



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**RAFAELA ALVINA BARATA**

**ESTUDO COMPARATIVO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO *IN LOCO***  
**E COMERCIAL: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, ESTABILIDADE E**  
**EFICIÊNCIA DESINFETANTE**

**RECIFE**

**2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**RAFAELA ALVINA BARATA**

**ESTUDO COMPARATIVO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO *IN LOCO***  
**E COMERCIAL: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, ESTABILIDADE E**  
**EFICIÊNCIA DESINFETANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

**Orientador(a):** Prof<sup>o</sup>. Dr. Jorge Vinícius Fernandes Lima Cavalcanti

**Coorientador(a):** M.Sc. Jéssica Camila do Nascimento Rocha

**RECIFE**

**2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Barata, Rafaela Alvina.

Estudo comparativo do hipoclorito de sódio produzido in loco e comercial: propriedades físico-químicas, estabilidade e eficiência desinfetante / Rafaela Alvina Barata. - Recife, 2025.

41 p. : il., tab.

Orientador(a): Jorge Vinícius Fernandes Lima Cavalcanti

Coorientador(a): Jéssica Camila do Nascimento Rocha

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. desinfecção. 2. eletrólise. 3. estabilidade química. 4. hipoclorito de sódio. 5. conformidade regulatória. I. Cavalcanti, Jorge Vinícius Fernandes Lima. (Orientação). II. Rocha, Jéssica Camila do Nascimento. (Coorientação). IV. Título.

660 CDD (22.ed.)

RAFAELA ALVINA BARATA

**ESTUDO COMPARATIVO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO *IN LOCO*  
E COMERCIAL: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, ESTABILIDADE E  
EFICIÊNCIA DESINFETANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

Aprovado em: 14/04/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>o</sup>. Dr. Jorge Vinícius Fernandes Lima Cavalcanti (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>o</sup>. Dra. Mayara Ferreira Barbosa (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>o</sup>. M. Sc. Elissandra Cheu Pereira do Nascimento (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho à minha família, que sempre apoiou os meus estudos e me proporcionou os meios para alcançar o sucesso.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre olhar por mim, me proteger e me capacitar todos os dias para que eu realize meus sonhos.

À Nossa Senhora, por sua constante intercessão em meu favor.

À minha mãe, Graciene, por me dar a vida e estar sempre presente, demonstrando amor e cuidado incondicionais.

À minha segunda mãe, Gizelda, por todo amor, bondade, educação, força e caráter transmitidos ao longo dos anos, além de todo suporte financeiro.

À minha avó, Severina (in memoriam), pilar da minha família, cujo breve tempo ao meu lado foi suficiente para que eu sentisse a força desse amor até hoje.

A todos os meus familiares, em especial minhas tias, tios e meu irmão, por serem pessoas íntegras e honestas, e por me apoiarem das mais diversas formas. Lembro de cada pequeno gesto de amor.

Aos meus pets, Ari e Lua, por seu amor incondicional e por me acalmarem nos momentos de ansiedade.

Ao meu orientador, Prof. Jorge, por aceitar me orientar, pela gentileza e cordialidade, e por todos os esforços para que esta defesa acontecesse.

À minha coorientadora, Jéssica, por me proporcionar a oportunidade de defender esse tema e todo auxílio dado com paciência e empatia ao longo dessa jornada.

À minha namorada, Diana, por toda parceria, apoio, força e amor. E, em especial, pela ajuda no laboratório naquele dia.

À minha colega de laboratório, Maria Beatriz, pelo auxílio durante as análises.

Aos meus colegas de curso, que compartilharam comigo o peso dessa árdua trajetória e a tornaram mais leve.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental – LSA/CTG/UFPE, por fornecer os meios necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Luciano, por sua paciência e auxílio, tanto na disciplina de estágio quanto na de TCC.

A todos os professores da UFPE, especialmente do DEQ, pelo conhecimento compartilhado e pelo apoio oferecido.

À banca de TCC, pelo tempo dedicado.

E a todos que, de alguma forma, passaram pela minha vida e me ajudaram nesta caminhada.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.”  
(BÍBLIA, Eclesiastes 3:1)

## RESUMO

O estudo investiga a qualidade do hipoclorito de sódio produzido in loco no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do CTG/UFPE, via eletrólise da salmoura, em comparação com alvejantes comerciais, analisando sua conformidade com base na ABNT NBR 11833/2022 e na RDC 699/2022 da ANVISA. Abordam-se os fundamentos da desinfecção, os principais mecanismos de ação dos agentes desinfetantes e as características físico-químicas do cloro e do hipoclorito de sódio. Além disso, descreve-se o processo industrial de fabricação do hipoclorito, bem como a eletrólise da salmoura como método de produção. A pesquisa avaliou parâmetros como teor de cloro ativo, alcalinidade hidróxida, resíduo insolúvel, densidade e pH, bem como a cinética de degradação do hipoclorito de sódio in loco. Os alvejantes comerciais apresentaram maior estabilidade, devido à presença de hidróxido de sódio, que eleva o pH e reduz a degradação do cloro ativo, o que explica o fato de todas as amostras comerciais apresentarem valores de pH acima do limite máximo permitido. Por outro lado, o hipoclorito produzido in loco apresentou menor teor de cloro ativo, pH mais baixo e ausência de alcalinidade hidróxida — fatores que comprometem sua estabilidade e aceleram sua degradação. Dessa forma, seu uso é mais adequado para aplicações imediatas. Os resultados desta pesquisa destacam a necessidade de regulamentação específica para hipocloritos gerados in loco, a fim de garantir sua qualidade e segurança em processos de desinfecção.

**Palavras-chave:** desinfecção; eletrólise; estabilidade química; hipoclorito de sódio; conformidade regulatória.

## ABSTRACT

The study investigates the quality of sodium hypochlorite produced on-site at the Environmental Sanitation Laboratory (LSA) of CTG/UFPE, via brine electrolysis, in comparison with commercial bleaches, analyzing its compliance based on ABNT NBR 11833/2022 and ANVISA's RDC 699/2022. The fundamentals of disinfection, the main mechanisms of action of disinfectant agents, and the physicochemical characteristics of chlorine and sodium hypochlorite are addressed. In addition, the industrial process of manufacturing hypochlorite is described, as well as brine electrolysis as a production method. The research evaluated parameters such as active chlorine content, hydroxide alkalinity, insoluble residue, density, and pH, as well as the degradation kinetics of sodium hypochlorite on-site. Commercial bleaches showed greater stability due to the presence of sodium hydroxide, which increases the pH and reduces the degradation of active chlorine, which explains why all commercial samples presented pH values above the maximum permitted limit. On the other hand, the hypochlorite produced on site had a lower active chlorine content, lower pH and no hydroxide alkalinity — factors that compromise its stability and accelerate its degradation. Therefore, its use is more suitable for immediate applications. The results of this research highlight the need for specific regulation for hypochlorites generated on site, in order to guarantee their quality and safety in disinfection processes.

**Keywords:** disinfection; electrolysis; chemical stability; sodium hypochlorite; regulatory compliance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Reator Hidrogeron® GE-150.....	24
Figura 2 -	Comportamento cinético da degradação do teor de cloro ativo para o NaOCl produzido <i>in loco</i> .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da determinação em massa de cloro ativo nas amostras de águas sanitárias comerciais.....	28
Tabela 2 - Resultados da determinação de alcalinidade hidróxida nas amostras de águas sanitárias comerciais.....	29
Tabela 3 - Resultados da determinação de resíduo insolúvel nas amostras de águas sanitárias comerciais.....	29
Tabela 4 - Resultados da determinação de densidade nas amostras de águas sanitárias comerciais.....	30
Tabela 5 - Resultados da determinação de pH nas amostras de águas sanitárias comerciais.....	31
Tabela 6 - Resultados da caracterização do hipoclorito de sódio produzido <i>in loco</i> .....	31
Tabela 7 - Resultados da cinética de degradação do teor de cloro ativo para o NaOCl produzido <i>in loco</i> .....	32
Tabela 8 - Resultados da caracterização do hipoclorito de sódio produzido <i>in loco</i> .....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
3.1	DESINFECÇÃO.....	16
<b>3.1.1</b>	<b>Desinfetante Ideal.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Mecanismo de Ação dos Agentes Desinfetantes.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Condições que Influenciam a Desinfecção.....</b>	<b>17</b>
3.1.3.1	Tempo de Contato.....	17
3.1.3.2	Concentração e Tipo do Agente Químico.....	17
3.1.3.3	Temperatura.....	17
3.1.3.4	Número e Tipo de Organismos.....	17
3.1.3.5	Natureza do Líquido.....	18
3.1.3.6	Intensidade e Natureza do Agente Físico.....	18
3.2	CLORO.....	18
3.3	HIPOCLORITO DE SÓDIO.....	19
3.4	PRODUÇÃO INDUSTRIAL DO HIPOCLORITO DE SÓDIO COMERCIAL.....	20
3.5	ELETRÓLISE DA SALMOURA.....	21
3.6	NORMAS E REGULAMENTAÇÕES.....	21
<b>3.6.1</b>	<b>RDC N° 699/2022.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6.2</b>	<b>ABNT NBR 11833/2022.....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
4.1	MATERIAS UTILIZADOS.....	23
4.2	PREPARAÇÃO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO <i>IN</i> <i>LOCO</i> .....	23
4.3	DETERMINAÇÃO EM MASSA DE CLORO ATIVO.....	24

4.3.1	<b>Cinética de Degradação do Teor de Cloro Ativo.....</b>	<b>25</b>
4.4	DETERMINAÇÃO DE ALCALINIDADE HIDRÓXIDA.....	25
4.5	DETERMINAÇÃO DE RESÍDUO INSOLÚVEL.....	26
4.6	DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE.....	27
4.7	DETERMINAÇÃO DE PH .....	27
5	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
5.1	VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE DE DESINFETANTES COMERCIAIS.....	28
5.1.1	<b>Determinação em Massa de Cloro Ativo.....</b>	<b>28</b>
5.1.2	<b>Determinação de Alcalinidade Hidróxida.....</b>	<b>29</b>
5.1.3	<b>Determinação de Resíduo Insolúvel.....</b>	<b>29</b>
5.1.4	<b>Determinação de Densidade.....</b>	<b>30</b>
5.1.5	<b>Determinação de pH .....</b>	<b>30</b>
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO <i>IN</i> <i>LOCO</i> .....	31
5.3	CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO TEOR DE CLORO ATIVO DO DESINFETANTE PRODUZIDO <i>IN LOCO</i> .....	32
5.4	COMPARATIVO ENTRE OS ALVEJANTES COMERCIAIS E O PRODUZIDO <i>IN LOCO</i> .....	33
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida, desempenhando um papel fundamental em processos biológicos, bioquímicos e ecológicos, além de ser indispensável para a produção de alimentos e atividades industriais (Alberts, 2017; Robinson, 2017). No entanto, apesar de cobrir 71% da superfície terrestre, apenas 3% da água disponível é doce, sendo grande parte inacessível. O aumento populacional, a má gestão dos recursos hídricos e as mudanças climáticas intensificam a pressão sobre a disponibilidade de água potável, tornando urgente a busca por soluções eficientes para seu tratamento (Robinson, 2017). Nesse contexto, o estudo da eficiência e das características do hipoclorito de sódio produzido em laboratório torna-se essencial, uma vez que esse composto é amplamente utilizado na desinfecção de água e efluentes. Com 80% dos efluentes do mundo sendo despejados sem tratamento adequado, segundo a UNESCO (2017), o uso de desinfetantes eficazes pode reduzir significativamente a contaminação dos recursos hídricos e minimizar riscos à saúde pública (Silva, 2016; UNESCO, 2017).

A desinfecção é uma das etapas do tratamento de efluentes e consiste no processo de destruição parcial ou inativação de agentes patogênicos através da exposição a agentes físicos, como as radiações não ionizantes, ou químicos, como o cloro e os seus derivados. Dentre todos os agentes químicos, o cloro é o mais utilizado, seus derivados mais consumidos são o gás cloro, hipoclorito de sódio, dióxido de cloro e hipoclorito de cálcio. A cloração dos efluentes tem como principal objetivo o controle da disseminação de doenças transmitidas por águas contaminadas (Chernicharo, 2001; Metcalf, 2016).

O hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ) possui como principais vantagens seu baixo custo e sua potente ação biocida. Ele é comercializado em forma de solução aquosa alcalina, límpida, de coloração amarelada e com odor característico, contendo entre 12,5% e 17% de cloro ativo (em massa). Sua concentração comercial varia de 1% a 16%. Concentrações mais elevadas, no entanto, não são viáveis, pois o composto sofre decomposição acelerada, especialmente quando exposto à luz e ao calor. Como agente oxidante e desinfetante, o  $\text{NaOCl}$  apresenta uma estabilidade limitada na fase líquida, com a concentração de cloro ativo diminuindo ao longo do tempo devido à decomposição e ao consumo do composto. Essas características podem comprometer a eficiência do tratamento desinfetante, especialmente quando as condições ideais de armazenamento não são seguidas (Chernicharo, 2001; Ferreira Filho, 2008; Metcalf, 2016).

Diante do cenário, surge a preocupação sobre a eficiência e as características do hipoclorito de sódio produzido em laboratório. Por isso, no presente estudo serão analisadas as propriedades físico-químicas e estabilidade do hipoclorito de sódio produzido *in loco* em comparação aos agentes desinfetantes comerciais.

Com base na literatura, estima-se que as propriedades físico-químicas do hipoclorito de sódio produzido no laboratório sejam semelhantes às do comercial, o que pode garantir sua eficácia. Além disso, sugere-se que o desinfetante produzido *in loco* apresenta uma degradação de cloro ativo semelhante ao reportado na literatura, sem comprometer a eficiência do processo de desinfecção, tornando-o uma solução viável para o tratamento de efluentes.

Com os resultados obtidos na pesquisa, espera-se contribuir para o conhecimento acerca da viabilidade técnica e econômica da produção *in loco* de desinfetantes, bem como para o aprimoramento de processos que garantam maior segurança e eficácia no uso desses compostos. Adicionalmente, os dados poderão embasar futuras iniciativas voltadas à redução de custos operacionais em aplicações industriais e à promoção de alternativas sustentáveis no controle microbiológico.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade e estabilidade do hipoclorito de sódio produzido *in loco*, por eletrólise da salmoura, em comparação com desinfetantes comerciais, com base em normas técnicas e regulamentações vigentes, considerando propriedades físico-químicas e a cinética de degradação do cloro ativo.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a conformidade de desinfetantes comerciais com os requisitos específicos da norma técnica da ABNT NBR 11833/2022 e da RDC N° 699/2022, como, teor de cloro ativo, alcalinidade hidróxida, densidade, resíduo insolúvel e pH;
- Caracterizar o hipoclorito de sódio produzido *in loco* baseando-se na Norma ABNT NBR 11833/2022 e Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 699/2022 da ANVISA;
- Estudar a cinética de degradação do teor de cloro ativo do desinfetante produzido *in loco*;

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será apresentado o conceito de desinfecção, os critérios para um desinfetante ideal e os principais mecanismos de ação desses agentes. Serão abordados dois dos desinfetantes mais utilizados: o cloro e o hipoclorito de sódio. Incluindo o processo produtivo em escala industrial do hipoclorito. Por fim, são discutidas as normas e regulamentações vigentes que estabelecem os padrões de qualidade e segurança para os desinfetantes.

#### 3.1. DESINFECÇÃO

A desinfecção diz respeito ao processo de eliminação ou inativação de microrganismos patogênicos (como bactérias, vírus e fungos) presentes em superfícies, objetos ou líquidos, com o objetivo de prevenir a transmissão de doenças. É importante se ater ao fato de que desinfecção é diferente de esterilização, pois, nem todos os microrganismos presentes são destruídos, mas são reduzidos a níveis considerados seguros para a saúde humana e ambiental (Metcalf, 2016).

##### 3.1.1. Desinfetante Ideal

Um desinfetante ideal deve apresentar algumas características essenciais: disponibilidade em grandes quantidades a um custo razoável; capacidade de alterar minimamente as características da solução; não ser adsorvido por compostos que não sejam os microrganismos de interesse; ser eficaz mesmo em concentrações baixas e em uma ampla faixa de variação de temperatura; manter a ação desinfetante ao longo do tempo; ser seguro durante transporte, armazenagem e manuseio; ter a capacidade de eliminar odores enquanto desempenha sua função desinfetante; ser tóxico apenas para os microrganismos; não ser corrosivo nem causar manchas; apresentar composição homogênea; ser solúvel em água ou no tecido das células dos patógenos; e, por fim, ser capaz de penetrar através da superfície das partículas e células de interesse (Metcalf, 2016).

##### 3.1.2. Mecanismo de Ação dos Agentes Desinfetantes

A ação dos desinfetantes pode ser explicada por três mecanismos principais: i) destruição da célula, com danos ao citoplasma, núcleo ou parede celular; ii) alteração de

funções essenciais, como DNA ou RNA, proteínas e coenzimas, o que afeta os processos de síntese e crescimento celular; e iii) interferência nas enzimas e seus substratos, tornando as enzimas não funcionais e desequilibrando o balanço de energia na célula (Gonçalves, 2003).

### **3.1.3. Condições que Influenciam a Desinfecção**

Segundo Chernicharo (2001), a eficiência da desinfecção pode variar conforme o tempo de contato, concentração e tipo do agente químico, temperatura, número e tipo de organismos, natureza do líquido, intensidade e natureza do agente físico, que serão discutidos nas próximas seções.

#### **3.1.3.1. Tempo de Contato**

Em relação ao tempo de contato, quanto maior for o tempo de exposição, maior será a destruição dos microrganismos, tornando-se um dos principais fatores que determinam a eficiência da desinfecção. Os reatores são projetados com base nesse parâmetro, sendo que, para o dimensionamento, é comum adotar tempos de contato entre 15 e 45 minutos. Em operações com vazões máximas, o tempo de contato tende a ser reduzido, utilizando-se 15 minutos (Chernicharo, 2001).

#### **3.1.3.2. Concentração e Tipo do Agente Químico**

No que diz respeito à concentração, de maneira geral, uma maior quantidade de desinfetante resulta em um processo de desinfecção mais rápido e eficiente, dentro de certos limites. O tipo de desinfetante utilizado influencia diretamente sua ação, e, portanto, a eficácia do processo de desinfecção depende tanto da concentração quanto do tempo de exposição. Esses dois fatores devem ser cuidadosamente ajustados e equilibrados para atingir o nível de destruição desejado (Chernicharo, 2001).

#### **3.1.3.3. Temperatura**

Já o aumento da temperatura acelera o processo de desinfecção, segundo a relação de Arrhenius, visto que uma maior energia térmica eleva a velocidade das reações envolvidas na inativação dos microrganismos pelo agente desinfetante (Chernicharo, 2001).

#### **3.1.3.4. Número e Tipo de Organismos**

A relação entre a quantidade de patógenos e o tempo de desinfecção é diretamente proporcional. Quanto maior a concentração inicial de microrganismos, maior será o tempo

necessário para a eliminação deles. No entanto, a eficiência do processo não é afetada pela concentração inicial. Um desinfetante eficaz manterá a taxa de eliminação, independentemente do número inicial de organismos (Chernicharo, 2001).

No entanto, a natureza e condições dos agentes patogênicos afetam a eficiência dos desinfetantes. Por exemplo, a presença dos esporos em algumas bactérias torna o processo de desinfecção mais difícil, devido à resistência ao calor, desidratação e produtos químicos que essas estruturas apresentam (Chernicharo, 2001).

#### 3.1.3.5. Natureza do Líquido

A composição do líquido influencia a eficiência do processo de desinfecção devido à presença de materiais orgânicos, como proteínas, lipídios, carboidratos e secreções corporais. Essas substâncias reagem com os agentes oxidantes, formando subprodutos que diminuem a eficácia do processo (Chernicharo, 2001).

#### 3.1.3.6. Intensidade e Natureza do Agente Físico

No que diz respeito aos agentes físicos, podem ser citados como exemplos a luz e o calor. Ambos dependem da intensidade e do tempo de exposição aplicados para garantir a eficácia do processo. A luz, especialmente a radiação ultravioleta (UV), atua danificando o material genético dos patógenos, impedindo sua replicação e, assim, inibindo sua capacidade de causar infecção. O calor, por sua vez, atua a partir de temperaturas elevadas, promovendo a desnaturação das proteínas dos microrganismos, o que interrompe processos metabólicos essenciais e leva à destruição dos patógenos (Chernicharo, 2001).

### 3.2. CLORO

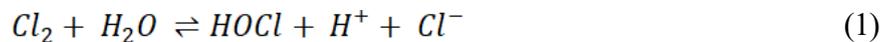
O cloro é um elemento químico da família dos halogênios, pertencente ao grupo 17 da tabela periódica, e possui 7 elétrons em sua camada de valência. Ele foi o primeiro halogênio a ser descoberto, em 1774, por Carl Wilhelm Scheele, que identificou e estudou o gás obtido a partir do aquecimento de ácido clorídrico (HCl) com dióxido de manganês (MnO<sub>2</sub>) (Costa, 2021).

O gás cloro (Cl<sub>2</sub>) é amarelo-esverdeado e possui uma densidade maior do que a do ar nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Quando comprimido a pressões

superiores à sua pressão de vapor, o cloro se condensa, passando para o estado líquido e reduzindo seu volume em aproximadamente 450 vezes (Gonçalves, 2003).

Quando dissolvido na água, o cloro atua como desinfetante, eliminando ou inativando microrganismos patogênicos, e como oxidante, reagindo com compostos orgânicos e inorgânicos presentes. Um termo comumente utilizado para determinar a concentração de cloro no meio é o "cloro livre disponível", que se refere à concentração de gás cloro, ácido hipocloroso (HOCl) e hipoclorito ( $OCl^-$ ) (Chernicharo, 2001).

A reação do cloro em água pode ser representada pela equação 1:



O equilíbrio químico da reação acima é deslocado para a direita quando a solução apresenta pH acima de 4 e está diluída, formando mais ácido hipocloroso (HOCl) (Chernicharo, 2001).

Quando o pH do meio está acima de 6, o HOCl dissocia-se formando o hipoclorito (equação 2).



### 3.3. HIPOCLORITO DE SÓDIO

Claude Louis Berthollet, em 1789, na cidade de Paris, realizava seus estudos sobre as reações entre o gás cloro e o hidróxido de potássio (KOH). Esses experimentos ocorreram em uma fábrica localizada no bairro de Javel e resultaram na obtenção de um líquido com propriedades de branqueamento para tecidos de algodão. O produto rapidamente fez muito sucesso na indústria têxtil (Black & Veatch Corporation, 2010).

Posteriormente, Labarraque fez uma importante modificação nesse processo, substituindo o hidróxido de potássio por hidróxido de sódio. Essa alteração foi feita principalmente por razões econômicas, já que o hidróxido de sódio tinha um custo inferior. Possivelmente, foi nessa etapa que ocorreu o primeiro uso do hipoclorito de sódio como alvejante, produto que viria a ser amplamente utilizado em diversas áreas, não só na indústria têxtil, mas também na desinfecção e limpeza (Black & Veatch Corporation, 2010).

O hipoclorito de sódio é um sal inorgânico obtido a partir da reação entre o gás cloro e o hidróxido de sódio (NaOH). Ele é altamente solúvel em água e, quando dissolvido, forma uma solução alcalina, com pH variando de 11,5 a 12,5. Esta faixa de pH contribui para o seu caráter corrosivo, que ocorre devido à presença de íons  $\text{OH}^-$  (hidróxido) na solução (Simão, 2013).

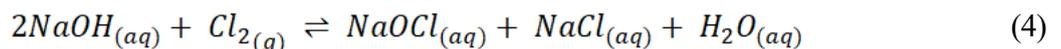
O hipoclorito de sódio (NaOCl) possui densidade relativa de 1,06 a 20°C. Além disso, o composto apresenta um forte poder oxidante devido ao íon hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), que é responsável pela capacidade do NaOCl de reagir com uma ampla gama de substâncias, como tecidos biológicos, metais e outros materiais. Essa capacidade de oxidação é um dos motivos de seu uso eficaz como desinfetante, alvejante e agente antimicrobiano (Simão, 2013).

A dissociação do hipoclorito de sódio em solução aquosa pode ser representada pela equação 3 (Chernicharo, 2001):



### 3.4. PRODUÇÃO INDUSTRIAL DO HIPOCLORITO DE SÓDIO COMERCIAL

A produção de hipoclorito de sódio é realizada pela reação entre uma solução diluída de hidróxido de sódio (soda cáustica) e gás cloro, conforme a equação 4:

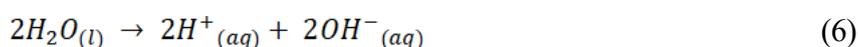
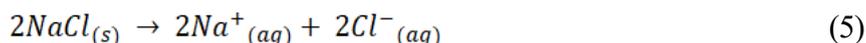


Essa reação é altamente exotérmica, fazendo-se necessário o uso de trocadores de calor para manter a temperatura adequada do processo. Além disso, o controle rigoroso do pH é essencial para evitar a formação de subprodutos indesejados, como o clorato de sódio ( $\text{NaClO}_3$ ).

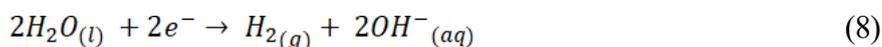
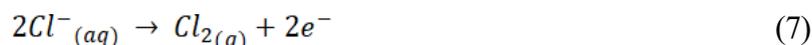
Após a reação, a solução resultante contém hipoclorito de sódio (NaOCl) e impurezas, como o cloreto de sódio (NaCl). Para remover essas impurezas, o produto passa por um sistema de filtração. Finalmente, o hipoclorito de sódio purificado é armazenado em tanques apropriados, protegidos da luz e do calor, para preservar sua estabilidade e eficácia (Clorosur, 2025; Lucca, 2006).

### 3.5. ELETRÓLISE DA SALMOURA

A eletrólise é um processo eletroquímico que utiliza corrente elétrica para promover uma reação de oxirredução não espontânea (Costa, 2024). A salmoura consiste em uma solução aquosa concentrada de cloreto de sódio (NaCl) (Mineiro *et al.*, 2024). A primeira etapa do processo de eletrólise da salmoura consiste na reação de dissociação do NaCl (equação 5) e autoionização da água (equação 6) (Rocha, 2023).



Em seguida, no ânodo, os íons cloreto sofrem oxidação liberando gás cloro a partir da equação 7. E no cátodo ocorre a redução da água formando gás hidrogênio e íons hidroxila (equação 8) (Rocha, 2023).



Por fim, os íons sódio e hidroxila em solução formarão o hidróxido de sódio, que reage com o gás cloro formando o hipoclorito de sódio (equação 4) (Rocha, 2023).

### 3.6. NORMAS E REGULAMENTAÇÕES PARA O HIPOCLORITO DE SÓDIO

#### 3.6.1. RDC N° 699/2022

A RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC N° 699, de 13 de maio de 2022, da ANVISA, “[...] estabelece os requisitos mínimos para o registro de produto saneante categorizado como alvejante à base de hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio.”. (Brasil, 2022, cap. I, art. 1)

A RDC detalha as especificações técnicas, critérios de qualidade e segurança que devem ser atendidos pelos fabricantes para obter a aprovação e comercialização desses produtos no Brasil.

### **3.6.2. ABNT NBR 11833/2022**

A ABNT NBR 11833/2022, de 20 de dezembro de 2022, “[...] estabelece a especificação técnica, a amostragem e os métodos de ensaios do hipoclorito de sódio, para aplicação no tratamento de água para abastecimento público e efluentes sanitários.” (ABNT, 2022, p. 1)

Essa norma define os parâmetros de qualidade e segurança que o hipoclorito de sódio deve atender para ser eficaz e seguro.

## 4 METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia adotada no presente trabalho, incluindo os materiais, equipamentos e procedimentos utilizados.

Todas as análises foram realizadas em triplicata, assegurando a reprodutibilidade, confiabilidade e precisão dos resultados. Seguindo as diretrizes estabelecidas pela Norma ABNT NBR 11833/2022, garantindo a conformidade com os padrões regulatórios vigentes.

### 4.1. MATERIAS UTILIZADOS

Foram analisadas cinco marcas de água sanitária comercial, denominadas Água Sanitária Comercial 1, 2, 3, 4 e 5, além do hipoclorito de sódio produzido *in loco*.

### 4.2. PREPARAÇÃO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO *IN LOCO*

O hipoclorito de sódio foi produzido no Laboratório de Saneamento Ambiental - LSA do CTG/UFPE, por meio da eletrólise da salmoura, uma solução aquosa concentrada de cloreto de sódio.

O reator utilizado é um Hidrogeron® GE-150 (Figura 1), composto por chapas de titânio G1 revestidas com um ânodo dimensionalmente estável (DSA), com fonte de corrente alternada com alimentação de 220V e 6A. As chapas possuem um espaçamento de 3 mm, definido por ensaios para otimizar o consumo elétrico e permitir possíveis incrustações. As células não possuem diafragma, mantendo ânodo e cátodo no mesmo meio aquoso.

Para a produção, 140 litros de água foram adicionados ao gerador estático Hidrogeron® GE-150. Em seguida, 6 kg de cloreto de sódio não iodado foram incorporados à solução, que foi devidamente homogeneizada. O reator foi então fechado e conectado à fonte de energia elétrica, permanecendo em operação por 24 horas, onde o sistema foi desligado automaticamente após esse período.

Figura 1 - Reator Hidrogeron® GE-150



Fonte: Gerador de Hipoclorito de Sódio (cloro) IN LOCO Série Gerador Estático - Grupo Hidrogeron (2021)

#### 4.3. DETERMINAÇÃO EM MASSA DE CLORO ATIVO

Conforme a ABNT NBR 11833/2022, pesou-se 5,5 g da amostra em uma balança analítica e transferiu-se para um balão volumétrico, completando o volume com água destilada. A solução foi homogeneizada e, em seguida, pipetaram-se 10 mL da solução para um erlenmeyer de 250 mL. Adicionaram-se 1 g de iodeto de potássio cristalino, 4 mL de ácido acético glacial e 100 mL de água destilada. A titulação foi realizada com tiosulfato de sódio 0,1 M até o enfraquecimento da coloração amarela. Nesse ponto, adicionaram-se 20 gotas de solução indicadora de amido 0,5%, e a titulação foi continuada até a coloração azul tornar-se incolor.

O teor de cloro ativo expresso em massa de cloro é dado pela equação 9:

$$\%Cl_2 = \frac{V \times f \times 3,545}{m_1} \quad (9)$$

Onde,

$\%Cl_2$  é a concentração de cloro ativo (%);

$V$  é o volume de tiosulfato de sódio 0,1 M gasto na titulação (mL);

$f$  é o fator de correção da solução de tiosulfato de sódio 0,1 M;

$m_1$  é a massa da amostra (g).

#### 4.3.1. Cinética de Degradação do Teor de Cloro Ativo

Para a análise cinética de degradação do teor de cloro ativo, o procedimento descrito no tópico 4.3 é repetido em diferentes intervalos de tempo. Neste estudo, as análises foram realizadas nos seguintes tempos: 1h, 6h, 19h, 64h, 117h, 143h, 190h, 281h, 304h, 355h, 380h, 453h e 503h. Os tempos de análise foram selecionados de modo a permitir a avaliação do teor de cloro ativo nas primeiras 24 horas após a produção, bem como identificar o momento em que esse teor começaria a decair. As amostragens foram realizadas com maior frequência nas primeiras 24 horas e, posteriormente, em intervalos progressivamente maiores, totalizando 503 horas de monitoramento. As amostras permaneceram armazenadas no próprio reator, sob temperatura ambiente, durante todo o período de observação.

#### 4.4. DETERMINAÇÃO DE ALCALINIDADE HIDRÓXIDA

Conforme a ABNT NBR 11833/2022, pesaram-se 10 g de hipoclorito de sódio em um béquer de 200 mL, e adicionou-se solução de peróxido de hidrogênio 3% até a cessação da efervescência. A solução foi aquecida em chapa aquecedora até a fervura por 2 minutos e, posteriormente, resfriada até atingir a temperatura ambiente. Em seguida, pipetaram-se 10 mL da solução para um erlenmeyer de 250 mL. Adicionaram-se 5 gotas de solução indicadora de fenolftaleína e realizou-se a titulação com ácido clorídrico 0,1 M até a mudança de coloração de rosa para incolor, registrando-se o volume consumido como  $V_1$ . Posteriormente, adicionaram-se 5 gotas de solução indicadora de alaranjado de metila, e a titulação foi continuada até a alteração da coloração de amarelo para laranja, registrando-se o volume total de ácido clorídrico consumido como  $V_2$ .

O valor de alcalinidade hidróxida é expresso como NaOH e dado pela equação 10:

$$\%NaOH = \frac{(2V_1 - V_2) \times f \times 0,4}{m_1} \quad (10)$$

Onde,

$\%NaOH$  é a alcalinidade hidróxida (%);

$V_1$  é o volume de ácido clorídrico 0,1 M gasto na titulação utilizando solução indicadora de fenolftaleína (mL);

$V_2$  é o volume de ácido clorídrico 0,1 M gasto na titulação utilizando solução indicadora de alaranjado de metila (mL);

$f$  é o fator de correção da solução de ácido clorídrico 0,1 M;

$m_1$  é a massa da amostra (g).

#### 4.5. DETERMINAÇÃO DE RESÍDUO INSOLÚVEL

Conforme a ABNT NBR 11833/2022, inicialmente, um vidro de relógio contendo um papel de filtro quantitativo foi colocado em estufa a uma temperatura entre  $107,5 \pm 2,5$  °C por 15 minutos. Em seguida, o conjunto foi resfriado em um dessecador à temperatura ambiente e posteriormente pesado. Paralelamente, pesaram-se 100 g da amostra em uma balança analítica.

A amostra foi então dissolvida em 500 mL de água destilada e agitada com um bastão de vidro até completa dissolução. A solução foi filtrada em um sistema a vácuo, utilizando um funil de Buchner e o papel de filtro previamente preparado. O conjunto (funil com papel de filtro e bquer) foi lavado três vezes com água destilada para garantir a remoção de resíduos solúveis.

O resíduo retido no papel de filtro, juntamente com o vidro de relógio, foi seco em estufa a  $107,5 \pm 2,5$  °C por, no mínimo, 1 hora. Após esse período, o conjunto foi novamente resfriado em um dessecador à temperatura ambiente e pesado.

O valor em massa de resíduo insolúvel é dado pela equação 11:

$$RI = \frac{(m_f - m_i)}{m_a} \times 100 \quad (11)$$

Onde,

$RI$  é o teor de resíduo insolúvel em água (%);

$m_f$  é a massa do conjunto resíduo insolúvel seco + vidro de relógio com papel de filtro (g);

$m_i$  é a massa do vidro de relógio com o papel de filtro (g);

$m_a$  é a massa da amostra (g).

#### 4.6. DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE

Conforme a ABNT NBR 11833/2022, pesou-se, em uma balança analítica, um balão volumétrico limpo e seco de 50 mL. Em seguida, o balão foi preenchido com a amostra até a marca de aferição. Por fim, realizou-se a pesagem do balão contendo a amostra. Toda análise foi feita em temperatura ambiente.

O valor de densidade da amostra é dado pela equação 12:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{50} \quad (12)$$

Onde,

$D$  é a densidade específica da amostra ( $\text{g/cm}^3$ );

$m_2$  é a massa do balão volumétrico com a amostra (g);

$m_1$  é a massa do balão volumétrico vazio (g).

#### 4.7. DETERMINAÇÃO DE PH

A determinação do pH da solução de hipoclorito de sódio foi realizada utilizando um pHmetro previamente calibrado. A calibração do equipamento foi feita por meio da imersão do eletrodo em soluções tampão de pH 4,00, pH 7,00 e pH 10,00. Em seguida, o eletrodo de vidro foi enxaguado com água destilada, seco e imerso na amostra. A leitura do pH foi registrada após a estabilização do valor exibido.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentam-se os resultados encontrados na pesquisa em questão. Será abordada a verificação da conformidade de alvejantes comerciais com as normas técnicas e regulamentações vigentes. Além da caracterização e cinética de degradação do teor de cloro ativo do hipoclorito de sódio produzido no laboratório. Por fim, são discutidas as semelhanças ou não do NaOCl produzido no laboratório com os desinfetantes comerciais.

### 5.1. VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE DE DESINFETANTES COMERCIAIS

#### 5.1.1. Determinação em Massa de Cloro Ativo

Os resultados da determinação em massa de cloro ativo nas amostras de águas sanitárias comerciais são apresentados na Tabela 1, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 1 – Resultados da determinação em massa de cloro ativo nas amostras de águas sanitárias comerciais

Água Sanitária Comercial	Teor de Cloro Ativo (%)	Rótulo
1	2,48 ± 0,04	
2	2,50 ± 0,01	
3	2,33 ± 0,04	2,25 ± 0,25
4	2,44 ± 0,00	
5	2,69 ± 0,01	

Fonte: A Autora (2025).

A Resolução RDC nº 699/2022 estabelece que os alvejantes comuns devem apresentar uma concentração de cloro ativo entre 2,0% e 3,9%. Concentrações acima de 3,9% aumentam a corrosividade do alvejante, causando danos às superfícies metálicas e riscos à saúde. Todas as amostras de águas sanitárias comerciais analisadas atenderam a esse requisito.

No entanto, ao comparar os valores obtidos com as informações declaradas nos rótulos das embalagens, observou-se que apenas as amostras 3 e 4 apresentaram concordância com os teores especificados. A amostra 5 apresentou um teor de cloro ativo entre 2,68% e 2,71%, ficando totalmente fora do valor declarado no rótulo. Já as amostras 1 e 2, embora fora da faixa indicada, estão muito próximas do limite máximo, com valores próximos a 2,50%.

### 5.1.2. Determinação de Alcalinidade Hidróxida

Os resultados da determinação de alcalinidade hidróxida nas amostras de águas sanitárias comerciais são apresentados na Tabela 2, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 2 – Resultados da determinação de alcalinidade hidróxida nas amostras de águas sanitárias comerciais

Água Sanitária Comercial	Alcalinidade Hidróxida (%)
1	0,42 ± 0,01
2	0,42 ± 0,02
3	0,41 ± 0,02
4	0,36 ± 0,00
5	0,36 ± 0,00

Fonte: A Autora (2025).

Segundo a ABNT NBR 11833/2022, os valores de alcalinidade hidróxida em águas sanitárias comerciais devem ser maiores ou iguais a 0,3%. Todas as amostras analisadas atenderam a esse requisito.

O NaOCl se decompõe lentamente em meio ácido ou neutro, liberando gás cloro, reduzindo a eficácia como desinfetante. Black & Veatch Corporation (2010) diz que soluções de hipoclorito são mais estáveis quando mantidas em pH alcalino. Logo, devido a presença de NaOH, a alcalinidade hidróxida maior ou igual a 0,3% mantém o pH elevado retardando a decomposição e garantindo a eficácia do produto.

### 5.1.3. Determinação de Resíduo Insolúvel

Os resultados da determinação de resíduo insolúvel nas amostras de águas sanitárias comerciais são apresentados na Tabela 3, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 3 – Resultados da determinação de resíduo insolúvel nas amostras de águas sanitárias comerciais

Água Sanitária Comercial	Resíduo Insolúvel (%)
1	-0,14 ± 0,01
2	-0,02 ± 0,02
3	-0,01 ± 0,00
4	-0,02 ± 0,01
5	-0,31 ± 0,44

Fonte: A Autora (2025).

De acordo com Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (2021), os principais componentes da água sanitária (hipoclorito de sódio e hidróxido de sódio) são altamente solúveis em água, por isso, soluções de água sanitária comerciais geralmente não apresentam precipitados. Com relação aos valores negativos, é possível que o cloro tenha oxidado o papel de filtro, por isso o valor inicial,  $m_i$ , foi maior. O hipoclorito de sódio é um agente oxidante forte, capaz de reagir com materiais orgânicos, como a celulose presente no papel de filtro, promovendo sua degradação (Carvalho, 2000).

#### 5.1.4. Determinação de Densidade

Os resultados da determinação de densidade nas amostras de águas sanitárias comerciais são apresentados na Tabela 4, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 4 – Resultados da determinação de densidade nas amostras de águas sanitárias comerciais

Água Sanitária Comercial	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,04 ± 0,00
2	1,04 ± 0,00
3	1,04 ± 0,00
4	1,05 ± 0,00
5	1,04 ± 0,00

Fonte: A Autora (2025).

A partir da tabela 4, nota-se que os valores de densidade estão entre 1,04 e 1,05 g/cm<sup>3</sup>. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2023), a densidade da água sanitária comercial varia entre 1,03 e 1,04 g/cm<sup>3</sup>, dependendo da concentração de hipoclorito de sódio. Apenas a água sanitária de número 4 está um pouco acima da faixa, indicando um aumento na concentração de solutos dissolvidos.

#### 5.1.5. Determinação de pH

Os resultados da determinação de pH nas amostras de águas sanitárias comerciais são apresentados na Tabela 5, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 5 – Resultados da determinação de pH nas amostras de águas sanitárias comerciais

Água Sanitária Comercial	pH
1	14,04 ± 0,01
2	14,00 ± 0,01
3	13,99 ± 0,02
4	13,89 ± 0,01
5	13,85 ± 0,01

Fonte: A Autora (2025).

A RDC nº 699/2022 define que os alvejantes comuns devem apresentar um pH máximo de 13,5 de produto puro. Constata-se, na tabela 5, que as amostras analisadas estão todas acima do limite permitido. Masterton e Hurley (2016) fala que um pH de 14 representa uma elevada concentração de íons  $\text{OH}^-$ , indicando um excesso de NaOH na solução, caracterizando um meio extremamente alcalino. Segundo Atkins e Jones (2018), soluções altamente alcalinas podem causar queimaduras na pele e olhos. Além disso, o hidróxido de sódio pode acelerar a corrosão de metais como alumínio, cobre, bronze e ligas de zinco (Callister; Rethwisch, 2021).

## 5.2. CARACTERIZAÇÃO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO *IN LOCO*

Os resultados da determinação em massa de cloro ativo, alcalinidade hidróxida, resíduo insolúvel, densidade e pH para o NaOCl produzido *in loco* são apresentados na Tabela 6, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 6 – Resultados da caracterização do hipoclorito de sódio produzido *in loco*

Amostra	Teor de Cloro Ativo (%)	Alcalinidade Hidróxida (%)	Resíduo Insolúvel (%)	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	pH
NaOCl <i>in loco</i>	0,22 ± 0,08	0,00 ± 0,00	-0,01 ± 0,00	1,05 ± 0,00	9,62 ± 0,03

Fonte: A Autora (2025).

A baixa concentração de cloro ativo indica que a conversão de gás cloro em hipoclorito não foi tão eficiente, a razão pode estar ligada a fatores como tempo de eletrólise, temperatura e concentração inicial de cloreto de sódio na solução (Fatibello-Filho *et al.*, 2016).

A ausência de alcalinidade hidróxida indica que a conversão de hidróxido de sódio foi incompleta ou que o pH da solução não favoreceu a formação de  $\text{ClO}^-$  (Von Sontag, 2008).

A ausência de resíduo insolúvel se deve ao fato de que não houve formação de precipitados significativos. Isso é relevante porque a presença de impurezas pode afetar a eficiência do hipoclorito como desinfetante e oxidante (Black & Veatch Corporation, 2010).

A densidade da solução ( $1,05 \text{ g/cm}^3$ ) indica uma concentração moderada de solutos dissolvidos.

O pH medido ( $9,62 \pm 0,03$ ) está dentro da faixa esperada para soluções de hipoclorito de sódio, porém se encontra próximo ao limite inferior de estabilidade. O hipoclorito é mais estável em pH acima de 10, pois em valores mais baixos ocorre a formação de ácido hipocloroso (HOCl), que tem maior poder oxidante, mas também é mais volátil e instável (GORDON *et al.*, 1995).

### 5.3. CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO TEOR DE CLORO ATIVO DO DESINFETANTE PRODUZIDO *IN LOCO*

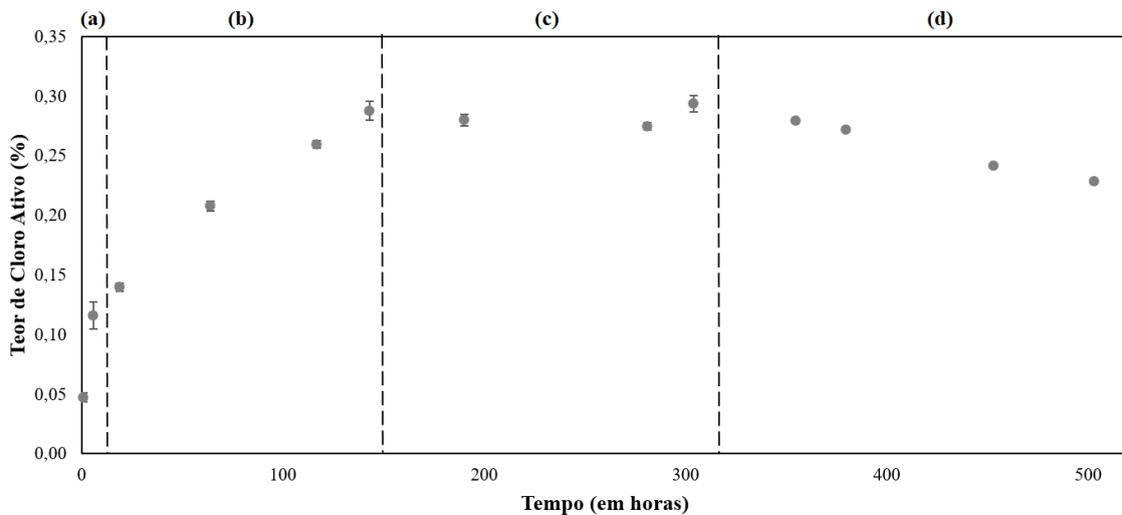
Os resultados referentes à cinética de degradação do teor de cloro ativo para o NaOCl produzido *in loco* são apresentados na Tabela 7 e Figura 2, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 7 – Resultados da cinética de degradação do teor de cloro ativo para o NaOCl produzido *in loco*

Tempo (em horas)	Teor de Cloro Ativo (%)
1	$0,05 \pm 0,00$
6	$0,12 \pm 0,01$
19	$0,14 \pm 0,00$
64	$0,21 \pm 0,00$
117	$0,26 \pm 0,00$
143	$0,29 \pm 0,01$
190	$0,28 \pm 0,00$
281	$0,27 \pm 0,00$
304	$0,29 \pm 0,01$
355	$0,28 \pm 0,00$
380	$0,27 \pm 0,01$
453	$0,24 \pm 0,01$
503	$0,23 \pm 0,00$

Fonte: A Autora (2025).

Figura 2 – Comportamento cinético da degradação do teor de cloro ativo para o NaOCl produzido *in loco*



Fonte: A Autora (2025).

Nas primeiras 143 horas, observa-se um aumento no teor de cloro ativo, passando de 0,05% para 0,29%. Ressaltando um aumento exponencial do teor de cloro na região (a), equivalente as 6 primeiras horas, seguido de um aumento mais gradativo na região (b), de 6 a 143 horas. De acordo com Garcia (2018), após a produção eletrolítica, o hipoclorito de sódio pode continuar a formar-se até que o sistema atinja um estado de equilíbrio completo. Logo, esse aumento pode ser atribuído à continuidade das reações eletroquímicas residuais.

Após 143 horas, é possível notar uma estabilização, região (c), por volta de 0,27% a 0,29% até aproximadamente 304 horas. Essa estabilização é possivelmente devido à formação de equilíbrios químicos (Garcia, 2018).

A partir de 304 horas, observa-se um declínio contínuo no teor de cloro ativo, chegando a 0,23% após 503 horas. Esse comportamento pode ser explicado pela degradação natural do hipoclorito de sódio, que é acelerada por condições inadequadas de armazenamento, como exposição à luz, calor e presença de contaminantes metálicos (Pinto, 2014).

#### 5.4. COMPARATIVO ENTRE OS ALVEJANTES COMERCIAIS E O PRODUZIDO *IN LOCO*

Os resultados da determinação em massa de cloro ativo, alcalinidade hidróxida, resíduo insolúvel, densidade e pH para o NaOCl produzido *in loco* e os alvejantes comerciais são apresentados na Tabela 8, expressos como média das análises acompanhada do desvio padrão.

Tabela 8 – Resultados da caracterização do hipoclorito de sódio produzido *in loco*

Amostra	Teor de Cloro Ativo (%)	Alcalinidade Hidróxida (%)	Resíduo Insolúvel (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	pH
NaClO <i>in loco</i>	0,22 ± 0,08	0,00 ± 0,00	-0,01 ± 0,00	1,05 ± 0,00	9,62 ± 0,03
Alvej. Comercial 1	2,48 ± 0,04	0,42 ± 0,01	-0,14 ± 0,01	1,04 ± 0,00	14,04 ± 0,01
Alvej. Comercial 2	2,50 ± 0,01	0,42 ± 0,02	-0,02 ± 0,02	1,04 ± 0,00	14,00 ± 0,01
Alvej. Comercial 3	2,33 ± 0,04	0,41 ± 0,02	-0,01 ± 0,00	1,04 ± 0,00	13,99 ± 0,02
Alvej. Comercial 4	2,44 ± 0,00	0,36 ± 0,00	-0,02 ± 0,01	1,05 ± 0,00	13,89 ± 0,01
Alvej. Comercial 5	2,69 ± 0,01	0,36 ± 0,00	-0,31 ± 0,44	1,04 ± 0,00	13,85 ± 0,01

Fonte: A Autora (2025).

O teor de cloro ativo do NaOCl *in loco* (0,22 ± 0,08) é significativamente inferior aos alvejantes comerciais (2,33% a 2,69%), o que pode indicar menor eficácia desinfetante. O hipoclorito produzido *in loco* pode ser adequado para aplicações de curta duração, como desinfecção imediata de superfícies, mas sua baixa concentração reduz sua viabilidade para usos industriais ou em larga escala (Black & Veatch Corporation, 2010).

A alcalinidade hidróxida do hipoclorito *in loco* é 0,00%, enquanto nos alvejantes comerciais varia entre 0,36% e 0,42%. Essa alcalinidade é essencial para estabilizar o hipoclorito, evitando sua degradação ao longo do tempo (FATIBELLO-FILHO *et al.*, 2016). A ausência de alcalinidade sugere que o produto *in loco* degrada mais rápido, devendo ser utilizado logo após a produção.

No que diz respeito ao resíduo insolúvel e a densidade, as amostras se assemelham. Para o resíduo, todas apresentaram ausência nesse parâmetro, indicando a ausência de precipitados significativos. Já em termos de densidade, o NaOCl *in loco* apresenta 1,05 g/cm<sup>3</sup> e os alvejantes comerciais de 1,04 a 1,05 g/cm<sup>3</sup>, indicando que a concentração de solutos dissolvidos é comparável.

O pH do NaOCl *in loco* (9,62 ± 0,03) é inferior aos dos alvejantes comerciais (entre 13,85 e 14,04), o que compromete sua estabilidade (Gordon *et al.*, 1995). Esse resultado sugere que a solução produzida *in loco* pode perder seu efeito mais rápido.

## 6 CONCLUSÃO

No presente estudo foi feita a análise comparativa entre o hipoclorito de sódio produzido *in loco* e os desinfetantes comerciais, considerando sua conformidade com normas técnicas e regulamentações vigentes. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que os alvejantes comerciais apresentaram concentrações de cloro ativo dentro dos limites estabelecidos pela RDC nº 699/2022, embora algumas amostras não estivessem em conformidade com os valores declarados nos rótulos. Por outro lado, todas atenderam aos requisitos de alcalinidade hidróxida, resíduo insolúvel e densidade esperados. Quanto ao pH, os valores observados em todas as amostras ficaram acima do limite máximo permitido.

No que diz respeito ao hipoclorito de sódio produzido *in loco*, ele apresentou um teor de cloro ativo significativamente inferior (aproximadamente 0,22%), acompanhado de uma ausência de alcalinidade hidroxídica e um pH mais baixo (9,62), fatores que comprometem sua estabilidade. A cinética de degradação do cloro ativo evidenciou uma fase inicial de aumento seguido por estabilização e posterior declínio, indicando que a solução produzida *in loco* tem uma vida útil reduzida quando comparada aos produtos comerciais.

Os resultados obtidos mostram que os alvejantes comerciais possuem maior estabilidade devido à presença de hidróxido de sódio, que eleva o pH e retarda a degradação do cloro ativo. Enquanto o NaOCl produzido *in loco* pode ser utilizado para aplicações imediatas, porém sua eficiência em longo prazo é limitada. Diante dessas diferenças, torna-se necessária uma legislação específica para as águas sanitárias produzidas *in loco*.

## REFERÊNCIAS

ALBERTS, B.; BRAY, D.; HOPKIN, K.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Fundamentos da biologia celular**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES. **Manual das águas sanitárias: guia completo sobre este produto**. Disponível em: <<https://abes-es.org.br/manual-das-aguas-sanitarias-guia-completo-sobre-este-produto/>>. Acesso em: 9 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11833: informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2022.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BÍBLIA. **Bíblia Sagrada: Antigo e Novo Testamento**. Tradução de João Ferreira de Almeida. Revista e Atualizada. 2. ed. Barueri, SP: Sociedade Bíblica do Brasil, 1993.

BLACK & VEATCH CORPORATION. **White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants**. 5. ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 699, de 13 de maio de 2022. Dispõe sobre boas práticas regulatórias no âmbito da Anvisa**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 maio 2022.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

CHERNICHARO, C.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios por sistemas de desinfecção. In: CHERNICHARO, C.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B (Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Rio de Janeiro: FINEP/PROSAB, 2001.

CARVALHO, V. A. M. de; *et al.* **Pesquisa da influência do pH, temperatura e tempo no alvejamento com hipoclorito de sódio.** In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA TÊXTIL**, 2000, Natal-RN. Anais [...]. Natal: [s.n.], 2000. p. 1–7.

CLOSUR. **Hipoclorito de Sódio.** Disponível em: <<https://www.clorosur.org/pt/hipoclorito-de-sodio/>>. Acesso em: 8 abr. 2025.

COSTA, C. D. da. **Hipoclorito e clorito de sódio: comparação de estabilidade de cloro livre.** 2021. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021.

COSTA, M. B. **O hidrogênio verde e a eletrólise da água: uma abordagem contextualizada para o ensino de eletroquímica na educação de jovens e adultos.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, 30 nov. 2024.

FATIBELLO-FILHO, O. *et al.* **Eletroquímica aplicada: fundamentos e aplicações.** São Paulo: Blucher, 2016.

FERREIRA FILHO, S.; SAKAGUTI, M. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 198-206, jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200010>. Acesso em: 6 jan. 2025.

GARCIA, R. C. D. **Avaliação da substituição do cloro gás pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio *in loco* em estação de tratamento de água de grande porte.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

**Gerador de Hipoclorito de Sódio (cloro) IN LOCO Série Gerador Estático - Grupo Hidrogeron.** Disponível em: <<https://hidrogeron.com/produtos/gerador-de-hipoclorito-de-sodio-cloro-in-loco-serie-gerador-estatico/>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 438 p. Il. Projeto PROSAB. ISBN 85-86552-72-0.

GORDON, G. *et al.* **The Chemistry of Chlorine, Bromine, and Iodine in Water Treatment**. New York: Lewis Publishers, 1995.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022: Rede de esgoto alcança 62,5% da população, mas desigualdades regionais e por cor e raça persistem**. Agência de Notícias. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-persistem>. Acesso em: 6 jan. 2025.

KIRK-OTHMER. **Encyclopedia of Chemical Technology**. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2021.

LUCCA, L. **Controle de qualidade do hipoclorito de sódio no processo de produção**. 2006. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Florianópolis, 2006.

MASTERTON, W. L.; HURLEY, C. N. **Química: princípios e reações**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2016.

MINEIRO, B.; SANTOS, F.; FURTADO, L.; FORTUNATO, J.; ROCHA, J. T.; BRANCO, M. J.; MENDONÇA, M. J.; MAZEMBE, T. **Produção de Hipoclorito de Sódio**. 2024. Trabalho acadêmico – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Licenciatura em Engenharia Química, Porto, 2024.

PINTO, T. C. F. **Estudo da estabilidade do hipoclorito de sódio: influência de fatores ambientais e tipo de embalagem.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade do Minho, Braga, 2014.

ROBINSON, M.; WARD, R. C. **Hydrology: Principles and Processes.** London: IWA Publishing, 2017.

ROCHA, J. C. do N. **Desinfecção de efluente sanitário anaeróbico com cloro: formação de trihalometanos e inativação microbiana.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SILVA, I. B. da. **Análise dos indicadores de água e esgoto: um estudo de caso na sub-bacia do Rio Alto Piranhas no Sertão Paraibano.** [64 f.]. Monografia (Bacharelado em Administração) – Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, 2016.

SIMÃO, L. **Avaliação da eficiência do uso de hipoclorito de sódio na desinfecção de efluentes sanitários: estudo de caso: SAMAE de Sombrio, SC.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos, 2017: **Águas residuais: o recurso inexplorado.** Resumo executivo. SC-2017/WS/1. 12 p., il. Lisboa: UNESCO, 2017.

VON SONTAG, C. **The Chemistry of Chlorine in Water and Wastewater Treatment.** Cambridge: Cambridge University Press, 2008.