.

Art. 2º Ficam mantidas as tecnologias atualmente em uso no País para a produção de cloro pelo processo de eletrólise, desde que observadas as seguintes práticas pelas indústrias produtoras:

I – cumprimento da legislação de segurança, saúde no trabalho e meio ambiente vigente;

II – análise de riscos com base em regulamentos e normas legais vigentes;

III – plano interno de proteção à comunidade interna e externa em situações de emergência;

IV – plano de proteção ambiental que inclua o registro das emissões;

X – plano de automonitoramento de efluentes gerados, especificando:

a. forma e metodologia do monitoramento;

b. estratégia de amostragem;

c. registro e disponibilização dos resultados médios de monitoramento.

Art. 5º A utilização de novas tecnologias de produção de cloro dependerá de autorizações e avaliações de riscos previstas em lei.

Art. 6º As indústrias de cloro pelo processo de eletrólise deverão manter nos estabelecimentos, em local de fácil acesso, para fins de fiscalização, as informações sobre o automonitoramento e demais itens do art. 2º desta Lei.

Art. 8º Na hipótese de infração das determinações desta Lei, os órgãos de fiscalização competentes, sem prejuízo de outras cominações legais, aplicarão uma ou mais das seguintes medidas:

I – advertência;

II – multa;

III – suspensão temporária da atividade industrial; e

IV – suspensão definitiva da atividade industrial.

Art. 9º O Poder Executivo regulamentará esta Lei no prazo de cento e oitenta dias de sua publicação.

Art. 10. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação (BRASIL, 2000).

3.6 Produtos Sintetizados na Eletrólise

3.6.1 hipoclorito de sódio (naclo)

Hipoclorito de sódio é um desinfetante químico indicado para limpeza e desinfecção profunda de superfícies. Geralmente, o hipoclorito de sódio é encontrado em farmácias ou supermercados na forma de solução até 2,5%, sendo importante diluir corretamente o produto em água antes de utilizar para atingir uma concentração de 0,05 a 1% (COSTA, 2025).

As soluções comerciais de hipoclorito costumam ter a presença de hidróxido de sódio, NaOH, o que faz o pH ser elevado e maior que 12. Quando dissolvido em água, o hipoclorito de sódio acaba sendo decomposto em dois compostos similares, muito atrelados ao mecanismo de desinfecção dessa substância (o seu principal uso): o ácido hipocloroso, HClO, altamente desinfetante, e o ânion hipoclorito, ClO⁻, com menor poder desinfetante. A proporção HClO/ClO⁻ é consequência direta do pH (NOVAIS, 2025).

O hipoclorito de sódio, também conhecido como água sanitária ou lixívia tem ação corrosiva e pode provocar irritação nos olhos, pele ou vias respiratórias, sendo importante alguns cuidados durante a sua utilização (COSTA, 2025)

O hipoclorito de sódio é amplamente utilizado em muitos setores para fins de limpeza e desinfecção. É utilizado para uma variedade de finalidades, tais como:

Tratamento de água e esgoto, em empresas públicas e privadas como prefeituras e saneamento básico.

Limpeza e higienização nas indústrias de todos os setores e em estações de tratamento de águas.

Limpeza de roupas, lavanderias e tinturarias na indústria têxtil.

Limpeza de jardins e piscinas: pode ser usado como desinfetante para água em jardins e piscinas.

Indústria alimentícia: utilizado para limpar e desinfetar equipamentos e superfícies em contato com alimentos.

Hospitais e clínicas: utilizado como desinfetante para limpeza de áreas críticas e superfícies.

Setores públicos e privados no tratamento da água potável e saneamento básico.

Tratamento em estações de resíduos nas indústrias (BASEQUIMICA. 2025).

O uso do hipoclorito de sódio na limpeza doméstica, ele é transformado em água

sanitária, saindo da concentração de 12% para 1%, se tornando menos agressivo e sem perigo para o ambiente e manipulação (BASEQUIMICA, 2025). Serve para limpar superfícies, clarear a roupa branca, fazer as lavagens de verduras e também para purificar a água para consumo humano, reduzindo as chances de contaminação por vírus, parasitas e bactérias, que causam doenças como diarreia, hepatite A, cólera ou rotavírus (GONÇALVES, 2021).

O hipoclorito de sódio, quando utilizado corretamente, é uma ferramenta eficaz para desinfecção e limpeza. No entanto, o uso inadequado deste composto pode levar a sérios riscos para a saúde e segurança, além de causar danos materiais significativos. Abaixo, detalhamos esses riscos e a importância de aderir às instruções de uso (AVANZI QUÍMICA, 2024).

O hipoclorito de sódio que manipulamos no cotidiano merece bastante atenção, justamente por ser uma solução bastante oxidante e corrosiva. Seu contato com a pele e mucosas pode gerar irritações severas, podendo, inclusive, causar queimaduras na pele e nos olhos. A inalação de solução de hipoclorito de sódio pode causar irritações nas vias respiratórias e na garganta, além de irritação nos pulmões. Uma inalação mais acentuada pode gerar um edema pulmonar (formação de líquidos nos pulmões). Outros efeitos citados são dores de cabeça, confusão mental, náusea e vômito. (NOVAIS, 2025).

O hipoclorito de sódio anidro apresenta uma massa molar de 74,442 g/mol, sendo estável em solução aquosa e com grande solubilidade (79,9 g para cada 100 g de H₂O). Contudo, fora da solução aquosa, na sua forma anidra, é instável, podendo se decompor explosivamente, não apresentando dados referentes à densidade e temperaturas de mudança de fase nessa forma. Porém, numa solução aquosa de concentração 5,5% em massa, o hipoclorito de sódio apresenta uma densidade de 1,1 g/mL. (NOVAIS, 2025).

3.6.2 hidróxido de sódio (NaOH)

O hidróxido de sódio é um composto inorgânico formado por íons de sódio (Na⁺) e hidroxila (OH⁻) cuja fórmula química é dada por NaOH. Além disso é classificado como uma base forte, o que significa que seus íons se dissociam completamente em meio aquoso, liberando OH⁻, conferindo à solução um pH elevado e caráter fortemente alcalino (GONÇALVES, 2025).

O hidróxido de sódio não é uma substância que ocorre naturalmente na

natureza. Sendo obtido de forma sintética e depois comercializado. A obtenção do hidróxido de sódio ocorre, sobretudo, por meio de um processo industrial conhecido como eletrólise da salmoura (GONÇALVES, 2025).

Embora o uso doméstico mais conhecido para o hidróxido de sódio seja o desentupimento de canos, esse composto é também muito utilizado na área industrial para fabricação de diversos produtos de limpeza, combustíveis, tecidos, dentre outros. Algumas aplicações e utilidades são:

- Limpezas pesadas e domésticas;
- Desentupimento de pias e ralos;
- Produção de sabão e glicerina;
- Produção de tecidos e papel;
- Fabricação de produtos domésticos;
- Obtenção de sais de sódio (BATISTA, 2025).

O hidróxido de sódio (NaOH) é altamente reativo e essencial em diversas reações químicas industriais e de laboratório. Uma de suas aplicações mais notáveis é na saponificação, onde reage com gorduras e óleos para produzir sabão (como o estearato de sódio, um sal de ácido carboxílico de cadeia longa), sendo um componente chave na fabricação de sabão em barra. O NaOH também é fundamental na produção de sais por meio de reações de neutralização, como evidenciado na reação com o gás carbônico (CO₂), que resulta na formação de carbonato de sódio (Na₂CO₃) e água (BATISTA, 2025).

Além do seu papel na síntese de produtos, a facilidade com que o hidróxido de sódio reage com ácidos o torna uma ferramenta valiosa em laboratórios de química. Ele é amplamente utilizado para quantificar substâncias ácidas através da titulação ácido-base. Nessa técnica analítica, a solução de NaOH (uma base forte de concentração conhecida) é adicionada gradualmente a uma solução ácida, permitindo a determinação precisa da concentração do ácido (BATISTA, 2025).

3.6.3 subproduto – gás cloro (Cl₂).

O cloro é um gás tóxico com caráter irritante respiratório e de coloração amarelo-esverdeada. Devido a sua alta reatividade e solubilidade intermediária em água pode causar danos agudos ao trato respiratório superior e inferior (VIANNA, 2023).

É encontrado em vários processos industriais, incluindo aqueles usados para a fabricação de pesticidas, plásticos, solventes, alvejantes em papel e tecido, detergentes, bem como para o tratamento de água potável e de piscinas (VIANNA, 2023).

Seus efeitos tóxicos afetam principalmente as vias aéreas. Dependendo da dose e da duração da exposição, os casos podem variar de leve, com irritação transitória da mucosa, a grave, com acometimento da árvore traqueobrônquica (bronquite crônica), do parênquima pulmonar (edema pulmonar, síndrome do desconforto respiratório agudo) e, eventualmente, pode levar à morte (VIANNA, 2023).

As propriedades oxidantes e desinfetantes do gás cloro são amplamente empregadas em produtos de limpeza domésticos e industriais e na manutenção de piscinas. A função branqueadora do cloro é explorada na produção de papel e de tecidos (LIMA, 2025).

O cloro participa da cadeia de produção do cloreto de vinila, que é matéria-prima para o polímero policloreto de vinila, popularmente conhecido como PVC. Outros polímeros também demandam cloro para sua produção, como o teflon e algumas borrachas sintéticas (LIMA, 2025).

Para evitar os riscos do cloro, prevenir a exposição é a melhor forma de proteger a saúde. As ações de controle que devem ser consideradas estão abaixo listadas, considerando-se a hierarquia de medidas de controle:

- Uso de controles de engenharia – São processos usados para eliminar a exposição a uma substância, removendo a substância do ar ou criando barreiras entre o trabalhador e o agente. Alguns exemplos são: ventilação local, exaustor ou ventilação geral, enclausuramento de equipamentos, alimentação automática do cloro gasoso nos processos, etc. (ALAGO, 2020).
- Mudanças nas práticas de trabalho para reduzir a exposição (controles administrativos) – Algumas práticas de trabalho incluem o treinamento dos trabalhadores sobre os riscos do cloro. Esse treinamento deve incluir o entendimento da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) e Rotulagem das embalagens, estabelecer boas práticas de higiene, instalação e uso de sistema de alarme para avisar de vazamentos de cloro, armazenamento adequado do cloro, entre outros (ALAGO, 2020).

- Uso de equipamento de proteção individual – Nas situações em que não é possível ou viável a substituição do cloro, ou adoção de controles de engenharia ou controle administrativos, deverá ser fornecido aos trabalhadores equipamentos de proteção individual adequados. Vale lembrar que, no caso de proteção respiratória, o respirador deverá ser escolhido de acordo com a exposição ocupacional existente e deverá ser elaborado o Programa de Proteção Respiratória (PPR) (ALAGO, 2020).

3.7 Eletrólise do Sal no Tratamento de Águas.

A solução mais comum para a desinfecção da água da sua piscina para que se mantenha limpa e clara é a adição de cloro. No entanto, este método tem algumas desvantagens: não é ecológico, pode ser irritante e têm de ser manipulados produtos químicos. Uma alternativa é tratar a sua piscina com eletrólise de sal (ABRISUD, 2025).

Uma piscina com tratamento de sal utiliza dois elementos para criar cloro: cloreto de sódio e energia elétrica. De facto, quando entra em contacto com a tensão elétrica, o sal oxida-se e transforma-se em hipoclorito de sódio, ou cloro natural, que se tornará em cloro ativo quando entrar em contacto com a água para a destruição das algas e das bactérias (ABRISUD, 2025).

Uma vez que o cloro esteja na piscina, é exposto aos raios UV do sol e volta à sua forma de sódio para regressar ao eletrolisador. Assim, este método segue um ciclo contínuo que se renova por si mesmo (ABRISUD, 2025).

Antes de iniciar o tratamento com sal, é crucial garantir que a água da piscina esteja equilibrada quimicamente: [...] Aplique 3,4 kg de sal por metro cúbico de água em vários pontos da piscina, evitando despejá-lo diretamente no compartimento do filtro. Deixe a água circular sem o filtro por cerca de duas horas para garantir que o sal se dissolva completamente. Com a água preparada e o sal dissolvido, prossiga com a instalação do gerador de cloro (GLOBAL TECH, 2024).

De um modo geral, o processo obedece às seguintes fases:

- dissolução de cloreto de sódio;
- purificação da salmoura;
- eletrólise com produção de cloro, hidrogénio e hidróxido de sódio em solução;
- retorno da salmoura diluída para ressaturação (BRAILE, CAVALCANTI,

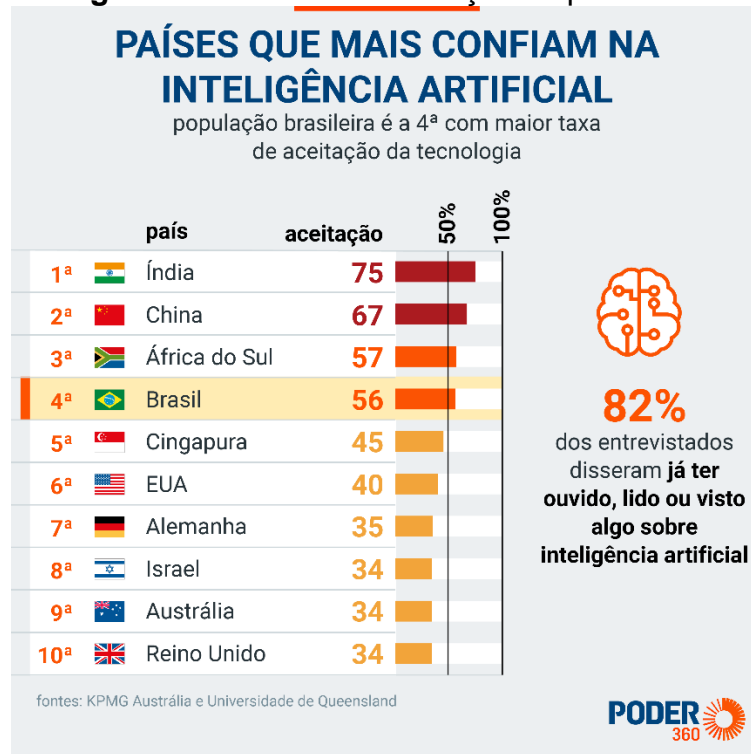
1993).

Embora o tratamento de piscina com sal tenha suas vantagens, é essencial levar em conta alguns aspectos antes de optar por essa opção:

- **Investimento inicial:** A instalação de um sistema de eletrólise salina pode exigir um investimento maior do que o tratamento com cloro tradicional. É importante considerar o custo-benefício a longo prazo (CP LIFE, 2023).
- **Manutenção adequada:** Embora o tratamento com sal reduza a necessidade de produtos químicos adicionais, ainda é fundamental realizar uma manutenção adequada, como testes regulares da água e limpeza do filtro. O gerador de cloro e outros componentes do sistema de eletrólise salina precisam de manutenção periódica (CP LIFE, 2023).
- **Nível adequado de salinidade:** A água da piscina deve ter um nível adequado de salinidade para que o sistema funcione corretamente. É importante seguir as orientações do fabricante e fazer medições regulares (CP LIFE, 2023).

3.8 Inteligência Artificial Generativa

A inteligência artificial generativa é uma tecnologia que permite que um computador crie conteúdo original, como texto, imagens, música ou até mesmo vídeos. Ao contrário da inteligência artificial convencional, que é programada para executar tarefas específicas, a IA generativa é capaz de criar algo novo e inesperado (FORBES, 2023).

Figura 8. Gráfico de confiança dos países em IA**Fonte: ROSSI, 2023**

Essa tecnologia é baseada em algoritmos de aprendizado de máquina que são treinados usando enormes conjuntos de dados. Por exemplo, um algoritmo de aprendizado de máquina pode ser treinado usando milhões de imagens de gatos, o que permite que ele crie suas próprias imagens de gatos (FORBES, 2023).

Com o aumento no interesse em inteligência artificial, têm surgido diversos serviços na internet que utilizam algum tipo de IA generativa. Entretanto, os nomes mais conhecidos são:

DALL-E;

Midjourney;

Github Copilot;

GPT-3 e GPT-4;

Jasper;

Bing Chat;

Google Bard; e

O famoso ChatGPT (SPADINI, 2023).

A ética na inteligência artificial diz respeito ao conjunto de princípios e práticas

que guiam o desenvolvimento e uso responsável das tecnologias de IA. Ela aborda questões como transparência, privacidade, justiça e a minimização de vieses para proteger os direitos humanos e promover impactos positivos na sociedade (FIA, 2024)

Um dos principais desafios éticos da inteligência artificial é a questão da privacidade e proteção de dados. Com a coleta massiva de informações pessoais para treinar algoritmos de IA, surge a preocupação com a segurança e o uso indevido desses dados. É crucial garantir a transparência e a conformidade com regulamentações de privacidade para proteger a privacidade dos usuários e evitar violações éticas (GEAD, 2025).

Outro desafio ético significativo é o viés algorítmico, que envolve a discriminação injusta ou parcialidade nos resultados produzidos por sistemas de IA. Os algoritmos são tão bons quanto os dados com os quais são treinados, e se esses dados contiverem preconceitos, o sistema reproduzirá esses vieses de maneira automática. É fundamental implementar práticas de mitigação de viés e garantir a equidade e a imparcialidade nos sistemas de inteligência artificial (GEAD, 2025).

3.9 Determinação de Cloreto

3.9.1 método de mohl

Dentre os métodos disponíveis para determinação de cloreto, o método argentométrico (precipitação por prata), também conhecido como método de Mohr, é considerado um método direto, e consiste na adição de nitrato de prata até que haja a virada da coloração de amarelo para vermelho tijolo (CRUZ, 2022).

O método de Mohr para a determinação de cloreto envolve a preparação de uma solução de nitrato de prata (AgNO_3) a 0,1 M, utilizando um padrão primário seco a 150°C. Para isso, pesa-se entre 16,0 e 17,0 g de AgNO_3 , que é dissolvido em aproximadamente 500 ml de água destilada e diluído até 1 litro em um balão volumétrico. A concentração exata da solução é calculada a partir da massa pesada. Para testar o título da solução, amostras de NaCl aquecidas são pesadas e tituladas com a solução de AgNO_3 até a primeira mudança de cor persistir (BACCAN, 1995).

O indicador utilizado neste método é uma solução de 5% de cromato de potássio, adicionada em 1 ml para cada 50–100 ml da solução a ser titulada. O ponto final da titulação é identificado pelo aparecimento de um precipitado avermelhado de cromato de prata. É importante que o pH da solução titulada esteja entre 6,5 e 10,5, e que não haja cátions como ferro(III) ou metais como bário e chumbo, que poderiam

interferir na titulação (BACCAN, 1995).

Na análise de uma amostra desconhecida, como uma solução de NaCl ou KCl, a amostra é diluída em um balão volumétrico de 100,0 ml e uma alíquota de 25 ml é pipetada para um erlenmeyer de 250 ml, onde é titulada com a solução de AgNO_3 . A titulação deve ser realizada em duplicata, e a concentração da amostra é calculada em termos de molaridade e em g/l de cloreto. O método de Mohr não é adequado para cloretos que formam soluções ácidas ou que contêm ânions que hidrolizam, como os cloretos de alumínio e ferro (BACCAN, 1995).

3.9.2 método de fajans

A determinação de cloreto usando-se um indicador de adsorção é chamada de método de Fajans. É um método direto, baseado na propriedade que certos compostos orgânicos apresentam ao serem adsorvidos sobre determinados precipitados, sofrendo mudança de cor. O indicador existe na forma de ânion. De um modo geral anion do indicador será atraído e adsorvido por uma camada carregada positivamente. O método apresenta vantagens e desvantagens. A vantagem do método é que é possível determinar iodeto. A grande desvantagem é o alto custo do indicador e em certos indicadores utilizados, o ponto de viragem não é perceptível, pois a cloração vai de amarelo limão a verde limão (BRONDANI, 2025).

A amostra em solução contendo Cl^- é recebida em um balão volumétrico de 100,0 ml e diluída até a marca. Pipeta-se uma alíquota de 25,00 ml desta amostra para um erlenmeyer de 250 ml, adiciona-se mais 25 ml de água destilada, 10 ml de uma suspensão 1% de dextrina e 10 gotas de uma solução de 0,1% de diclorofluoresceína. Titula-se a seguir com a solução-padrão de AgNO_3 0,1 M. É essencial uma agitação forte durante a titulação para se conseguir uma boa viragem do indicador (BACCAN, 1995).

A dextrina é usada para impedir a coagulação excessiva do precipitado no ponto final, mantendo uma superfície exposta maior para a adsorção do indicador, melhorando a detecção do ponto final (BACCAN, 1995).

3.10 Economia Circular

A economia circular é um modelo de produção e de consumo que envolve a partilha, o aluguer, a reutilização, a reparação, a renovação e a reciclagem de materiais e produtos existentes, enquanto possível. Desta forma, o ciclo de vida dos

produtos é alargado (PARLAMENTO EUROPEU, 2024).

Na prática, a economia circular implica a redução do desperdício ou dos resíduos ao mínimo. Quando um produto chega ao fim do seu ciclo de vida, os seus materiais são mantidos dentro da economia sempre que possível graças à reciclagem. E podem, deste modo, ser utilizados uma e outra vez, o que permite criar mais valor (PARLAMENTO EUROPEU, 2024).

Pode parecer muito complicado definir o que é economia circular, mas esse conceito é baseado em três princípios básicos:

1. **Eliminação de rejeitos e poluição:** Este é um princípio que exige das empresas uma nova forma de pensar e questionar a cadeia de suprimentos, evitando a geração excessiva de rejeitos e poluição. Quando isso é feito no início do desenvolvimento do produto, naturalmente o cenário será melhorado. A eliminação do desperdício, sobras e poluição deve então ser aplicada desde a concepção do produto (ou serviço), sendo consideradas todas as etapas, da extração e transformação dos recursos naturais em matéria-prima até o fim do uso dos bens ou serviços (AMBIPAR, 2025).
2. **Manutenção de produtos e materiais em uso:** O segundo princípio mostra que a economia circular caminha em sentido inverso da economia linear. Ela é uma forma de “reimaginar” uma economia que seja capaz de não usar intensamente os recursos finitos. Ao invés disso, ela visa reutilizar ou reciclar produtos. Dessa forma, este princípio determina que cada material seja utilizado até quando for possível. Ou seja, sua vida útil não pode terminar quando acabar o consumo de um produto primário (AMBIPAR, 2025).
3. **Regeneração de sistemas naturais:** Para explicar este terceiro princípio, vale fazer uma reflexão. A sua empresa já adota os dois princípios anteriores e protege o meio ambiente, certo? Mas e se ela também ajudar a melhorar toda a sociedade por meio da regeneração? E se a sua empresa puder não apenas preservar os recursos naturais, mas também devolver os recursos para o meio ambiente? A resposta para estes questionamentos está na regeneração de sistemas naturais. Nela, a realização de ações contínuas e sustentáveis contribui para a recuperação dos ecossistemas, sempre com foco no equilíbrio entre a produção de insumos e a preservação do meio ambiente (AMBIPAR, 2025).

Dentre os demais benefícios da Economia Circular, os mais visíveis são: Proteger o ambiente, Reutilizar e reciclar os produtos permite retardar o uso dos recursos naturais, reduzir a perturbação das paisagens e dos habitats e ajudar a limitar a perda de biodiversidade. Reduzir a dependência de matérias-primas. A população mundial está a aumentar e com ela aumenta a procura de matérias-primas. No entanto, a oferta de matérias-primas cruciais é limitada. Estas reservas limitadas realçam o facto de que alguns países da UE dependem de outros países para obterem as suas matérias-primas. Criar empregos e poupar o dinheiro dos consumidores, a transição para uma economia circular pode ainda aumentar a competitividade, estimular a inovação, incentivar o crescimento económico e gerar empregos (cerca de 700 000 postos de trabalho na UE até 2030) (PARLAMENTO EUROPEU, 2024).

3.11 pH e pHmetro

Na química, a sigla pH se refere a uma função (p) que calcula o potencial da espécie a ser analisada (H). Em outras palavras, pH significa potencial hidrogeniônico. O pH expressa a quantidade de íons H^+ ou H_3O^+ em uma solução (CRQMG, 2025). A escala de pH é um instrumento que define o grau de acidez de uma solução aquosa dentro de um intervalo que varia de 0 a 14. Comparando o valor de pH medido para uma solução com a escala de pH, é possível determinar se essa solução possui caráter ácido, básico ou neutro. (LIMA, 2025).

Figura 9. Escala de pH



Fonte: LIMA, 2025

A escala de pH também permite analisar diferentes soluções ácidas em termos de sua força ácida. Por exemplo, o suco gástrico possui valor de pH igual a 1. O café preto possui valor de pH igual a 5. Ambas as substâncias são classificadas como ácidas, no entanto, o suco gástrico é mais ácido do que o café, porque seu valor de pH é menor. A água do mar possui pH em torno de 8 (LIMA, 2025).

Os valores de concentração para os íons H_3O^+ em solução podem variar em muitas unidades de grandeza. A fim de tornar a interpretação química simplificada, o

químico dinamarquês Søren Peter Lauritz Sørensen sugeriu expressar a concentração de íons H_3O^+ por meio da função logarítmica. Assim, em 1909, o pH foi definido como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrônio (LIMA, 2025):

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \quad \text{eq. 1}$$

A medição do pH é uma análise utilizada mundialmente em laboratórios químicos, bioquímicos, hospitalares, industriais, universidades e centros de pesquisa. Desta forma pode ser considerada a técnica de utilização instrumental mais ampla dentre as empregadas na química. Essa análise se torna importante quando se trata, principalmente, de alimentos, saúde e meio ambiente (NUNES *et al*, 2019).

O pHmetro é um equipamento utilizado para medir o pH de uma substância ou uma amostra que se pretende analisar e proporciona uma medição mais precisa do pH da solução. São amplas as possibilidades de aplicação desde a indústria alimentícia, cosmética, pesquisa, laboratórios até universidades e indústrias químicas. São muito usados no controle de qualidade em diversos segmentos, análise de água, em microbiologia para verificar o pH de meios de cultura, entre outros (NUNES *et al*, 2019).

3.12 Determinação de Hipoclorito

3.12.1 método iodométrico

A iodometria é um método volumétrico indireto, onde um excesso de íons iodeto são adicionados à uma solução contendo o agente oxidante, que reagirá produzindo uma quantidade equivalente de iodo que será titulado com uma solução padronizada de tiosulfato de sódio (ANDRADE, 2001).

As substâncias fortemente oxidantes reagem com íon iodeto, liberando o iodo. O método indireto consiste em tratar a substância oxidante a ser determinada com um excesso de iodeto de potássio e titular o iodo liberado, equivalente à quantidade da substância oxidante, com uma solução padrão de tiosulfato de sódio, usando o amido como indicador (TORQUATRO, 2025).

A água sanitária contém usualmente cerca de 2 a 3% de hipoclorito de sódio, além de carbonato de sódio e é claro, água. O componente ativo é o íon hipoclorito (ClO^-), responsável pela ação desinfetante e clareadora da água sanitária. O hipoclorito age com íons iodeto em meio ácido, segundo a equação 2 (ANDRADE, 2001):



Toma-se 10 mL da solução concentrada de água sanitária comercial e

transfere-se para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água destilada e homogeneizando. Dessa preparação, toma-se uma alíquota de 25 mL e acondiciona-se em um erlenmeyer com capacidade de 250 mL. Adiciona-se 20 mL de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 20% e 0,500 g de iodeto de potássio (KI). Inicia-se a titulação com tiossulfato de sódio 0,1 N sob agitação constante e, quando a solução se torna amarelo-clara, com o auxílio de uma pipeta graduada, adicionam-se 2 mL da solução indicadora de amido, fazendo com que a solução adquira tom azul-violeta, passando posteriormente para a transparência pela complementação da titulação. Em seguida, anota-se o volume de tiossulfato de sódio consumido nesses procedimentos (TORQUATO, 2025).

Figura 10. Fases da titulação do método iodimétrico

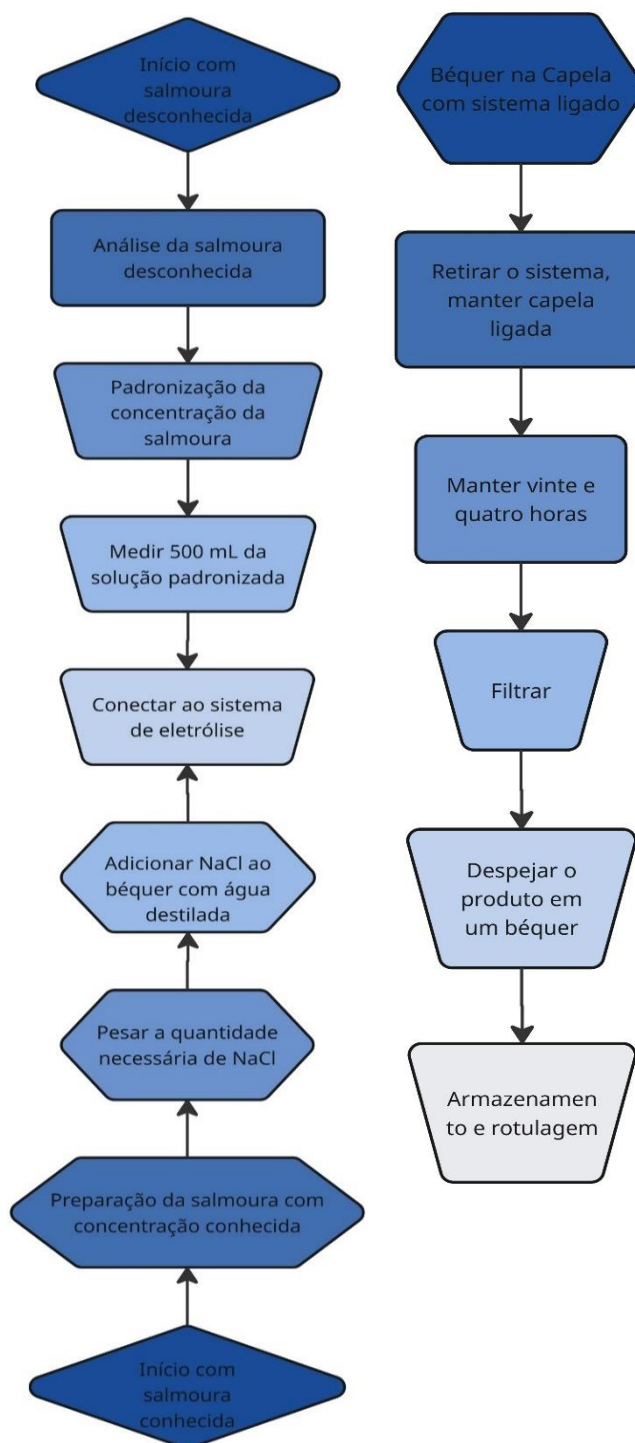


Fonte: SILVA; *et al*, s.d

4 METODOLOGIA

As atividades experimentais foram realizadas no laboratório de química sob a supervisão da professora responsável, Gislaine Aparecida Barana Delbianco, conforme os fluxogramas abaixo (Figura 3 e 4) baseados nos experimentos/trabalhos de Rubens Castilho e do professor Márcio Coelho.

Figura 11. Fluxograma de atividades experimentais



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

4.1 Coleta da Amostra

A amostra de água do mar foi coletada na Praia do Tenório e armazenada em pequena escala na escola, o ideal é utilizar um galão ou bombona de plástico resistente (PEAD), com tampa bem vedada. O recipiente deve ser químico-resistente e mantido em um local coberto, ventilado, protegido da luz solar direta e longe de fontes de calor ou produtos reativos.

O ambiente mais indicado é um armário ou sala de química, com bandeja de contenção por baixo do recipiente, caso ocorra vazamento. É essencial rotular o frasco com o nome da solução, data e riscos associados, e garantir que nenhum aluno manuseie sem supervisão.

4.1.2. padronização da salmoura

Para a padronização da salmoura para 22% de cloreto, com base no teor de cloreto determinado, se o teor for menor que 22%, evapore parte da água ou adicione NaCl sólido; se o teor for maior que 22%, dilua com água destilada. Use a equação $C1 \times V1 = C2 \times V2$, onde C1 é a concentração inicial da solução (antes da diluição), V1 é o volume inicial da solução (antes da diluição), C2 é a concentração final desejada e V2 é o volume final desejado da solução (após a diluição). Faça o ajuste conforme os cálculos, adicionando água ou sal, e homogeneíze completamente a solução ajustada.

4.1.3 preparo da solução da salmoura de nacl a 22%

A concentração de 22% em massa (m/m) indica que, em 100 g de solução, há 22 g de soluto (NaCl) e 78 g de solvente (água).

Figura 12. Preparo da solução da salmoura



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

4.2 Decomposição da Salmoura por eletrolise

4.2.1 Montagem do Sistema da Eletrólise

Usar vidro ou plástico resistente garante que o material não reaja com o hipoclorito formado, que é um agente oxidante.

Ânodo (grafite): Material inerte que resiste à corrosão e não interfere nas reações. É no ânodo que ocorre a oxidação dos íons Cl^- , formando gás cloro (Cl_2).

Figura 13. Ânodo de grafite utilizado



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Cátodo (aço inox): Suporta bem a redução da água, que gera gás hidrogênio (H_2), e tem boa condutividade elétrica.

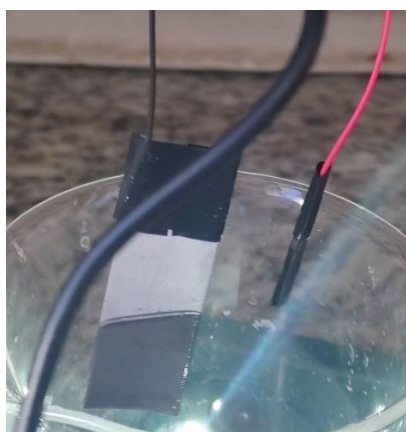
Figura 14. Cátodo de grafite utilizado



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Manter uma distância moderada (cerca de 2 cm) evita curto-circuito e garante boa movimentação iônica sem perdas significativas de corrente.

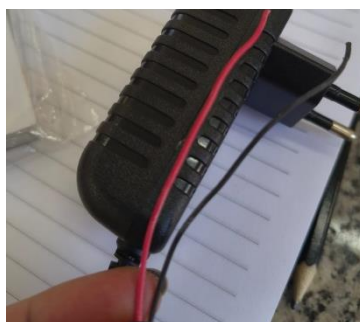
Figura 15. Cátodo e ânodo conectados na fonte de corrente contínua



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Fonte de corrente contínua (DC): fornece elétrons em fluxo unidirecional, essencial para promover as reações de oxidação e redução de forma controlada. A faixa de 6 a 12 V é suficiente para superar a sobre tensão eletroquímica sem causar decomposição indesejada de produtos.

Figura 16. Fonte de corrente contínua



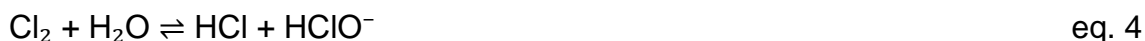
Fonte: Acervo Pessoal, 2025

4.2.2 Processo de Eletrólise

No ânodo, os íons cloreto (Cl^-) presentes na solução sofrem oxidação, liberando elétrons e formando gás cloro (Cl_2), de acordo com a equação 3:



Esse gás cloro, ao se dissolver na água, reage de forma reversível para formar ácido clorídrico (HCl) e ácido hipocloroso (HClO), como mostrado na equação 4:



O ácido hipocloroso é um oxidante moderado e é responsável por grande parte da atividade desinfetante do hipoclorito. Em meio alcalino (pH entre 9 e 11), o HClO se dissocia formando íons hipoclorito (ClO^-), a espécie ativa e mais estável para armazenamento e uso, é possível ver na equação 5:



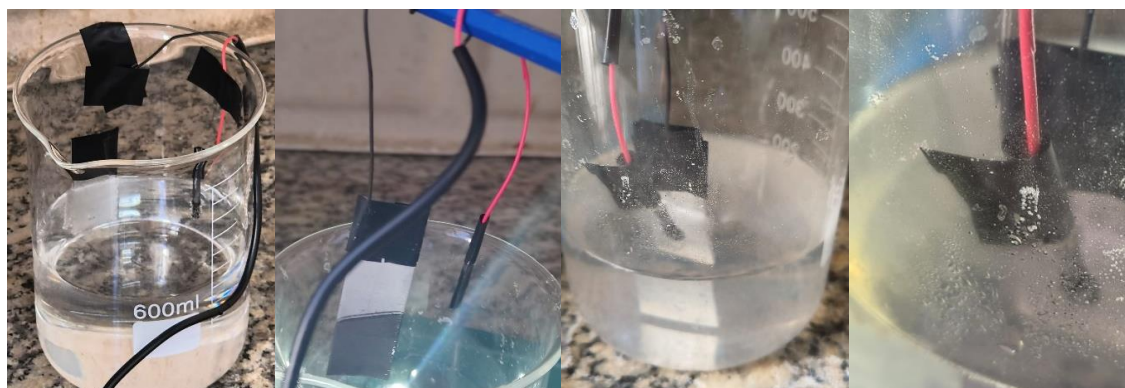
O controle do pH é crucial: abaixo de pH 7, predomina o gás Cl_2 e HClO , enquanto em pH mais elevado, predomina o ClO^- , forma desejada. Para manter o pH na faixa ideal, adiciona-se solução de hidróxido de sódio (NaOH), que também é gerado in situ no cátodo, demonstrado na equação 6:



Essa reação ocorre no cátodo, liberando gás hidrogênio (H_2) e íons OH^- , que elevam o pH da solução, estabilizando o hipoclorito formado.

O tempo de eletrólise influencia diretamente a conversão de Cl^- em ClO^- . Geralmente, 30 a 60 minutos são suficientes para obter uma concentração eficaz de hipoclorito. Tempos mais longos aumentam o rendimento, mas também elevam a temperatura da solução, o que pode acelerar a degradação térmica do hipoclorito, levando à liberação de oxigênio e à perda de eficiência desinfetante.

Figura 17. Sistema de eletrólise em funcionamento



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

4.3 Filtração e Armazenamento

Filtrar, se necessário, para remover partículas de grafite, impurezas ou precipitados que possam ter se formado. Armazenar adequadamente o NaClO, que é instável, especialmente na presença de luz, calor e metais pesados. Por isso: Usar frascos opacos ou âmbar, manter em local fresco e evitar agitação ou exposição ao ar, pois pode liberar gás cloro ou decompor o hipoclorito.

Figura 18. Diferentes soluções do processo, armazenadas em frascos de vidro



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

4.4 Testes

4.4.1 Determinação do teor de hipoclorito

A determinação do teor de hipoclorito, fundamentado no trabalho de Leonardo Carvalho, pela Universidade Federal do Maranhão, É feita através da técnica de titulometria. As amostras são tituladas com a solução padronizada de tiosulfato de sódio 0,1 mol L⁻¹, baseada na reação de oxi-redução iodométrica.

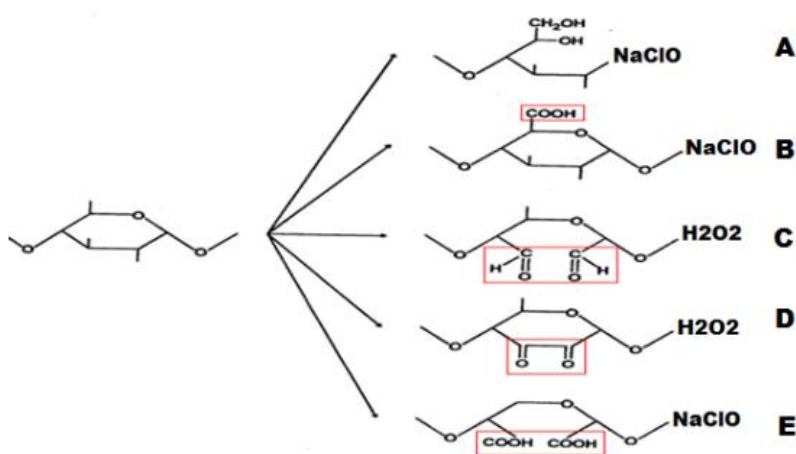
Pesará cerca de 3 g da amostra de água sanitária em um erlenmeyer de 250 mL e anotará a massa. Em seguida, será adicionado 100 mL de água destilada no erlenmeyer. A um frasco de erlenmeyer de 250 mL, será adicionado 25 mL de ácido acético. Dando continuidade, serão adicionados alguns cristais de iodeto de potássio no erlenmeyer e iniciará a titulação com a solução de tiosulfato de sódio padronizada a 0,1 mol/L até que a amostra adquira coloração amarelo claro. Em seguida, será adicionado 1,0 mL da solução de amido a 0,5 %, mudando a coloração da amostra para azul escuro, e continuará a titulação até a amostra ficar incolor.

Figura 19. Soluções preparadas para a titulometria



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Figura 20. Reação de oxidação de carboidaratos



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

4.4.1.2 Preparação das Soluções

Para a preparação de 250 mL de solução de tiossulfato de sódio 0,1 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), pesou-se 3,1 g do sal pentahidratado e dissolveu-se em cerca de 150 mL de água, em béquer. A solução foi transferida para balão volumétrico de 250 mL, o béquer e o bastão foram enxaguados, e o volume completado até a marca com água.

Para a preparação de 200 mL de solução de ácido sulfúrico a 20% (m/m), considerou-se que a massa de solução final deveria ser aproximadamente 200 g (densidade próxima da água, já que é diluída). Assim, a massa de H_2SO_4 puro necessária foi de 40 g. Corrigindo para a pureza do reagente concentrado (95%), obteve-se 42,1 g do ácido comercial, o que corresponde a cerca de 22,9 mL (densidade $\rho = 1,84 \text{ g/mL}$). Em capela, adicionou-se lentamente o volume medido de ácido concentrado sobre aproximadamente 150 mL de água em um béquer, sob agitação constante, nunca invertendo a ordem. Após o resfriamento e completa homogeneização, a solução foi transferida para balão volumétrico de 200 mL, completando-se o volume até a marca com água destilada.

Para a preparação de 100 mL de solução de amido a 10% (m/V), pesou-se 10,0 g de amido de milho, dispersou-se em pequena porção de água até formar uma pasta e, em seguida, verteu-se a mistura em aproximadamente 80 mL de água sob agitação vigorosa. Foi transferida para balão volumétrico de 100 mL e o volume completado até a marca com água. A solução foi homogeneizada, armazenada em frasco sob refrigeração e preparada para uso imediato, visto que o amido é de baixa estabilidade.

4.4.1.3 Leitura de Resultados

A determinação do teor de hipoclorito de sódio (NaOCl) em soluções de água sanitária é realizada por meio de titulação iodométrica indireta, um método amplamente utilizado para avaliar o poder oxidante do produto. Esse processo permite quantificar a concentração de NaOCl com base na quantidade de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) necessária para reduzir o iodo liberado na reação.

Durante a análise, o hipoclorito reage com o iodeto de potássio (KI) em meio ácido, liberando iodo (I_2). Esse iodo é titulado com a solução de tiosulfato de sódio até o desaparecimento da coloração amarelada, indicando o ponto final da titulação. O volume de tiosulfato gasto é proporcional à quantidade de hipoclorito presente na amostra. A concentração molar do hipoclorito é calculada pela equação 7:

$$C_{NaOCl} = \frac{N \cdot V_{tiossulfato} \cdot F \cdot D}{1000 \cdot V_{amostra}}$$

eq.7

Onde:

- C_{NaOCl} : concentração de hipoclorito de sódio (mol/L);
- N : normalidade da solução de tiossulfato (eq/L);
- $V_{tiossulfato}$: volume de tiossulfato gasto na titulação (mL);
- F : fator de correção da solução de tiossulfato
- D : fator de diluição da amostra;
- $V_{amostra}$: volume original da amostra antes da diluição (mL).

Uma vez obtida a concentração molar de hipoclorito, é possível converter esse valor em massa de cloro ativo, ou seja, a quantidade de cloro equivalente ao poder oxidante do NaOCl. O cálculo é feito pela equação 8:

$$m_{Cl_2} = C_{NaOCl} \cdot V_{amostra} \cdot \frac{70,90}{1000}$$

eq.8

Onde:

- m_{Cl_2} : massa de cloro ativo (g);
- 70,90: massa molar do Cl_2 (g/mol);
- $V_{amostra}$: volume original da amostra (mL).

Por fim, a percentagem de cloro ativo na amostra é calculada dividindo-se a massa de cloro ativo pela massa total da amostra e multiplicando por 100, como mostrado na equação 9:

$$\%Cl_2 = \frac{m_{Cl_2}}{m_{amostra}} \cdot 100$$

eq.9

4.4.2 Teste de pH

A determinação do pH, fundamentado no trabalho de Leonardo Carvalho, pela Universidade Federal do Maranhão, utiliza como instrumento o indicador papel tornassol, no qual cada uma das amostras foi colocada em um becker para realização do ensaio, de modo que cada amostra fora submetida por meio do indicador papel tornassol ao teste. Ressaltando que o pH têm a importante função de estabilizar o cloro ativo do produto.

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 Coleta da amostra

A salmoura utilizada em alguns dos experimentos foi obtida a partir de água do mar, apresentando, no momento da coleta, turbidez, odor característico e presença de material particulado em suspensão.

O armazenamento foi realizado em recipiente de (PET), seguindo procedimentos para garantir a estabilidade da amostra antes dos ensaios. A garrafa foi mantida ao abrigo da luz solar e em local arejado, minimizando o risco de contaminações e prevenindo alterações físico-químicas indesejadas, o que assegurou a confiabilidade dos resultados experimentais subsequentes.

Figura 21. Água do mar coletada



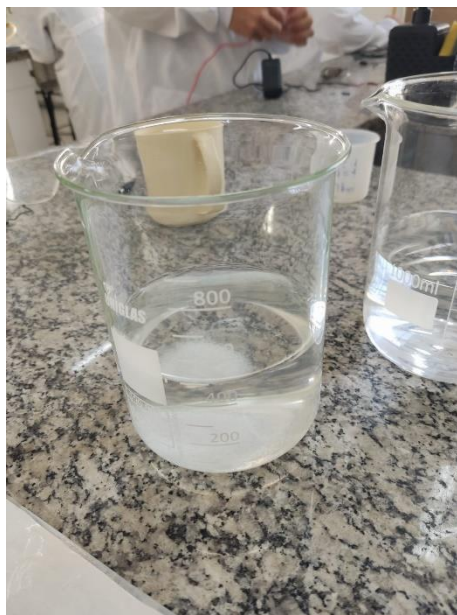
Fonte: Acervo Pessoal, 2025

5.1.1 Preparo da solução da salmoura

Com base nos textos estudados, foi observado que a salmoura usada genericamente, em uma concentração de sais próxima à 22%. Para servir como branco, foi preparada uma solução utilizando 110g de Cloreto de Sódio PA e 500g de água deionizada, representadas nas figuras 22 e 23, respeitando as porcentagens citadas, como mostrado na figura 24.

Figura 22: Preparação da salmoura

Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Figura 23: Preparação da salmoura

Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Figura 24. Tabela da composição da Salmoura

Água Deionizada	Cloreto de sódio PA
78%	22%

Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

A solução padronizada apresentou boa homogeneidade, cor transparente e cheiro característico. O controle rigoroso das massas e volumes utilizados assegurou reprodutibilidade entre os lotes preparados, fator essencial para a eficiência da eletrólise.

5.2 Decomposição da salmoura por eletrólise

5.2.1 Montagem do sistema de eletrólise

O sistema de eletrólise foi montado utilizando os seguintes componentes principais:

- Ânodo (Eletrodo Positivo):

Foi empregado um lápis de grafite (triangular, de espessura grossa) como material anódico. A escolha da espessura grossa visou maior eficiência no processo eletrolítico, facilidade de manuseio, e simplificação na remoção da capa de madeira. Para isolar o grafite, a madeira foi removida utilizando ferramentas auxiliares (tesoura, ralador de cozinha e estilete), garantindo a extração completa do grafite e a ausência de quaisquer resíduos lenhosos que pudessem contaminar a reação.

- Cátodo (Eletrodo Negativo):

O cátodo foi obtido a partir de uma placa de aço inoxidável proveniente de um kit de materiais doado pelo professor Sérgio Delbianco. A superfície da placa foi preparada por meio de lixamento com palha de aço para remover impurezas e garantir uma melhor área de contato.

Foi adquirida uma fonte de energia DC simples, com tensão nominal de 12V, selecionada para otimizar a montagem e o manuseio do sistema. Para a montagem final, o isolamento dos cabos da fonte foi removido para expor os fios condutores. O eletrodo de grafite (ânodo) foi conectado ao terminal positivo da fonte, enquanto o eletrodo de aço inoxidável (cátodo) foi conectado ao terminal negativo da fonte.

5.2.2 Processo de eletrólise

5.2.1 eletrólise da salmoura

Logo no período inicial de eletrólise, foi possível notar a formação de bolhas gasosas em ambos os eletrodos, um indicativo visual das reações de oxirredução não espontâneas em curso. Essa manifestação física confirma a decomposição do eletrólito pela aplicação de corrente elétrica.

No ânodo, a oxidação dos íons cloreto foi confirmada pelo odor característico de cloro (Cl_2) liberado. Com o tempo de reação, a solução eletrolítica adquiriu uma coloração levemente turva e amarelada, sugerindo a formação de hipoclorito de sódio (NaClO) como produto secundário.

Para a confirmação prática do processo e da natureza das reações em cada polo, foram realizados testes de pH nas proximidades dos eletrodos. Os resultados obtidos estavam em conformidade com o esperado: O meio próximo ao cátodo apresentou um valor de pH alcalino (básico), em torno de 12 de pH. O meio próximo ao ânodo revelou um pH extremamente ácido, 1 de pH.

Essa diferença de pH comprovou a ocorrência das reações eletroquímicas específicas em cada eletrodo, validando o processo.

5.2.2 eletrólise da salmoura sob agitação

Após a realização do teste para determinação do teor de cloro ativo na solução eletrolisada, verificou-se que a concentração de hipoclorito de sódio (NaClO) era inferior àquela observada em produtos comerciais.

Levantou-se, então, a hipótese de que a volatilização e consequente perda de gás cloro (Cl_2) durante o processo eletrolítico estaria comprometendo a concentração

final do produto desejado. Isso ocorre porque parte do cloro gerado no ânodo, que deveria reagir com a hidroxila (OH^-) formada no cátodo para produzir o hipoclorito (NaClO), é liberado para a atmosfera.

Para testar essa hipótese, foi realizada uma segunda eletrólise, desta vez sob agitação, utilizando um agitador magnético. O objetivo do agitador era minimizar a liberação de gás cloro da solução ou forçar sua redissolução, favorecendo a formação de hipoclorito.

Figura 25. Eletrólise sob agitação



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Posteriormente, a solução resultante dessa eletrólise sob agitação foi submetida aos mesmos testes de teor de cloro ativo aplicados anteriormente às amostras comerciais e à solução obtida na eletrólise sem agitação. Esse procedimento permitiu refutar a hipótese de que a perda de gás cloro era, de fato, um fator limitante para se atingir concentrações mais elevadas de hipoclorito. Os testes resultaram em valores próximos, até abaixo dos encontrados na eletrólise sem agitação.

5.2.3 Eletrólise da Salmoura – Água do Mar

No processo de eletrólise, conduzido em água do mar de concentração salina desconhecida, observou-se uma significativa alteração na superfície do cátodo e na solução eletrolítica. O cátodo de aço inoxidável desenvolveu uma camada superficial branca e áspera na área em contato com o meio aquoso.

Figura 26. Cátodo pós eletrólise de água do mar



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

O aspecto da camada sugere a formação de um sal cristalizado ou precipitado, embora nenhum teste analítico tenha sido realizado para confirmar sua identidade química. Paralelamente, a solução de água do mar apresentou um forte esbranqueamento e turbidez após a eletrólise, o que é consistente com a precipitação de compostos insolúveis no meio.

É notável que, ao contrário de outras eletrólises do tipo, não foram observados a coloração amarelada nem o odor característico de cloro (Cl_2). A ausência destes produtos de oxidação é provavelmente devida à baixa concentração de cloreto de sódio (NaCl) na amostra utilizada ou ao tempo de reação insuficiente do sistema.

5.3 Filtração e armazenamento

A salmoura utilizada no processo de eletrólise foi previamente filtrada, com o objetivo de remover partículas indesejadas presentes na amostra de água do mar para que não comprometessem o processo de eletrólise e se obtivesse o menor número de impurezas possível na solução. Essa etapa de filtração, realizada antes da eletrólise, resultou em uma solução límpida e adequada para o experimento.

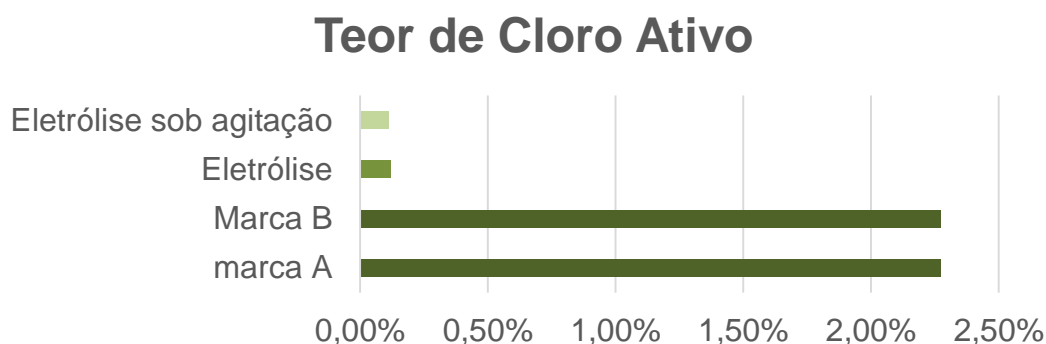
Após o processo eletrolítico com agitação, o produto obtido foi armazenado em frascos protegidos da luz solar, o que contribuiu para a preservação de suas características, pois a radiação ultravioleta (UV) e o calor aceleram sua decomposição química. Esse processo faz com que o hipoclorito perca sua eficácia como desinfetante ao longo do tempo. Esse armazenamento serviu para evitar qualquer degradação perceptível ao longo do período de observação de sete dias.

5.4 Testes de caracterização

5.4.1 Determinação do teor de hipoclorito

O método iodométrico indicou concentração média de 0,1% de NaClO nas soluções eletrolisadas, enquanto as marcas testadas apresentaram valores dentro da faixa de concentração teórica, entre 2,0 e 2,5%. Assim representado na Figura 23.

Figura 27. Grafico de Teor de Cloro Ativo das amostras



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Esse valor está abaixo da faixa esperada e confirma a conversão parcial do cloreto em hipoclorito. Os resultados apresentaram baixa dispersão entre as replicatas, indicando boa reprodutibilidade.

A causa do resultado abaixo pode ser justificada pela concentração reduzida de sal na constituição da Salmoura, sendo, em média, de apenas 21%. Algumas alterações, afim de melhor a eficácia do método, seria aumentar a concetração do sal.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é a diluição da água sanitária no momento do uso, normalmente diluida em 25mL por litro d'água. Levando em conta a concentração de cloro ativo(NaClO) média de 2,5%, temos que, após a diluição, a concentração passa a ser de 0,0625%, ou 0,125% quando diluido em 50mL por litro. O que é compatível com o resultado obtido.

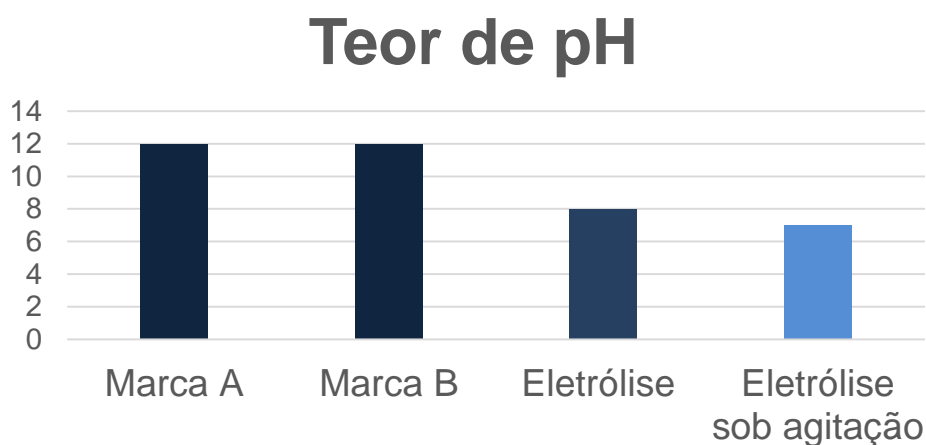
Tendo isso em mente, um problema se torna aspecto, a “água sanitária” produzida não tem a necessidade de ser diluida no uso. Esse fator evitaria diversos casos de acidentes pelo mal uso ou falta de diluição do produto comercial. Mas, no momento, esse detalhe torna o método inviável industrialmente, pois, como não há diluição, o produto se acaba rapidamente.

5.4.2 Teste de pH

O pH das soluções, assim como demonstrado na Figura 22, variaram entre 7 e 8, para as substâncias eletrolisadas. Esses valores são inadequados para a

estabilidade do hipoclorito e incompatíveis com a literatura, que indica uma faixa ideal entre 11 e 13. Esse resultado demonstra que o meio não permaneceu suficientemente alcalino. As amostras de água sanitária comerciais, representadas pelas marcas A e B, apresentaram pH dentro da faixa considerada adequada

Figura 28. Teor de pH das Soluções



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Esse fato pode indicar uma baixa síntese de hipoclorito de sódio, mostrando que o processo não atingiu seu ápice. Como é possível observar na Figura 23, o pH da solução está diretamente relacionado à espécie química predominante. Nessa faixa de pH, predomina o ácido hipocloroso (HOCl), que é o pré-produto do hipoclorito de sódio durante a eletrólise.

Figura 29. Faixa de pH em relação à Espécie Predominante

Espécie predominante	Faixa de pH	Eficácia desinfetante
Cl ₂ (gás cloro)	< 6	Perigo/ineficaz
HOCl (ácido hipocloroso)	6 – 8	Alta
OCl ⁻ (íon hipoclorito)	> 10	Baixa

Fonte: Acervo Pessoal, 2025

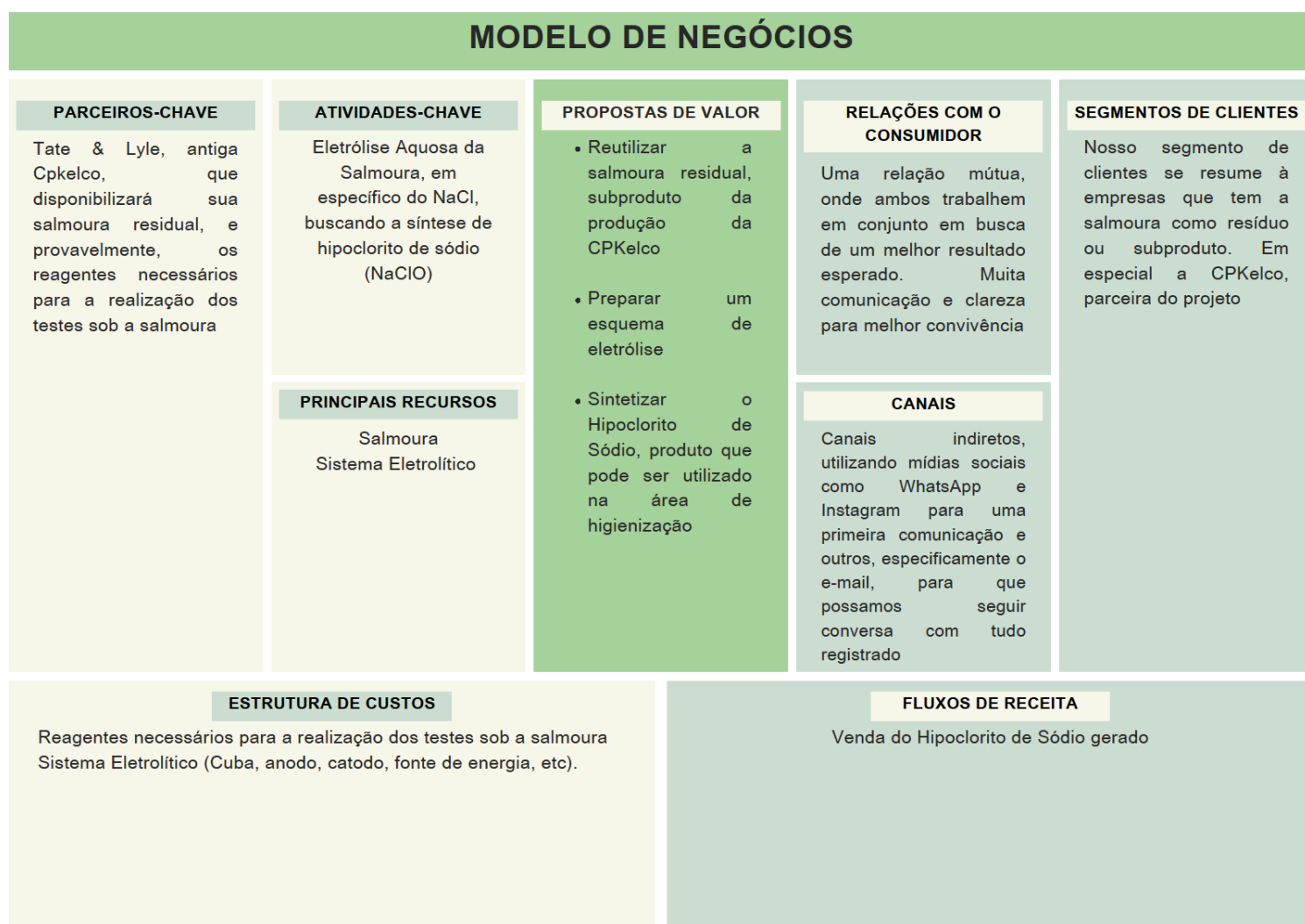
Para corrigir esse problema, é necessário manter a eletrólise ativa por um tempo maior do que o realizado em laboratório, que, neste caso, foi em média de 1 hora.

Para ajustar o pH das soluções após a eletrólise, poderia ser adicionada uma quantidade extra de hidróxido de sódio, além do que foi gerado, elevando o pH até a faixa esperada.

5.5 Modelo Canvas de Negócios

O Modelo Canvas de Negócios é uma ferramenta estratégica que permite visualizar e estruturar de forma clara os principais componentes de um empreendimento, como proposta de valor, segmentos de clientes e fontes de receita. Sua importância consiste em organizar as ideias do projeto, de forma que, possam ser usadas como empreendimento.

Figura 30. Canvas do projeto



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

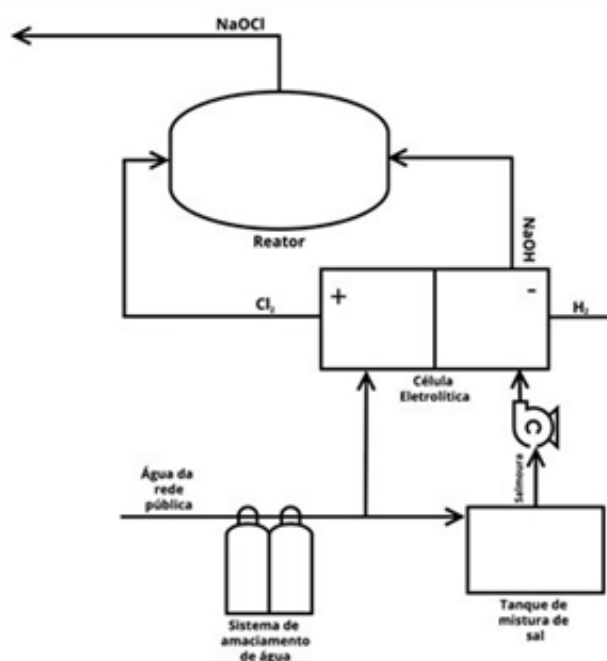
5.6 Considerações da Banca

Em conversas com a banca examinadora, foi apontada a baixa eficiência do procedimento, sendo uma das principais causas a ausência de uma etapa pós-eletrólise para a produção de Hipoclorito de Sódio (NaOCl). Segundo MINEIRO et al, o processo essencial envolve encaminhar o hidróxido de sódio (NaOH) para um reator, onde o cloro gasoso (Cl₂), proveniente do ânodo, é também alimentado em contracorrente por meio de um tubo de vácuo. No reator, ocorre a cloração do hidróxido de sódio, que é traduzida pela equação (10):



O esquema que detalha a alimentação dos reagentes nesse processo de cloração pode ser visualizado na Figura (31).

Figura 31. Esquema do Processo de Formação do Hipoclorito



Fonte: MINEIRO et al, 2023

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A salinização do solo ocorre pelo acúmulo excessivo de sais, dificultando o desenvolvimento das plantas e reduzindo a biodiversidade, sendo agravada por práticas humanas. A salmoura, rica em cloreto de sódio, quando descartada de forma indevida, aumenta a salinidade das águas e solo. Nesse contexto, a eletrólise da salmoura surge como uma alternativa útil, pois permite a produção de hipoclorito de sódio (NaClO), composto amplamente utilizado no tratamento de água, desinfecção e processos industriais.

O objetivo geral deste projeto é utilizar o resíduo da salmoura, cujo descarte incorreto no meio ambiente aumenta a salinidade do solo, para a produção de hipoclorito de sódio (NaClO), empregando o processo físico-químico de Eletrólise. Os objetivos específicos envolvem o estudo e a aplicação prática dos conceitos de Eletrólise, incluindo a preparação e observação do circuito.

A eletrólise é um processo não espontâneo que converte energia elétrica em energia química. Utiliza uma corrente contínua para forçar a decomposição eletroquímica de uma substância em uma cuba eletrolítica. Ocorre em um eletrólito, onde a energia fornecida promove uma reação de oxidação no ânodo e de redução no cátodo, exigindo um fluxo constante de energia para ser mantida.

O hipoclorito de sódio (presente na água sanitária, com pH elevado) é um desinfetante químico amplamente usado em saneamento, limpeza e hospitais. Em água, ele se decompõe nos agentes desinfetantes ácido hipocloroso (HClO) e ânion hipoclorito (ClO^-), cuja proporção é controlada pelo pH. Por ser corrosivo e oxidante, seu uso inadequado causa irritações graves. Sua concentração pode ser determinada por iodometria, um método que envolve a reação do ClO^- com íons iodeto (I^-) para liberar iodo (I_2), o qual é então quantificado por titulação com tiosulfato de sódio usando amido como indicador.

O procedimento descreve a produção de hipoclorito de sódio (NaClO) a partir da salmoura por eletrólise. A salmoura é primeiramente padronizada para 22% de cloreto. A eletrólise é então realizada usando ânodo de grafite, onde o íon cloreto (Cl^-) é oxidado a gás cloro (Cl_2), e cátodo de aço inox, onde a redução da água gera íons hidroxila (OH^-). O gás cloro reage com a água e com o OH^- gerado para formar HClO e ClO^- (o desinfetante ativo), que é estabilizado pelo pH alcalino. O produto, após filtragem e armazenamento seguro em frascos opacos, é testado. O teor de hipoclorito é quantificado por titulação iodométrica, que mede o poder oxidante da solução com

tiosulfato de sódio, e o pH é verificado para garantir a estabilidade do produto.

O sistema de eletrólise utilizou um ânodo de grafite, onde ocorreu a oxidação do íon cloreto em cloro, e um cátodo de aço inoxidável, onde a redução da água gerou um meio alcalino. Os testes de pH confirmaram acidez no ânodo (≈ 1) e alcalinidade no cátodo (≈ 12). Uma segunda eletrólise sob agitação foi feita para elevar a concentração de NaClO, mas sem sucesso. A titulação iodométrica revelou apenas 0,1% de NaClO, muito abaixo do valor comercial (2–2,5%), e o pH final entre 7 e 8 mostrou-se inadequado à estabilidade do composto (ideal entre 9 e 11). Esses resultados foram atribuídos à baixa concentração inicial de sal e ao tempo reduzido de eletrólise, sendo sugerido o maior tempo de eletrólise.

REFERÊNCIAS

ABQ. **Análise morfológica e microestrutural de cristais formados na superfície de água salina para diferentes densidades tratadas por descarga de plasma atmosféricas.** Rec 2024. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2019/trabalhos/12/755-27598.html>. Acesso em: 30 ago. 2024.

ALAGO, Iride. **Riscos do cloro: com o que sua empresa deve se preocupar?** Chemical Risk. Disponível em: <https://www.chemicalrisk.com.br/riscos-do-cloro/>. Acesso em: 9 out. 2025.

ANDRADE, João Carlos de. **Determinações iodométricas.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, 2001. Disponível em: <https://www.chemkeys.com>. Acesso em: 10 ago. 2025.

A importância do controle de pH nas análises químicas. Conselho Regional de Química – 2ª Região. Disponível em: <https://www.crqmg.org.br/noticiasRead.php?id=749>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ARTESANAL, E. C. **Charcutaria.** Disponível em: <https://charcutaria.org/salmoura/como-funciona-a-salmoura/>. Acesso em: 2 out. 2024.

ASHT, Rafael C. **Constante de Faraday.** Toda Matéria, 2024. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/constante-de-faraday/>. Acesso em: 27 set. 2024.

BACCAN, N. *et al.* **Química Analítica Quantitativa Elementar.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2005.

BRAILE, Pedro Márcio; CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuais Industriais.** São Paulo, 1995.

BRASIL. **Lei nº 9.976, de 3 de julho de 2000.** Código Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 3 jul. 2000. Acesso em: 30 set. 2024.

BRK. **Dessalinização da água do mar: afinal, esse projeto é viável?** 2022. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/dessalinizacao-da-agua>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Cinco fatos importantes sobre dessalinização. ONU. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/cinco-fatos-importantes-sobre-dessalinizacao>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Como funciona o tratamento de uma piscina com sal? Globaltech. Disponível em: <https://blog.globaltechbrasil.com/tratamento-de-piscina/tratamento-de-piscina-com-sal-como-funciona/>. Acesso em: 9 out. 2025.

Conceito de citação. Conceito.de. 2024. Disponível em: <https://conceito.de/salmoura>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Conheça os 3 princípios da economia circular. GM&C Log. 2023. Disponível em: <https://gmclog.com.br/2023/02/27/conheca-os-3-principios-da-economia-circular/>. Acesso em: 7 ago. 2025.

CONTIERI, Vinícius Comba. **A importância do planejamento ambiental na elaboração de projetos da indústria petroquímica: análise econômica e ambiental do desastre geológico em Maceió e atividade da planta de cloro-soda da Braskem.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/235717/001135655.pdf;jsessionid=8D933DC68B97AD34A1CBB85B29C7523B?sequence=1>. Acesso em: 26 nov. 2025.

COSTA, Flávia. **Hipoclorito de sódio: o que é, para que serve e como usar.** Tua Saúde, 2025. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/hipoclorito-de-sodio/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

CRUZ, Fernando. **A importância da análise de cloretos na água.** Aktron. Disponível em: <https://baktron.com.br/a-importancia-da-analise-de-cloretos-na-agua/>. Acesso em: 7 maio 2025.

Dessalinização da água do mar: um método para lutar contra a escassez?. Iberdrola. 2024. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/dessalinizacao>. Acesso em: 30 ago. 2024.

DIAS, Diogo Lopes. **Cloreto de sódio (sal de cozinha).** Brasil Escola, 2024. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/cloreto-sodio.htm>. Acesso em: 30 ago. 2024.

DIAS, Diogo Lopes. **O que é eletrólise?** Brasil Escola, 2024. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-eletrolise.htm>. Acesso em: 24 set. 2024.

Economia circular: definição, importância e benefícios. Parlamento Europeu. 2023. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios>. Acesso em: 7 ago. 2025.

Elementos Químicos - Sódio. CRQ. Rec 2024. Disponível em: <https://crqsp.org.br/elementos-quimicos-sodio/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Eletrólise: o que é, tipos e aplicação. ECycle. 2024. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/eletrolise/>. Acesso em: 24 set. 2024.

Eletrólise de sal: tudo o que é preciso saber para a sua piscina. Abrisud. Disponível em: <https://www.abrisud.com/pt-pt/o-blog/eletrolise-de-sal-tudo-o-que-e-preciso-saber-para-sua-piscina>. Acesso em: 9 out. 2025.

Ética na inteligência artificial: relação e como construir um futuro responsável?. FIA. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/etica-na-inteligencia-artificial>. Acesso em: 30 abr. 2025.

Excesso de sal nos solos coloca segurança alimentar em risco. Nações Unidas. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/161846-excesso-de-sal-nos-solos-coloca-seguran>. Acesso em: 30 ago. 2024.

FERNANDES, Ruan. **Eletrólise**. Educa+Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/eletrolise>. Acesso em: 24 set. 2024.

FREITAS, Jeferson. **Produção de cloro e soda**. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/144300970/producao-de-cloro-e-soda>. Acesso em: 25 jun. 2025.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Eletrólise do Cloreto de Sódio**. Mundo Educação, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/eletrolise-cloreto-sodio.htm>. Acesso em: 30 set. 2024.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Eletrólise**. Manual da Química, 2024. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/eletrolise.htm>. Acesso em: 24 set. 2024.

GONÇALVES, Jhonilson Pereira. **Eletrólise**. Mundo Educação, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/eletrolise.htm>. Acesso em: 24 set. 2024.

GONÇALVES, Majô. **Diferentes aplicações de hipoclorito de sódio**. Verso, 2021. Disponível em: <https://versoassessoriaimprensa.com.br/diferentes-aplicacoes-de-hipoclorito-de-sodio/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

Hipoclorito de sódio é usado na limpeza? Base Química. Disponível em: <https://basequimica.com/hipoclorito-de-sodio-fornecedor-e-distribuidor-industrial>. Acesso em: 7 maio 2025.

Hipoclorito de Sódio: Usos, Benefícios e Precauções. Química Avanzi. 2024. Disponível em: <https://avanziquimica.com.br/blog/blog-p/cuidados-produtos-quimicos/hipoclorito-de-sodio-usos-beneficios-e-precaucoes>. Acesso em: 26 fev. 2025.

História do sal. Revista Fleury. Ed. 27, 2013. Disponível em: <https://www.fleury.com.br/noticias/historia-do-sal-revista-fleury-ed-27>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Inteligência Artificial. GEAD. Disponível em: file:///C:/Users/alunos/Downloads/livro_texto_MOOC_IA_250414_215033.pdf. Acesso em: 30 abr. 2025.

IWAKI, Gheorge Patrick. **Transformando em recurso útil os resíduos de dessalinização**. Fluence, 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/residuos-dessalinizacao/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Leis da Eletrólise. Só Química. 2024. Disponível em: <http://www.soquimica.com.br/conteudos/em/eletroquimica/p6.php>. Acesso em: 27 set. 2024.

LENNTECH. **Tratamento da salmoura (ZLD)**. 2024. Disponível em: <https://www.lenntech.com.pt/processes/brine-treatment.htm>. Acesso em: 30 ago. 2024.

LIMA, Ana Luiza Lorenza. Cloro (Cl). Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/cloro.htm>. Acesso em: 9 out. 2025.

MINEIRO, Bianca; SANTOS, Francisca; FURTADO, Lara; ROCHA, João Tiago; FORTUNATO, João; BRANCO, Maria João; MENDONÇA, Maria João; MAZEMBE, Tiago. **Produção de Hipoclorito de Sódio**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2023. 18 p. Projeto (Licenciatura em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2023.

NAHRA, Sara. **Eletrólise**. Manual do Enem, 2022. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/quimica/eletrolise>. Acesso em: 30 set. 2024.

NOLASCO, Glauco Maciel *et al.* **Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG**. RECITAL, v. 2, n. 2, p. 53-63, mai./ago. 2020. Disponível em: <http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital>. Acesso em: 10 ago. 2025.

NOVAIS, Stéfano Araújo. **Hipoclorito de sódio (NaClO)**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/hipoclorito-sodio.htm>. Acesso em: 7 maio 2025.

NUNES, Esder Ribeiro Braga *et al.* **Construção de um pHmetro digital pelo método de calorimetria**. Recife: Centro Universitário Estácio Recife, 2019. Disponível em: <https://goo.gl/vN447y>. Acesso em: 10 ago. 2025.

O que é inteligência artificial generativa?. Forbes. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2023/05/o-que-e-inteligencia-artificial-generativa/>. Acesso em: 30 abr. 2025.

PACHECO, Ana Flávia Coelho *et al.* **Como determinar a concentração do sal da salmoura**. Milkpoint, 2021. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/como-determinar-a-concentracao-de-sal-em-salmoura-227362/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

PENA, Rodolfo Alves. **Dessalinização da água**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/dessalinizacaoagua.htm>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Qual é a utilidade do elemento sódio? Tabela Periódica. 2024. Disponível em: <https://www.tabelaperiodica.org/qual-e-a-utilidade-do-elemento-sodio-onde-ele-e-encontrado/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SILVA, Valdeci Pedro da; AFONSO, Paulo. **ONU adverte sobre o aumento dos níveis de salmoura tóxica na medida em que cresce o número de usinas de dessalinização.** EcoDebate, 2019. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2019/01/15/onu-adverte-sobre-o-aumento-dos-niveis-de-salmoura-toxica-na-medida-em-que-cresce-o-numero-de-usinas-de-dessalinizacao/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Sódio. Puravida. Rec 2024. Disponível em: <https://www.puravida.com.br/glossario/letra/s/sodio>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SPADINI, Allan Segovia. **O que é IA Generativa?** Alura. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/inteligencia-artificial-ia-generativa-chatgpt-gpt-midjourney>. Acesso em: 30 abr. 2025.

TORQUATO, Alex Sanches; PIVA, Camila; COMELLI, Marcela Gomes; TIYO, Rogério. **Determinação do pH e a concentração de cloro nas amostras de água sanitária comercialmente disponíveis no mercado.** Revista Uningá, Maringá, p. 1-10, 2009. Disponível em: <https://www.uninga.br>. Acesso em: 10 ago. 2025.

VIANNA, Angélica dos Santos *et al.* **Exposição ao gás cloro e padrões evolutivos da síndrome da disfunção reativa das vias aéreas: uma revisão sistemática.** SciELO Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbso/a/KT9FkjSVxBZ4zQwXVC6j4Bc>. Acesso em: 9 out. 2025.

VISRAM, Talib. **“Salinização”: mais um item na lista de problemas que ameaçam o planeta.** Fast Company Brasil, 2023. Disponível em: <https://fastcompanybrasil.com/impacto/salinizacao-mais-um-item-na-lista-de-problemas-que-ameacam-o-planeta/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Você sabe o que significa pH? Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/voce-sabe-que-significa-ph-.htm>. Acesso em: 10 ago. 2025.