



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS - CE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA - DET
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

BRUNA RAQUEL BEZERRA FÉLIX

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E CONTROLE DA
QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE SAL NA EMPRESA SALINOR – SALINAS DO
NORDESTE S/A**

MOSSORÓ

2022

BRUNA RAQUEL BEZERRA FÉLIX

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E CONTROLE DA
QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE SAL NA EMPRESA SALINOR – SALINAS DO
NORDESTE S/A**

Relatório de estágio apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, referente ao acompanhamento do processo produtivo e controle de qualidade da empresa SALINOR – Salinas do Nordeste S/A, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Gecílio Pereira da Silva, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B316a Bezerra Félix, Bruna Raquel.
ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E
CONTROLE DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE SAL NA
EMPRESA SALINOR ? SALINAS DO NORDESTE S/A / Bruna
Raquel Bezerra Félix. - 2022.
48 f. : il.

Orientador: Gecílio Pereira da Silva.
Relatório (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2022.

1. Sal. 2. Indústria. 3. SALINOR. 4.
Qualidade. 5. Análises físico-química. I. Pereira
da Silva, Gecílio, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BRUNA RAQUEL BEZERRA FÉLIX

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E CONTROLE DA
QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE SAL NA EMPRESA SALINOR – SALINAS
DO NORDESTE S/A**

Relatório de estágio apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, referente ao acompanhamento produtivo e controle de qualidade da empresa SALINOR – Salinas do Nordeste S/A, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Defendida em: 28 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gecílio Pereira da Silva (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Luiz Ferreira da Silva Filho (UFERSA)
Membro Examinador

Engenheira Química Luara Patrícia Lopes Morais
Membro Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao amor e misericórdia de Deus. A Ele devo todas as minhas realizações.

Agradeço a minha mãe Divamar por me incentivar, apoiar e proporcionar toda a estrutura de minha jornada na educação. E pelo privilégio de ser filha de uma mulher independente que fez de tudo para não deixar faltar nada em nossa casa.

Agradeço aos meus familiares que sempre estiveram dispostos a me ajudar. Especialmente a minha irmã Deise pelos conselhos e apoio.

Agradeço aos meus amigos da vida Cláudio e Victor pelo companheirismo, fidelidade e conselhos.

Agradeço a todos os amigos que tive o privilégio de conhecer na UFERSA. Especialmente a Karoline, Sandy, Leonardo Pedro, Gabriela, Maria Mariana e Victória pelo apoio e ajuda nos meus momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus amigos de graduação Bianca e Valdessandro que estiveram sempre dispostos a me orientar, conversar e trocar conhecimentos. Especialmente, gostaria de agradecer ao meu amigo Gabriel que trilhou toda a jornada da engenharia junto comigo.

Agradeço a todo o corpo docente de Ciência e Tecnologia e da Engenharia Química. Especialmente, aos professores Taciano Amaral, Lázaro Fabrício, Luiza Helena, Wilton Miranda e Rafael Rios por me proporcionarem vivências em projetos acadêmicos que levarei para a vida.

Agradeço a SALINOR por oportunizar a realização do estágio. Em especial, agradeço aos meus companheiros de laboratório Lucélia, Flaviano e Marcelo por toda a paciência e ensinamentos.

Agradeço também a minha supervisora de estágio Deusiany pelas orientações e aos demais colaboradores que estiveram sempre dispostos a sanar minhas dúvidas.

Agradeço a todos os membros da minha banca pela contribuição e participação na defesa deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Gecílio Pereira da Silva por todos os conselhos, ensinamentos, paciência e principalmente por não medir esforços para me ajudar nas mais diversas situações dentro da academia.

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo de busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.”

Paulo Freire

RESUMO

O sal marinho é um dos produtos minerais mais primitivos da economia que se tem conhecimento pela humanidade. Devido às suas diversas aplicações a sua produção torna-se cada vez mais importante. A Costa Branca do Litoral Semiárido Brasileiro localizada no Estado do Rio Grande do Norte já é bastante reconhecida como sendo o principal polo produtor de sal marinho do país, uma vez que reúne uma excelente combinação de condições ambientais que lhe confere vantagens em relação a outras regiões. A indústria SALINOR – Salinas do Nordeste S/A constituiu-se como uma das principais produtoras do Brasil com produção anual de cerca de 2,5 milhões de toneladas. O seu processo produtivo na unidade do município de Mossoró consiste na captação da água do rio Apodi-Mossoró, evaporação, cristalização, colheita, lavagem e secagem do sal. O sistema de gestão da qualidade é fundamental para assegurar o bom andamento de todos os processos produtivos e, conseqüentemente, garantir a qualidade do produto final. Para isso, realizam-se no laboratório análises físico-químicas nas amostras de sal e salmouras, tais como: teor de cálcio, teor de magnésio, teor de cloretos, teor de sulfatos, insolúveis em água, umidade, pH, densidade, granulometria e sedimentação. Nesse contexto, o presente trabalho vislumbra descrever as atividades desenvolvidas no laboratório de controle da qualidade da empresa SALINOR e apresentar as etapas de produção do sal por evaporação.

Palavras-chave: sal. indústria. SALINOR. qualidade. análises físico-químicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representações da estrutura cristalina do NaCl.....	16
Figura 2 - Terminal Salineiro de Areia Branca.	21
Figura 3 - Barcaça marítima em carregamento na unidade Francisco Menescal.	22
Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo do sal na unidade Francisco Menescal.....	23
Figura 5 - Estação de bombeamento do Amaro.	26
Figura 6 - Cristalizadores da unidade Francisco Menescal.	27
Figura 7 - Cristalizador pronto para a colheita.	28
Figura 8 - Motoniveladora preparando o cristalizador para ser colhido.....	29
Figura 9 - Transportadora de sal carregada.	29
Figura 10 - Máquina colhedeira.....	29
Figura 11 - Colheita sendo realizada em conjunto da colhedeira e o transportador de sal.	30
Figura 12 - Conjunto de lavadores da Salinor.	30
Figura 13 - Fusos helicoidais homogeneizando o sal colhido.	31
Figura 14 - Sal transportado na esteira de aço e sendo lavado pelos chuveiros.	31
Figura 15 - Sal lavado sendo empilhado.	32
Figura 16 - Pilha de sal químico em estoque.....	32
Figura 17 - Operação de monitoramento da pilha de sal.	33
Figura 18 - Sistema de peneiras posta no agitador.	35
Figura 19 - Analisador de umidade.	36
Figura 20 - Marcha analítica para determinação de teores de cálcio e magnésio. I) Soluções após adição dos indicadores; II) Soluções após a titulação.	40
Figura 21 - Escala de medição de pH.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físico-químicas dos diferentes tipos de sal.	17
Tabela 2 - Correlação entre os graus Baumé e as densidade a 15°C.	24
Tabela 3 - Solubilidade através da leitura de grau Baumé dos sais encontrados na água do mar.	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ca	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaSO ₄	Sulfato de cálcio
Cl	Cloro
Cl ⁻	Cloreto
EDTA	Ácido etilenodiaminotetraacético
FM	Francisco Menescal
GB	Guanabara
IQ	Indústria Química
IQE	Indústria Química Especial
K	Potássio
Mg	Magnésio
Na	Sódio
NaCl	Cloreto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
°Bé	Grau Baumé
PVC	Policloreto de vinila
RN	Rio Grande do Norte
SGQ	Sistema de gestão da qualidade
SO ₄ ²⁻	Sulfeto
TERMISA	Terminal Salineiro de Areia Branca
TS	Transportador de sal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 SAL E SALMOURA.....	16
3.2 CLASSIFICAÇÃO DO SAL	17
3.3 APLICAÇÕES	18
3.4 HISTÓRIA DO SAL	20
3.5 IMPORTÂNCIA DO RIO GRANDE DO NORTE NA PRODUÇÃO DE SAL	20
3.6 SALINOR.....	21
3.7 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO	23
4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO SAL	23
4.1 CAPTAÇÃO.....	25
4.2 EVAPORAÇÃO.....	25
4.3 CRISTALIZAÇÃO	27
4.4 COLHEITA E LAVAGEM.....	28
5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	32
5.1 CONTROLE DE QUALIDADE	33
5.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SAL.....	34
5.2.1 Granulometria	34
5.2.2 Umidade.....	36
5.2.3 Insolúveis totais em água	37
5.2.4 Determinação dos teores de cálcio e magnésio.....	37
5.2.4.1 Titulação do cálcio com EDTA	38
5.2.4.2 Titulação do magnésio com EDTA	39
5.2.5 Determinação de sulfatos	40
5.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NAS SALMOURAS	40
5.3.1 Determinação de densidade	41
5.3.2 Determinação de pH.....	41

5.3.3 Determinação dos teores de cálcio, magnésio e cloretos	42
5.3.3.1 Cálcio.....	42
5.3.3.2 Magnésio	42
5.3.3.3 Cloretos.....	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O cloreto de sódio (NaCl), sal de cozinha ou sal comum é o produto mais importante para o ser humano dentro do conjunto de substâncias com características químicas comuns cujo nome genérico atribuído é o sal. Esse sal é fundamental para a saúde humana, uma vez que ele é utilizado mundialmente no preparo, industrializações de alimentos e como fonte para consumo de iodo. Além da sua relevância como insumo alimentar o sal também é imprescindível para o setor industrial pois está presente na composição de diversas substâncias químicas que são importantes matérias-primas para processos químicos (INMETRO, 2004).

Historicamente o sal é produzido em regiões litorais em que água com altos teores de sais é a matéria-prima principal das salinas. Fatores importantes para a produção de sal marinho são as condições ambientais, tais como: baixos índices pluviométricos, altas temperaturas, intensidade de ventos e a capacidade de evaporação natural. O Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN) já é bastante reconhecido como sendo o principal polo produtor de sal marinho do país, uma vez que reúne uma excelente combinação dessas condições (DE ANDRADRE, 2018).

Nesse estado o setor salineiro caracteriza-se como uma das principais atividades econômicas. Nesse cenário, a indústria SALINOR – Salinas do Nordeste S/A estabeleceu-se como a maior produtora do Brasil produzindo anualmente de cerca de 2,5 milhões de toneladas. A empresa possui unidades nas cidades de Mossoró-RN e Macau-RN e seu produto destina-se tanto para o insumo alimentar humano quanto animal, além de servir como matéria-prima para indústria química (SALINOR, 2021).

A mineração a céu aberto é utilizada frequentemente como processo produtivo, a qual os cristais de sal são obtidos através da progressiva evaporação de salmouras (água com altos teores de sais) por meio da ação solar. As etapas que compõe esse processo produtivo consistem na: captação, evaporação, concentração, cristalização, colheita e lavagem do sal (LUZ; LINZ, 2008).

Durante o processo produtivo do sal é necessário o acompanhamento das salmouras, através de exames físico-químicos, para garantir da qualidade do produto. Bem como é indispensável análise do sal para determinar a granulometria, perda por dessecação (umidade), insolúveis totais em água e teores de cálcio, magnésio e sulfatos (ZENEON, PASCUET, TIGLEA, 2008).

Neste contexto, o presente relatório de estágio supervisionado objetiva descrever todo o processo produtivo, através da evaporação solar para fabricação de sal da empresa SALINOR

– Salinas do Nordeste S/A. Além disso, serão descritas as análises físico-químicas, acerca do sal e salmouras do processo, exercidas no laboratório de gestão da qualidade da empresa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Acompanhar e realizar o controle de qualidade da produção de sal marinho na empresa SALINOR – Salinas do Nordeste S/A

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorar e descrever as etapas do processo produtivo por evaporação do sal grosso na unidade Francisco Menescal;
- Analisar parâmetros físico-químicos como pH, densidade, teor de cálcio, teor de magnésio, teor de sulfatos, teor de cloretos das salmouras de captação, evaporação, cristalização e lavadores.
- Analisar o produto final através de análises físico-químicas, tais como: teor de cálcio, teor de magnésio, teor de sulfatos, umidade, granulometria e insolúveis em água.
- Propor melhorias para o processo produtivo e de controle de qualidade.

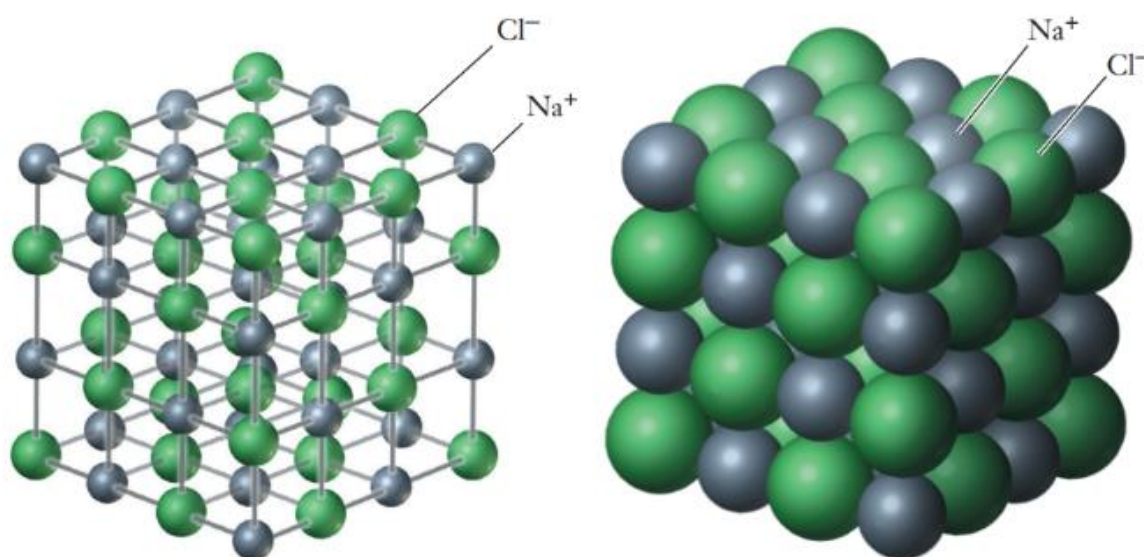
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SAL E SALMOURA

Sais são compostos inorgânicos que em geral são formados por íons positivos (cátions) e negativos (ânions). Dentre as principais características estão a condução de corrente elétrica quando dissolvidos em solução aquosa, apresentam sabor salgado e quando não estão dissolvidos são encontrados na natureza no estado sólido (SILVA; BARP, 2014). Um importante sal que está presente diariamente na vida dos humanos é o cloreto de sódio, também conhecido como sal de cozinha ou sal comum (DOS SANTOS et al, 2011).

O cloreto de sódio é um composto iônico constituído pelos íons sódio (Na^+) e cloro (Cl^-). Em que, o elemento sódio transfere um elétron da sua camada de valência para o cloro dando origem aos íons de cargas opostas que estão sujeitos à força coulombiana que atua aproximando os íons um do outro. Embora o cloreto de sódio possua fórmula molecular, NaCl , não é possível se identificar na prática uma estrutura unitária composta apenas por uma unidade de um dos íons. Tem-se, na realidade a formação de uma rede cristalina conforme as representações da Figura 1 (BROWN; HOLME, 2021).

Figura 1- Representações da estrutura cristalina do cloreto de sódio.



Fonte: BRWON, HOLME (2021).

Nas ocorrências naturais de sais usualmente emprega-se o termo halita para tratar do cloreto de sódio. O mineral halita pode ser encontrado na natureza na sua configuração de estado sólido ou na presença de soluções aquosas. A depender da forma com a qual ele foi encontrado existem processos distintos de extração deste mineral. Dentre as principais ocorrências em forma de solução tem-se as águas de lagos, rios salinos, oceanos, aquíferos e fontes de salmoura natural. Já as ocorrências de estado sólido têm-se principalmente depósitos a céu aberto ou subterrâneos (LUZ; LINS, 2008).

O processo de obtenção de sal a partir de salmouras ocorre devido a evaporação e o depósito seletivo de sais, dependendo da composição química da salmoura, até total ou parcial evaporação da água (LUZ; LINS, 2008). Uma matriz bastante utilizada na produção de sal é a água do mar, em que se constitui principalmente de água no seu estado líquido (96,5%) e o restante substâncias químicas dissolvidas (3,5%). Dentre os constituintes da água do mar tem-se em abundância (99%) sais dos íons: cloreto (Cl^-), sódio (Na^+), sulfato (SO_4^{2-}), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+). Sendo somente os íons cloreto e sódio responsáveis por aproximadamente 85,65% de todas as substâncias dissolvidas (PINET, 2017).

No estudo de salmouras, além do conhecimento das espécies presentes nela faz-se necessário o entendimento, principalmente, da solubilidade de cada um de seus componentes para que, dessa forma, seja possível a previsão da formação e precipitação de sais. Logo, a solubilidade é um parâmetro crucial ao controle de processos de extração de sais (COHEN-ADAD et al., 2002).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DO SAL

A legislação brasileira compreende sal como o cloreto de sódio cristalizado extraído de fontes naturais e o classifica de acordo com sua composição e granulometria. No que se refere à composição o sal é dividido em sal comum e sal refinado. O sal comum é subdividido em sal tipo I e sal tipo II. Já o sal refinado é distribuído em: refinado, extra; refinado; refinado, úmido (ANVISA, 1975). A Tabela 1 explicita os limites de impureza e as composições prováveis para cada tipo de sal.

Tabela 1 - Características físico-químicas dos diferentes tipos de sal.

Tipo	Impurezas	Composição provável
	Valores Máximos	(em %)

	Umidade	Insolúveis	Cálcio	Magnésio	Sulfato	CaSO ₄	MgSO ₄	MgCl ₂
Sal tipo I	2,500	0,100	0,070	0,050	0,210	0,237	0,068	0,146
Sal tipo II	3,000	0,200	0,140	0,080	0,420	0,476	0,105	0,233
Sal refinado extra	0,100	0,050	0,030	0,020	0,100	0,102	0,035	0,050
Sal refinado	0,200	0,100	0,100	0,100	0,400	0,339	0,200	0,237
Sal refinado úmido	4,000	0,096	0,095	0,095	0,382	0,325	0,192	0,227

Fonte: Adaptado ANVISA (1975).

Em relação a granulometria o sal é classificado como: grosso, peneirado, triturado e moído. Em que, o sal grosso não possui especificações granulométricas. Já os sais peneirado, triturado e moídos devem ter retenção máxima de 5% nas peneiras nº 4 (4,76mm de abertura), nº7 (2,83mm de abertura) e nº 18 (1,00mm de abertura), respectivamente. O sal refinado obedece à retenção máxima de 5% na peneira nº 20 (0,84mm de abertura) e à retenção máxima de 90% na peneira nº 140 (0,105mm de abertura) (ANVISA, 1975).

O sal comercializado pela SALINOR na unidade Francisco Menescal é o sal comum dos tipos I e II. Uma parcela dos clientes da empresa utiliza o sal como matéria prima de processos químicos industriais. Logo, exigem especificações de sal mais criteriosas com relação aos limites máximos de impurezas de cálcio e magnésio. Em razão das especificações mais criteriosas o sal vendido para a indústria química é nomeado, a depender da especificação, na salina como sal da indústria química (IQ) ou sal da indústria química especial (IQE). No qual o sal químico, muitas vezes, possui especificação teores máximos de 0,090% de cálcio e 0,030% de magnésio. Já o sal químico especial exige, em alguns casos, padrões de teores máximo de 0,070% de cálcio e 0,012% de magnésio. Com isso, o sal destinado a indústria química necessita de um controle maior após a cura do sal para atingir as especificações exigidas pelos clientes.

3.3 APLICAÇÕES

O consumo de sal se faz presente diariamente na vida da população dada a sua essencialidade. Pode-se afirmar que o sal é um produto que possui diversas funções haja vista serem conhecidas cerca de quatorze mil aplicações. Em que, muitas dessas aplicações se dão devido as propriedades químicas do cloro e do sódio, bem como a indispensabilidade destas duas substâncias na nutrição humana e animal (LUZ; LINZ, 2008). Na maioria das aplicações do sal não existem substitutos alternativos ou economicamente viáveis. Por exemplo, cloreto de cálcio, acetato de magnésio, ácido clorídrico e cloreto de potássio podem substituir o sal no

degelo e em alguns processos químicos, porém sempre estão correlacionados com aumento de custo (USGS, 2020).

A utilização do sal nos alimentos serve para conservação, fermentação, obtenção de textura, fomentador de cor e realçar o sabor (LUZ; LINZ, 2008). Além das utilidades com intuito gastronômico o cloro e o sódio são indispensáveis no que se refere a participação em atividades reacionais do metabolismo e, dessa forma, garantir o bom funcionamento do organismo, já que participam da regulação osmótica, contração muscular e conduzem estímulos nervosos (LOPES; GIUDICE, 2014). Essas utilizações, alimentares, se dão tanto pela adição em processos industriais como pelo acréscimo por parte do próprio consumidor final. Os principais consumidores na área de alimentos são as indústrias: frigorífica, laticínios, enlatados e panificação (LUZ; LINZ, 2008).

A invenção do processo de eletrólise tornou o sal essencial na indústria química. Sendo a indústria de soda-cloro a principal dependente de sal em seus processos de produção (LUZ; LINZ, 2008). Existem três tecnologias mundialmente conhecidas para obtenção de cloro e soda através do processo de eletrólise, são elas: células de diafragma, células de mercúrio e células de membrana. Independente da tecnologia utilizada faz-se necessária uma salmoura (solução aquosa concentrada de cloreto de sódio) no processo de eletrólise que possibilita a obtenção de cloro elementar e hidróxido de sódio (NaOH) que é conhecido popularmente como soda cáustica (FERNANDES, GUIMARÃES, GLÓRIA, 2009).

O cloro é utilizado como insumo para produção de policloreto de vinila (PVC), solventes, agroquímicos e para branquear a polpa de celulose. Devido a sua capacidade bactericida o cloro é utilizado no tratamento de água potável e piscinas. Também é utilizado como intermediário em sínteses e processos de produtos químicos como, por exemplo, anticoagulantes, poliuretanos, fluidos para freios, insumos farmacêuticos, entre vários outros (FERNANDES, GUIMARÃES, GLÓRIA, 2009).

A soda cáustica produzida é utilizada principalmente na produção de celulose não branqueada e posteriormente participa do processo de branqueamento da celulose empregando-se na conferência de alvura à celulose (industrial de papel e celulose). Também é utilizada no tratamento da bauxita para extração de alumina e óxido de alumínio, banho de decapagem alcalina, recuperação de estanho pelo processo de reciclagem de chapas estanhadas, produtos de higiene pessoal e cosmético (FERNANDES, GUIMARÃES, GLÓRIA, 2009).

Além da participação na indústria de soda-cloro o sal também é utilizado em outros setores da indústria química. Como, por exemplo, nas fabricações de carbonato de sódio, clorato de sódio, sódio metálico, sabão em pó, detergentes, sulfato de sódio e ácido clorídrico. Já na

indústria farmacêutica, emprega-se o sal como reagente químico e eletrólito para obtenção de soluções salinas (LUZ, LINZ, 2008).

3.4 HISTÓRIA DO SAL

Os primeiros relatos históricos que compreendem o sal datam de 600 a.C. na China, através do imperador Huangdi. O sal desempenha uma função primordial na história humana dos povos, civilizações e culturas (KURLANSKY, 2004). Desde a antiguidade o sal é um dos minerais mais utilizados pelo homem devido às suas diversas aplicações e, cuja produção historicamente cresce devido ao aumento da sua importância (DE ANDRADE et al, 2018).

Inicialmente, a busca pelo sal nos litorais está intimamente ligada às necessidades de conservação dos alimentos. O sal medieval era produzido em locais denominados salinas que se situavam nos litorais. A posse dessas salinas era de interesse de setores da sociedade devido ao capital econômico representado pelo sal (DE ALMEIDA, 2005). O sal também era usado como base para censos populacionais e impostos, e monopólios de sal eram praticados em muitos estados (CÍRILLO, 1994).

A importância do recurso mineral sal pode ser evidenciada através de registros históricos que relatam processos migratórios de populações na busca pelo sal, conflitos entre povos para obtenção e proteção deste recurso. Em alguns locais tem-se, inclusive, a influência nos nomes de algumas cidades, tais como: Salzburg localizada na Áustria, Salzgitter na Alemanha e Saltville nos Estados Unidos da América (LUZ; LINZ, 2008). Além dessas influências a importância do sal também pode ser evidenciada no surgimento da palavra “salário” para designar a remuneração recebida pelos trabalhadores (HUBERMAN, 2008).

3.5 IMPORTÂNCIA DO RIO GRANDE DO NORTE NA PRODUÇÃO DE SAL

Os primeiros relatos históricos da atividade salineira no Brasil se deram no início da colonização a partir da extração do sal nas reversas naturais nas zonas de supramaré. A atividade foi aperfeiçoada com a construção de pequenas salinas artesanais e aplicação das técnicas portuguesas para exploração de sal. Essa produção de sal impulsionou o desenvolvimento de outras atividades econômicas na época colônia principalmente nas regiões dos rios no estado do Rio Grande do Norte (COSTA et al 2013).

O aumento da demanda por parte do mercado, principalmente dada pelo desenvolvimento industrial brasileiro do século XIX que fez com que a indústria química

crecesse, sucedeu na necessidade das salinas em implementar tecnologias e métodos de produção. Com isso, houve a modernização da indústria salineira de grande porte que se concentrou principalmente nas áreas onde já ocorria o processo natural de formação do sal devido a termos econômicos e ambientais (COSTA et al 2013).

A produção de sal marinho nacional possui uma representação significativa do estado do Rio Grande do Norte. Em que, a produção do estado se dá totalmente na Costa Branca da Costa Semiárida Brasileira e, dada a sua potencialidade para extração de sal marinho, também é conhecida como Costa do Sal (DINIZ, VASCONSELOS, 2017). O clima semiárido caracterizado por fatores como baixos índices pluviométricos, baixa umidade, ventos fortes e com elevadas temperaturas em considerável parte do ano contribui para acelerar a evaporação contínua e consequente formação de cristais de sal nessa região (BEZERRA et al 2012). Esses fatores são determinantes para a produção de cerca de 95% de todo o sal marinho brasileiro (DINIZ, VASCONSELOS, 2017).

A construção do Terminal Salineiro de Areia Branca (TERMISA) popularmente conhecido como Porto Ilha, marcou o fim das pequenas salinas no Estado do Rio Grande do Norte e concretizou a implementação da indústria salineira de grande porte mecanizada. Antes do Porto Ilha o transporte do sal potiguar era uma operação demorada e custosa, já que as barcas marítimas transportavam o sal até navios ancorados em alto mar (DINIZ, VASCONCELOS, MARTINS, 2015). É possível observar através da Figura 2 a área de estocagem *offshore* do sal no TERMISA.

Figura 2 - Terminal Salineiro de Areia Branca.



Fonte: SALINOR - Salinas do Nordeste S/A (2021).

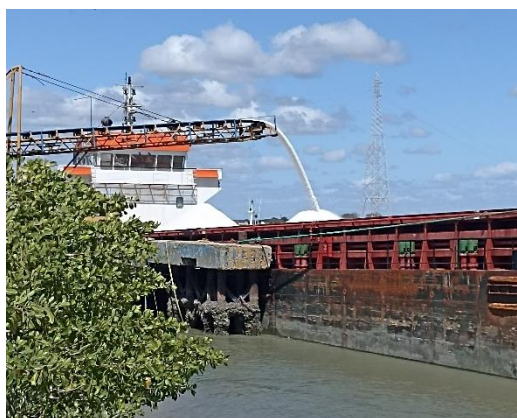
3.6 SALINOR

Nesse contexto, a empresa SALINOR - Salinas do Nordeste S/A é responsável atualmente por mais de 40% da produção de sal marinho do Brasil sendo, portanto, a maior produtora do país. A empresa possui capacidade de produção de 2,5 milhões de toneladas por ano que são comercializadas no mercado nacional e internacional. As salinas da empresa estão localizadas nos municípios de Macau e Mossoró, ambas instaladas no Rio Grande do Norte. No município de Macau, a SALINOR dispõe de duas refinarias, determinadas à fabricação de sal para consumo humano e industrial, e uma moagem para produtos destinados ao consumo animal. Em Mossoró tem-se as unidades de Guanabara (GB) e Francisco Menescal (FM) responsáveis por produzir sal grosso comum, químico e químico especial (SALINOR, 2021).

A SALINOR conta com um programa de responsabilidades social e ambiental que contribui na saúde dos colaboradores e seus familiares, incentiva a escolarização dos filhos dos colaboradores, do maternal à alfabetização, e atua na preservação ambiental através da efetuação de plantio e monitoramento das áreas de mangue e apoio a cooperativas de pescadores locais que exercita a pesca destinada à subsistência familiar (SALINOR, 2021).

A logística de distribuição da empresa contempla carregamentos terrestre e marítimo. No que se refere à logística terrestre a SALINOR realiza vistoria prévia nos caminhões e dispõe de uma estrutura de apoio aos caminhoneiros. Já o embarque marítimo, realizado por embarcações graneleiras sob responsabilidade da empresa Navenor, destina o sal produzido para o Porto Ilha que possibilita o escoamento de navios com destinos nacional e internacional. Ademais a empresa possui mais uma operação de distribuição no estado de São Paulo com o auxílio de um armazém situado no Porto de Santos (SALINOR, 2021). A Figura 3 demonstra o embarque marítimo na unidade Francisco Menescal.

Figura 3 - Barcaça marítima em carregamento na unidade Francisco Menescal.



Fonte: Autoria própria (2022).

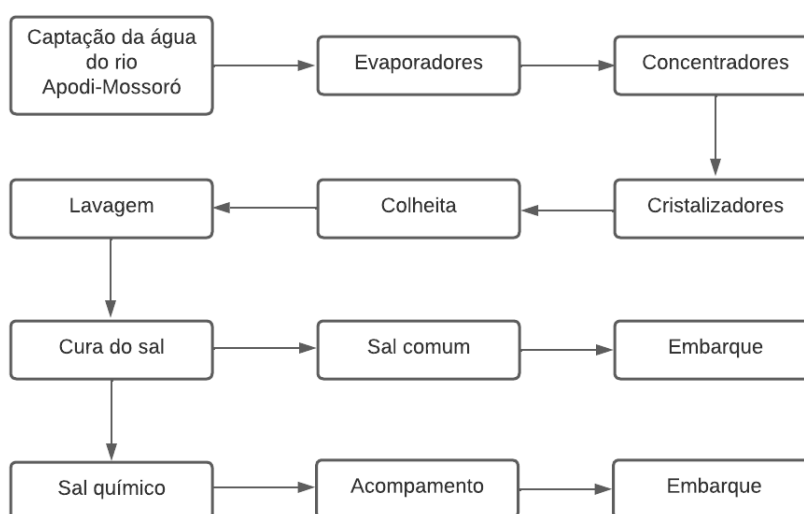
3.7 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO

- Setor: Laboratório de controle da qualidade.
- Local do estágio: SALINOR – Salinas do Nordeste S.A – Unidade Francisco Menescal.
- Período do estágio: 22 de agosto à 8 de novembro de 2022.
- Duração: 3 meses (300 horas).
- Supervisora do estágio: Deusiany da Silva Avelar.
- Cargo: Coordenadora de controle da qualidade.
- Formação: Bacharela em química.

4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO SAL

Um dos principais processos produtivos do sal utilizado pelas salinas consiste na mineração a céu aberto obtida através do progressivo processo de evaporação de salmouras de matrizes salinas. Em que, as etapas envolvidas nesse processo iniciam-se com a captação da água do mar e compreendem evaporadores e concentradores, cristalizadores, colheita e lavagem do sal (LUZ; LINZ, 2008). O fluxograma do processo produtivo do sal está presente na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo do sal na unidade Francisco Menescal.



Fonte: Autoria própria (2022).

A escala Baumé (°Bé) foi desenvolvida pelo francês Antoine Baumé (1728-1804) e constitui uma escala hidrométrica que representa a percentagem de sais presentes na água e é utilizada na indústria salineira para representar a densidade das salmouras de processo sendo, portanto, um parâmetro de controle do sistema produtivo (OLIVEIRA, MELO FILHO, AFONSO, 2013). A Tabela 2 representa as correspondências de grau Baumé com a densidade.

Tabela 2 - Correlação entre os graus Baumé e as densidade a 15°C.

Líquidos menos densos que a água		Líquidos mais densos que a água	
Grau Baumé (°Bé)	Densidade	Grau Baumé (°Bé)	Densidade
10	1,000	0	1,000
15	0,966	5	1,035
20	0,935	10	1,074
25	0,905	15	1,116
30	0,878	20	1,160
35	0,852	25	1,209
40	0,827	30	1,262
45	0,804	35	1,320
50	0,783	40	1,383
55	0,762	45	1,453
60	0,742	50	1,530
65	0,724	55	1,615
70	0,706	60	1,711

Fonte: OLIVEIRA, MELO FILHO, AFONSO (2013).

Para controle dos processos utiliza-se a concentração de sal através da leitura de grau Baumé da amostra coletada. Conforme a Tabela 3 que apresenta a solubilidade dos sais encontrados na água do mar. O controle se dá através do início da precipitação que ocorre assim que a solubilidade de cada sal é atingida (LEITE, DELBONI JÚNIOR, 2004). Vale ressaltar que a solubilidade é afetada tanto pela temperatura como pela presença de outros sais em solução. E, conforme a diferença de solubilidade evidencia-se a precipitação seletiva dos vários sais e é possível obter o cloreto de sódio na pureza determinada pelas necessidades impostas do mercado (LUZ; LINZ, 2008).

Tabela 3 - Solubilidade através da leitura de grau Baumé dos sais encontrados na água do mar.

Sal	Solubilidade (°Bé)
Carbonato de cálcio - CaCO_3	12,0
Sulfato de cálcio - CaSO_4	13,2
Cloreto de sódio - NaCl	25,0

Sulfato de magnésio - MgSO_4	28,0
Cloreto de magnésio – MgCl_2	30,0

Fonte: Adaptado LEITE, DELBONI JÚNIOR (2004).

A etapa de captação da água do mar bem como as demais etapas do processo produtivo do sal por evaporação, da indústria SALINOR, serão detalhados nas subseções a seguir.

4.1 CAPTAÇÃO

Para que seja possível o processo de produção do sal por evaporação solar, inicia-se o processo de captação de água. Estima-se que para cada 1m^3 de água do mar pode-se extrair cerca de 30kg de cloreto de sódio. Porém, dada a natureza do processo essa quantidade estimada não é aproveitada por completo na produção final, já que as exigências de pureza do mercado fazem com que seja possível aproveitar cerca de 50% a 60% do sal (PEREIRA, 2017).

Na unidade Francisco Menescal, a água do rio Apodi-Mossoró é captada por meio do bombeamento e, em geral, a salinidade da água captada está entre 3,5~5 °Bé. Esse processo de captação sempre é realizado em preamar, ou seja, maré alta para que os impactos ambientais sejam reduzidos. O sistema de bombeamento é composto por 3 bombas com vazão de 2500L/s nesta operação de captação. A água é canalizada para espaço reservado da evaporação.

4.2 EVAPORAÇÃO

Geralmente, a área de evaporação das salinas ocupa cerca de 90% de toda a dimensão da salina. Características geográficas e topográficas são importantes na etapa de projeto dos evaporadores, uma vez que a circulação da salmoura é feita por meio da ação gravitacional em conjunto com estações de bombeamento (LUZ; LINZ, 2008).

Nesta etapa, a água captada é exposta aos raios solares para que ocorra a evaporação e, conseqüentemente, aumente-se a salinidade da salmoura. Estima-se que industrialmente a evaporação média consiste em cerca de 8 milímetros por dia. No início da evaporação as condições ambientais no que se refere a fauna e flora se assemelham bastante às condições encontradas na natureza. É comum inserir nesta etapa de processo um micro-crustáceo, a Artémia, que efetua um filtro biológico na salmoura (MENDES et al, 2012).

A área de evaporação da unidade Francisco Menescal é composta por 12 evaporadores e 2 concentradores. O primeiro evaporador a receber a água de captação é o evaporador 1 (E1).

Por meio da ação da gravidade e pela abertura de comportas manuais efetua-se a locomoção da salmoura nos evaporadores subsequentes. No tanque de evaporação 4 tem-se um conjunto composto por duas bombas denominado como bombeamento de distribuição Rio do Amaro que é encarregado por conduzir a salmoura até o evaporador 11 (E11), a Figura 5 ilustra esta estação de bombeamento. Entre os evaporadores E11 e E12 faz-se necessário a aplicação de força para o deslocamento da água por meio do bombeamento de distribuição Ramadinha (SALINOR, 2022).

Figura 5 - Estação de bombeamento do Amaro.



Fonte: Adaptado CAMPELO (2020).

Conforme a água de captação que entra no processo, 3,5~5,0 °Bé, e evapora no decorrer dos tanques de evaporação ela passa a uma concentração em torno de 12~14 °Bé no último evaporador. Após atingir essa salinidade, a salmoura do E12 é bombeada para os concentradores.

Conforme a Tabela 3, nota-se que as solubilidades dos principais sais presentes na salmoura são atingidas. Sendo assim, ao atingir 12 °Bé precipita-se o carbonato de cálcio (CaCO_3) e posteriormente o sulfato de cálcio (CaSO_4) se precipita quando a sua solubilidade de 13,7 °Bé é alcançada (LEITE, DELBONI JÚNIOR, 2004). O sulfato de cálcio, conhecido popularmente como carago ou malacacheta, pode ser utilizado pela salina para a construção e manutenção de estradas de acesso dentro da própria unidade ou em alguns casos ser vendido para outras indústrias (CHAVES, 2018).

Um fator natural crucial nesta etapa de evaporação é o vento. Sendo ele, responsável pela agitação e dissipação do vapor das águas, contribuindo dessa forma com o aumento da taxa de evaporação. Os primeiros estágios atingem-se maiores taxas de evaporação, isso ocorre

devido ao fato de o aumento da salinidade gerar uma diminuição, inversamente proporcional, na taxa de evaporação. Portanto, o processo de aumento da salinidade que ocorre nos concentradores é mais lento (CÂMARA, 1999).

A salmoura permanece nos concentradores até atingir a solubilidade, 25 °Bé, do cloreto de sódio. Estando pronta, portanto, para abastecer e reabastecer os cristalizadores conforme as necessidades operacionais da produção do sal.

4.3 CRISTALIZAÇÃO

Os cristalizadores assim como os evaporadores estão dispostos a céu aberto, porém a altura da coluna de água que abastece os tanques de cristalização é consideravelmente menor. A lâmina de salmoura que abastece os cristalizadores é em média 35 cm. É nessa etapa que ocorre a precipitação dos cristais de sal desejado (MENDES et al., 2012).

A área de cristalização da unidade Francisco Menescal contém 35 cristalizadores, na qual a Figura 6 ilustra essa área evidenciando o cristalizador 1 (C1) que é um dos maiores em extensões quadradas da unidade.

Figura 6 - Cristalizadores da unidade Francisco Menescal.



Fonte: Autoria própria (2022).

A salmoura é mantida nos cristalizadores até que se atinja salinidade em torno de 28 °Bé, visto que em concentrações superiores, os sais indesejados como sulfato de magnésio, cloreto de magnésio começam a precipitar. Caso a salmoura não seja trocada as concentrações desses sais indesejados aumentam, podendo-se comprometer a qualidade final do sal produzido (LEITE, DELBONI JÚNIOR, 2004). Portanto, ao se atingir 28 °Bé a salmoura deve ser drenada e gerando o sal e salmoura concentrada como subprodutos. Em que, o sal será colhido e a

salmoura poderá ser descartada ou reaproveitada na lavagem do sal colhido (ALBUQUERQUE, 2009). Os cristalizadores são drenados em preamar com o intuito de o descarte efetuado no rio Apodi-Mossoró cause menos impacto ambiental.

4.4 COLHEITA E LAVAGEM

Geralmente os cristalizadores atingem a altura de sal cristalizado ideal para o processo de colheita uma vez ao ano. Porém, como os fatores climáticos são fundamentais para a ocorrência do sistema produtivo, então, esse período de colheita pode variar. Por exemplo, quando há precipitações toda a fabricação do sal é comprometida. O cristalizador recém drenado e pronto para colheita pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Cristalizador pronto para a colheita.



Fonte: Autoria própria (2022).

A colheita é viabilizada através de um procedimento de escarificação da camada de sal através da motoniveladora. Essa etapa é crucial para manter o nivelamento da laje do sal. Além da motoniveladora que pode ser vista na Figura 8, tem-se também envolvidos nessa operação os caminhões transportadores de sal (TS), Figura 9, e as máquinas colhedeiras presente na Figura 10.

Figura 8 - Motoniveladora preparando o cristalizador para ser colhido.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 9 - Transportadora de sal carregada.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 10 - Máquina colhedeira.



Fonte: Adaptado CHAVES (2018).

No processo de colheita após a motoniveladora preparar o cristalizador, a colhedeira trabalha em conjunto com o TS para extrair o sal produzido conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Colheita sendo realizada em conjunto da colhedeira e o transportador de sal.



Fonte: Autoria própria (2022).

Estando o TS carregado, encaminha-se o sal para os lavadores. A operação de lavagem do sal é viabilizada pela presença de uma moega que canaliza o sal, despejado pelo TS, para os lavadores. A unidade Francisco Menescal conta com dois lavadores (Figura 12) cuja vazão de entrada é de 200 ton/h cada.

Figura 12 - Conjunto de lavadores da Salinor.



Fonte: Autoria própria (2022).

É nessa etapa que ocorre a homogeneização do sal colhido, através da rotação dos fusos helicoidais (Figura 13) do lavador com a salmoura saturada que objetivam a remoção de eventuais impurezas. A salmoura utilizada nesta etapa do processo geralmente possui alto teor de salinidade e podem ser reaproveitadas das drenagens dos cristalizadores (PONTAROLO, 2020).

Figura 13 - Fusos helicoidais homogeneizando o sal colhido.



Fonte: CAMPELO (2020).

Após a primeira lavagem que corresponde ao processo de homogeneização do sal, tem-se um segundo processo de lavagem através de chuveiros que possibilitam o contato, breve, da água com o sal que está passando pela esteira de aço. A Figura 14 mostra esse processo de lavagem.

Figura 14 - Sal transportado na esteira de aço e sendo lavado pelos chuveiros.



Fonte: CHAVES (2008).

Efetivados os processos de colheita e lavagem o sal é conduzido pela esteira móvel até o estoque em que será empilhado conforme mostrado na Figura 15. Após o empilhamento, inicia-se o processo de secagem natural do sal também conhecido como cura do sal.

Figura 15 - Sal lavado sendo empilhado.



Fonte: Autoria própria (2022).

Caso o sal a grosso que está sendo produzido tenha como destino a indústria química (IQ) é necessária uma operação de abaixar a pilha de sal, lavar o sal e monitorar os teores de sal até que as especificações de cada cliente sejam atendidas. A Figura 16 ilustra uma pilha de sal que será conduzida para a IQ.

Figura 16 - Pilha de sal químico em estoque.



Fonte: Autoria própria.

Na unidade Francisco Menescal não há refino do sal, portanto, o processo de cura é a última etapa do processo produtivo. Por consequência, nesse estágio o sal já pode ser destinado aos embarques terrestres e marítimo.

5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

No decorrer do estágio supervisionado realizou-se atividades no apoio ao sistema de gestão da qualidade (SGQ) através do desenvolvimento de análises físico-químicas no laboratório da unidade Francisco Menescal, emissão de laudos técnicos, preenchimento de planilhas de registro com os resultados obtidos nas análises e contribuição na organização do

ambiente laboratorial. Conjuntamente fez-se possível o acompanhamento dos processos produtivos do sal e monitoramento de pilhas para controle de liberação de sal químico.

O monitoramento de pilhas consiste na retirada de amostragem em pontos específicos para que se tenha conhecimento médio da qualidade daquele sal e, dessa forma, oriente-se a liberação da pilha para o setor de embarque. Portanto, são extraídas amostras de sal de topo, base e das laterais. A participação dos membros do setor de gestão nesse processo garante a confiabilidade das amostras coletadas. A Figura 17 expõe uma operação de monitoramento da pilha de sal químico em que a escavadeira efetua a abertura de um dos pontos a ser monitorado.

Figura 17 - Operação de monitoramento da pilha de sal.



Fonte: Autoria própria (2022).

As amostras de sal coletadas no monitoramento são encaminhadas ao laboratório para análise. A seguir serão melhor descritas as análises e as atuações do SGQ da empresa.

5.1 CONTROLE DE QUALIDADE

O sistema de gestão de qualidade da empresa SALINOR - Salinas do Nordeste S/A atua de forma estratégica e crucial para o desenvolvimento eficaz das atividades de fabricação, produção, liberação de produtos e supervisão ambiental. Para isso, fazem-se necessários acompanhamentos diários e/ou periódicos de amostras de sal e salmouras. Em que, análises físico-químicas são realizadas com o intuito de determinar propriedades importantes, tais como: teor de cálcio, teor de magnésio, teor de cloretos, teor de sulfatos, insolúveis em água, umidade, pH, densidade, granulometria e sedimentação.

O processo de captação da água do rio Apodi-Mossoró gera a primeira demanda para o setor de controle da qualidade, já que a salmoura do processo deve ser conhecida. Com isso, são obtidos diariamente os parâmetros de pH e densidade das águas do rio no ponto de captação na baixa e preamar. Semanalmente é feita a análise completa (teores de cálcio, magnésio, cloretos, pH e densidade) de todos os pontos de drenagem para controle ambiental.

Nos evaporadores à medida em que a evaporação transcorre devido a ação de fatores naturais a salmoura é direcionada aos demais tanques de evaporação. Todas as operações são monitoradas para que se garanta o tempo correto de cada manobra. Sendo assim, são realizadas na salmoura as análises de cálcio, magnésio, cloretos, pH e densidade.

Devido a fabricação dos cristais de sal que é de interesse do processo ocorrer nos cristalizadores, então todas as operações de abastecimento, reabastecimento e drenagem dos tanques de cristalização são acompanhadas criteriosamente para que se garanta um sal de qualidade. Todas as análises de salmouras destas operações são completas.

Após a colheita o sal é lavado e, essa etapa é monitorada para determinar a eficiência do lavador quanto a diminuição dos teores de cálcio e magnésio do sal não lavado em relação ao sal que será empilhado. O sal da colheita e as águas do lavador e chuveiros são diariamente analisados.

Além das análises de salmouras e sal que englobam todos os processos de produção o SGQ também realiza análise do sal para liberação dos embarques terrestre e marítimo. Dessa forma, garantindo que o produto liberado esteja dentro das especificações de cada cliente.

5.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SAL

O sal produzido é avaliado por meio de exames físico-químico para que seja possível determinar os parâmetros como granulometria, umidade, substâncias insolúveis em água, cálcio, magnésio e sulfatos. A indicação de pureza do sal está correlacionada com a concentração dos íons cálcio, magnésio e sulfatos. Portanto, quanto menor o teor desses íons maior a qualidade do produto, ou seja, mais puro o sal. Como naturalmente o sal é um conservante, então exames microbiológicos não se fazem necessários (ZENEBO, PASCUET, TIGLEA, 2008).

5.2.1 Granulometria

Apesar do sal grosso não possuir especificação estabelecida legalmente a empresa realiza esse ensaio para análise interna de controle do sal produzido e, em alguns casos, a pedido dos próprios clientes.

O procedimento adotado consiste em pesar 200g da amostra de sal em um recipiente de alumínio e, posteriormente, submeter a amostra em uma estufa com temperatura de 150 °C por aproximadamente 1 hora. Em seguida, o sal é retirado da estufa e descansa por alguns minutos para que a temperatura reduza. Por fim, o sal é despejado em um conjunto de peneiras conforme mostrado na Figura 18 e o agitador de peneiras é acionado. O sistema fica sob agitação por um período de 3 minutos e, então, as peneiras são retiradas e pesadas.

Figura 18 - Sistema de peneiras posta no agitador.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na etapa de pesagem, são obtidos valores dos pesos referentes a soma dos cristais de sal retidos e das próprias peneiras. Sendo assim, para obter o valor real retido em cada peneira subtrai-se o peso de cada peneira conforme a Equação (1).

$$P_{retido,i} = P_{total,i} - P_{peneira,i} \quad (1)$$

Onde,

- $P_{retido,i}$ = Peso real do retido i;
- $P_{total,i}$ = Peso do retido i com a peneira i;

- $P_{peneira,i}$ = Peso da peneira i;

Em posse dos valores reais de cada retido calcula-se a porcentagem de retidos em cada peneira conforme a Equação (2).

$$\% Retido = \frac{P_{retido,i}}{\sum P_{retido}} \times 100 \quad (2)$$

Em que,

- $\% Retido$ = Percentual de retido;
- $P_{retido,i}$ = Peso real do retido i;
- $\sum P_{retido}$ = Somatório do peso de todos os retidos.

5.2.2 Umidade

A presença de cálcio e magnésio confere ao sal a característica higroscópica, ou seja, contribuem para absorção de umidade do ar. Portanto, a determinação da umidade passa a ser um indicativo de pureza do sal (ZENEBO, PASCUET, TIGLEA, 2008).

A determinação de umidade é realizada no analisador de umidade modelo MA 35[®] da fabricante Sartorius. Para isso, pesa-se 5 gramas de cada amostra de sal e, em seguida, o equipamento é fechado. O procedimento já está previamente configurado para durar 5 minutos. Ao término o equipamento mostra o valor determinado da umidade em porcentagem conforme a Figura 19.

Figura 19 - Analisador de umidade.



Fonte: Autoria própria (2022).

5.2.3 Insolúveis totais em água

O sal produzido está sujeito a presença de impurezas como, por exemplo, partículas de carvão, areia, fragmentos de conchas entre outras. Portanto, a determinação do teor de insolúveis totais em água é capaz de avaliar esse teor de impurezas. Quanto maior o teor, mais impurezas existem no sal. Logo, teores menos indicam uma melhor qualidade do sal (ZENEBON, PASCUET, TIGLEA, 2008).

O procedimento de determinação de insolúveis consiste em pesar 50 gramas da amostra de sal e dissolve-la com água destilada em um béquer. Previamente um papel filtro é levado para aquecimento na estufa a 100 °C durante alguns minutos e, posteriormente, espera-se esfriar no dessecador para que então seja possível pesar a sua massa. A solução feita é filtrada com auxílio do papel filme em um funil de vidro conectado a um béquer. O béquer deve ser lavado com água destilada para remover possíveis resquícios de solução. O filtrado deve ficar ao final da lavagem sem demonstração de opalescência. Depois da filtração o papel filtro é levado a estufa a 100 °C durante 1 (uma) hora. Passado esse tempo o papel filtro deve ser retirado da estufa e resfriado no dessecador. Tendo-se atingido a temperatura ambiente o papel filtro é pesado novamente.

O percentual de insolúveis em água é realizado semanalmente para cada tipo de sal produzido. Ou seja, tem-se um valor para o sal comum e outro para o sal químico. O cálculo final para obtenção do valor de insolúveis totais em água é apresentado na Equação (3).

$$\% I = \frac{(M_f - M_i)}{M_a} \times 100 \quad (3)$$

Em que,

- $\% I$ = Percentual de insolúveis;
- M_f = Massa final do papel filtro;
- M_i = Massa inicial do papel filtro;
- M_a = Massa da amostra de sal;

5.2.4 Determinação dos teores de cálcio e magnésio

Os teores de cálcio e magnésio são um os principais parâmetros analisados, uma vez que ele é determinante na liberação do sal embarcado e liberação das pilhas de sal monitoradas. As determinações de cálcio e magnésio são obtidas por titulação com EDTA.

O procedimento de preparo das amostras a serem analisadas é comum para o cálcio e o magnésio. No qual, 25 gramas de sal é pesado e diluído, com auxílio de um agitador magnético, em um béquer com aproximadamente 200 mL de água destilada. Após a diluição completa, transfere-se a soluções para um balão volumétrico de 250 mL e completa-se o volume (aferição do menisco) com água destilada. Estando a solução pronta, uma alíquota de 10 mL é diluída com aproximadamente 25 mL de água destilada em um erlenmeyer de 250 mL.

Diante da solução final diluída no erlenmeyer, adota-se procedimentos diferentes para determinação dos teores de cálcio e magnésio. Já que os reagentes, indicadores e cálculos são específicos para cada análise.

5.2.4.1 Titulação do cálcio com EDTA

Perante a solução final no erlenmeyer adiciona-se 5 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 20% e o indicador ácido calcon-carboxílico. No momento em que o indicador entra em contato com a solução observa-se o surgimento da coloração rosada, a quantidade de indicador é dosada até que a coloração rósea seja nítida. Por fim, titula-se com uma solução de EDTA 0,01M até o ponto de viragem para a coloração azul. O volume gasto de EDTA é anotado para calcular a porcentagem de cálcio conforme a Equação (4).

$$\% Ca^{2+} = \frac{V_2 \times M_{EDTA} \times f_{EDTA} \times m_{eqCa^{2+}}}{M_a \times \frac{V_a}{V}} \times 100 \quad (4)$$

Onde,

- $\% Ca^{2+}$ = Percentual de cálcio na amostra analisada;
- V_2 = Volume gasto de EDTA, mL;
- M_{EDTA} = Molaridade do EDTA (0,01M);
- f_{EDTA} = Fator de correção da solução de EDTA;
- $m_{eqCa^{2+}}$ = Miliequivalente de grama do cálcio (0,048008 g);
- M_a = Massa da amostra analisada (25 g);
- V_a = Volume da alíquota retirada da solução preparada (10 mL);

- V = Volume da solução preparada (250 mL);

5.2.4.2 Titulação do magnésio com EDTA

Diante a solução final no erlenmeyer adiciona-se 10 mL de uma solução tampão (pH 10) e o indicador negro de eriocromo T. Em contato com a solução o indicador ocasiona o surgimento da coloração rosada, portanto, a quantidade de indicador é dosada até que a coloração rósea seja nítida. Por fim, titula-se com uma solução de EDTA 0,01M até o ponto de viragem para a coloração azul. O volume gasto de EDTA é anotado para calcular a porcentagem de magnésio conforme a Equação (5).

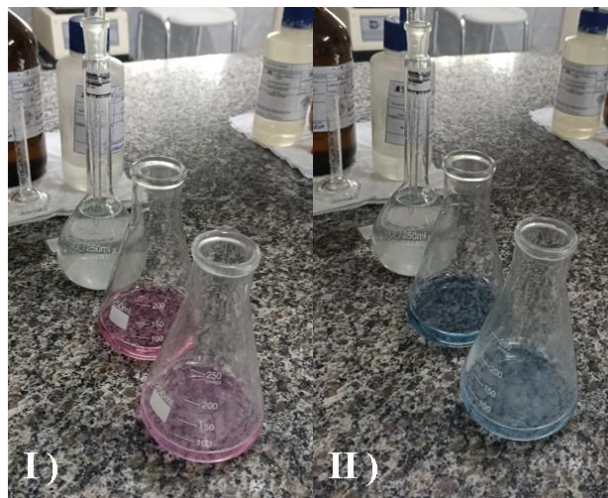
$$\% Mg^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) \times M_{EDTA} \times f_{EDTA} \times m_{eqMg^{2+}}}{M_a \times \frac{V_a}{V}} \times 100 \quad (5)$$

Em que,

- $\% Mg^{2+}$ = Percentual de magnésio na amostra analisada;
- V_2 = Volume gasto de EDTA na titulação do Ca^{2+} , mL;
- V_1 = Volume gasto de EDTA na titulação do Ca^{2+} e Mg^{2+} , mL;
- M_{EDTA} = Molaridade do EDTA (0,01M);
- f_{EDTA} = Fator de correção da solução de EDTA;
- $m_{eqCa^{2+}}$ = Miliequivalente de grama do magnésio (0,02432 g);
- M_a = Massa da amostra analisada (25 g);
- V_a = Volume da alíquota retirada da solução preparada (10 mL);
- V = Volume da solução preparada (250 mL);

A Figura 20 ilustra as análises para determinação dos teores de cálcio e magnésio realizadas em uma amostra de sal.

Figura 20 - Marcha analítica para determinação de teores de cálcio e magnésio. I) Soluções após adição dos indicadores; II) Soluções após a titulação.



Fonte: Autoria própria (2022).

É convencional organizar os enlenmeyers em duas fileiras na bancada do laboratório, e na primeira linha o cálcio é titulado enquanto que na linha de trás titula-se o magnésio.

5.2.5 Determinação de sulfatos

A obtenção do teor de sulfatos realizado no laboratório consiste na utilização dos valores dos percentuais previamente obtidos nas titulações de cálcio e magnésio. Para isso, utiliza-se a Equação 6 para o cálculo do teor de sulfatos.

$$\% SO_4 = (2,4 \times \% Ca^{2+}) + (1,3 \times \% Mg^{2+}) \quad (6)$$

Onde,

- $\% SO_4$ = Percentual de sulfatos nas amostras analisadas;
- $\% Ca^{2+}$ = Percentual de cálcio na amostra analisada;
- $\% Mg^{2+}$ = Percentual de magnésio na amostra analisada;

5.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NAS SALMOURAS

Assim como o sal produzido as águas e salmouras dos processos são analisadas através de análises físico-químicas para determinação de alguns parâmetros como, por exemplo,

densidade, pH e teores de cálcio, magnésio e sulfatos. Dessa forma, efetuam-se análises de água de captação, evaporadores, concentradores, cristalizadores, lavadores, chuveiros e descarte.

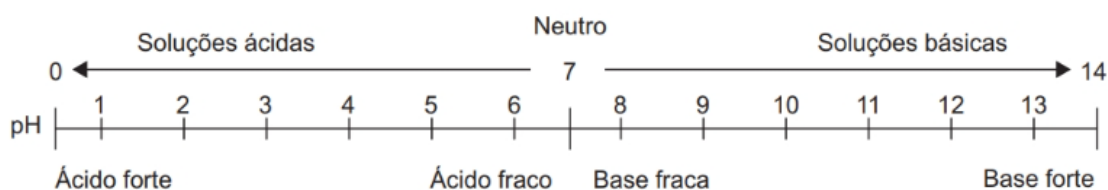
5.3.1 Determinação de densidade

A determinação da densidade das salmouras é um parâmetro importante para guiar as operações de vários processos de produção na salina, já que a salinidade é um fator determinante no controle e monitoramento. O procedimento de determinação de densidade realizado no laboratório consiste na utilização de uma proveta de 800 mL que é preenchida com a amostra de salmoura. Utiliza-se um areômetro de Baumé para fazer a medida.

5.3.2 Determinação de pH

A acidez ou basicidade de uma dada solução pode ser medida através da escala de potencial hidrogeniônico (pH). Quanto maior a concentração de íons H^+ dissolvidos menor será a medição do pH e, conseqüentemente, maior será a acidez da solução. Inversamente, quanto maior a concentração de íons OH^- maior será a medição do pH e, portanto, mais básica será o meio (SILVA, BARP, 2014). A Figura 21 mostra a escala de medição de pH.

Figura 21 - Escala de medição de pH.



Fonte: SILVA, BARP (2014).

Os meios aquáticos e terrestres que possuem seres vivos precisam manter o valor de pH de seus habitats. Caso a água aumente muito a sua acidez ou a sua basicidade pode-se provocar a morte de peixes e outros seres que vivem naquele ambiente (SILVA, BARP, 2014). Portanto, é crucial o acompanhamento do potencial hidrogeniônico das águas do rio Apodi-Mossoró no que se refere ao cuidado e preservação ambiental.

O procedimento de medição laboratorial consiste em colocar uma de 80 mL da água em um béquer de 100 mL e, em seguida, mergulhar bulbo do eletrodo do pHmetro de bancada.

É necessário aguardar em torno de 5 a 10 minutos até que haja a estabilização da medida. Ao atingir a estabilização o valor de pH é anotado.

5.3.3 Determinação dos teores de cálcio, magnésio e cloretos

O procedimento de preparo das amostras a serem analisadas, assim como para o sal, é comum para o cálcio, magnésio e cloretos. Em que, uma alíquota de 25 mL da salmoura a ser analisada é retirada colocando-a em um balão volumétrico de 250 mL. Posteriormente, o volume do balão é completado com água destilada.

5.3.3.1 Cálcio

O método para determinação consiste na retirada de uma alíquota de 10 mL da solução previamente preparada e transferência para um erlenmeyer de 250 mL. Adiciona-se também, no mesmo erlenmeyer, 25 mL de água destilada, 5 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 20% e, por fim, o indicador ácido calcon-carboxílico. No momento em que o indicador entra em contato com a solução observa-se o surgimento da coloração rosada, a quantidade de indicador é dosada pela nitidez dessa coloração rósea. Por último, titula-se com uma solução de EDTA 0,01M até o ponto de viragem para a coloração azul. O volume gasto de EDTA é anotado para calcular o teor de cálcio conforme a Equação (7).

$$Ca^{2+} = V_3 \times f_{EDTA} \times 0,04008 \quad (7)$$

Onde,

- Ca^{2+} = Teor de cálcio na amostra analisada, g/L;
- V_3 = Volume gasto de EDTA, mL;
- f_{EDTA} = Fator de correção da solução de EDTA;

5.3.3.2 Magnésio

O procedimento para a determinação do teor de magnésio consiste em retirar uma alíquota de 1 mL da solução previamente preparada e transferir para um erlenmeyer de 250mL. Posteriormente, adiciona-se, no mesmo erlenmeyer, 10 mL de uma solução tampão (pH 10) e

o indicador negro de eriocromo T. A quantidade de indicador é adicionada até que a coloração rósea seja nítida na solução. Em seguida, titula-se com uma solução de EDTA 0,01M até o ponto de viragem para a coloração azul. O volume gasto de EDTA é anotado para calcular o teor de magnésio conforme a Equação (8).

$$Mg^{2+} = (V_4 - V_3) \times f_{EDTA} \times 0,02432 \quad (8)$$

Onde,

- Mg^{2+} = Teor de magnésio na amostra analisada, g/L;
- V_3 = Volume gasto de EDTA para titular o cálcio, mL;
- V_4 = Volume gasto de EDTA para titular o cálcio e magnésio, mL;
- f_{EDTA} = Fator de correção da solução de EDTA;

5.3.3.3 Cloretos

O procedimento para a determinação do teor de cloretos consiste na retirada de uma alíquota de 5 mL da solução previamente preparada e transferir para um erlenmeyer de 250mL. Seguidamente, é adicionado, no mesmo erlenmeyer, 1 mL de cromato de potássio (K_2CrO_4) 5% obtendo-se uma solução com coloração amarelada. Na subsequência, titula-se com uma solução de nitrato de prata ($AgNO_3$) 0,1 N até o ponto de viragem para a vermelho tijolo. O volume gasto de nitrato de prata é anotado para calcular o teor de cloretos conforme a Equação (9).

$$Cl = V_{AgNO_3} \times f_{AgNO_3} \times 7,09 \quad (9)$$

Onde,

- Cl = Teor de cloretos na amostra analisada, g/L;
- V_{AgNO_3} = Volume gasto de nitrato de prata, mL;
- f_{AgNO_3} = Fator de correção da solução de nitrato de prata;

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria salineira possui uma atuação indispensável na sociedade em virtude da sua participação nas alimentações humana e animal, assim como sua ampla aplicação na indústria. Nesse cenário econômico, o estado do Rio Grande do Norte é o principal protagonista. Dentre as diversas empresas que atuam no estado a SALINOR – Salinas do Nordeste S/A é responsável por uma parcela significativa da produção de sal.

O estágio supervisionado realizado teve como principal objetivo acompanhar os processos de produção e controle de qualidade na produção de sal marinho, tendo em vista a disponibilidade da empresa SALINOR. Foi possível constatar a presença de diversos conhecimentos básicos de Operações Unitárias desde a evaporação até a cristalização do sal. Dessa forma, houve uma compreensão mais abrangente acerca dos assuntos teóricos vistos na graduação e suas devidas aplicações.

As atividades desenvolvidas no laboratório de qualidade geraram uma evolução significativa na execução de procedimentos analíticos e postura adotada no ambiente de trabalho. Além de evidenciar a importância do acompanhamento rigoroso dos processos que compõe a produção do sal, uma vez que as operações realizadas são guiadas pelas análises físico-químicas das salmouras.

Além do aprofundamento dos conhecimentos adquiridos na graduação, o estágio possibilitou o desenvolvimento de habilidades sociais de comunicação, trabalho em equipe, respeito e responsabilidade profissional. Foi possível também notar a importância da presença de graduandos e profissionais formados na área da Engenharia Química dentro da indústria salineira devido a vasta possibilidade de otimização e melhoria de processos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, L. F. **Aplicação da água residuária das salinas no tratamento de efluente têxtil**. 2009. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Legislação Informatizada: Decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975**. Diário Oficial da União – Seção I, 1975.

BEZERRA, J. M. et al. **Aspectos econômicos e ambientais da exploração salineira no estado do Rio Grande do Norte**. Engenharia Ambiental – Espírito Sando do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 3-20, 2012.

BROWN, L. S.; HOLME, T. A. **Química geral aplicada à engenharia**. São Paulo - SP: Cengage Learning Brasil, 2021. E-book. ISBN 9788522128679. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522128679/>. Acesso em: 31 out. 2022.

CÂMARA, A. L. **Produção de Sal por Evaporação Solar: operação e dimensionamento de salinas**. 1 ed.: Rio de Janeiro: Antenna Edições Técnicas, 1999.

CAMPELO, I. C. **Atuação na área do controle de qualidade e processo produtivo do sal na SALINOR–Salinas do Nordeste SA**. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, 2020.

CHAVES, V. de O. **Otimização das Análises De Ca^{2+} e Mg^{2+} no Sal Através a Técnica de Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (FAAS)**. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

CÍRILLO, M. et al. **A history of salt**. American journal of nephrology, v. 14, n. 4-6, p. 426-431, 1994.

COHEN-ADAD, R. et al. **Sea-water solubility phase diagram. Application to an extractive process**. Pure and applied chemistry, v. 74, n. 10, p. 1811-1821, 2002.

COSTA, D. F. da S. et al. **Breve revisão sobre a evolução histórica da atividade salineira no estado do Rio Grande do Norte (Brasil)**. Sociedade & Natureza, v. 25, p. 21-34, 2013.

DE ALMEIDA, C. A. B.; **A exploração do sal na costa portuguesa a Norte do Rio Ave: da Antiguidade Clássica à Baixa Idade Média**. 2005.

DE ANDRADE, Manoel Correia et al. **O Território do Sal: A Exploração do Sal Marinho e a Produção do Espaço Geográfico do Rio Grande do Norte**. Revista GeoInterações, v. 2, n. 2, p. 71-104, 2018.

DINIZ, M. T. M.; VASCONCELOS, F. P.; **Condicionantes naturais à produção de sal marinho no Brasil**. Mercator (Fortaleza), v. 16, 2017.

DINIZ, M. T. M.; VASCONCELOS, F. P.; MARTINS, M. B.; **Inovação tecnológica na produção brasileira de sal marinho e as alterações sócio territoriais dela decorrentes: uma análise sob a ótica da teoria do empreendedorismo de Schumpeter**. Sociedade & Natureza, v. 27, p. 421-437, 2015.

DOS SANTOS, S. M.; MAZON, E. M. de A.; FREITAS, V. P. da S.; **Teores de iodo em sal fortificado para o consumo humano**. Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 70, n. 3, p. 349-353, 2011.

FERNANDES, E.; GUIMARÃES, B. de A.; GLÓRIA, A. M. da S.; **O setor de soda-cloro no Brasil e no mundo**. 2009.

HUBERMAN, Leo. **História da Riqueza do Homem**. Trad. Wlatensir Dutra. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **O sal para consumo humano**. Ministério da Economia, 2004. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/sal2.asp>>. Acesso em setembro de 2022.

KURLANSKY, Mark. **Sal: uma história do mundo**. Trad. Silvana Vieira. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2004.

LEITE, J. Y. P.; DELBONI JÚNIOR, H. **A indústria do sal, processamento e cominuição**. Anais: XX ENTMME - Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2004.

LOPES, L. A.; GIUDICE, C.; **A importância do sal e os riscos do consumo excessivo**. Departamento Científico de Nutrição – Sociedade de pediatria de São Paulo, 2014.

LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F.; **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. 2 Ed. - Rio de Janeiro: Centro de tecnologia mineral ministério da ciência e tecnologia (CETEM), 2008.

MENDES, A. et al. **Produção de Sal**. Relatório do Projeto FEUP. 2012. 28 f. Mestrado Integrado do Curso de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2012.

OLIVEIRA, B. de M.; MELO FILHO, J. M.; AFONSO, J. C. **A densidade e a evolução do densímetro**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, p. 1-10, 2013.

PEREIRA, C. S. **Análise dos Parâmetros Físico-químicos de Salmouras e do Sal Produzido Pela Salinor– Salinas Do Nordeste S/A**. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, 2017.

PINET, Paul R. **Fundamentos de Oceanografia**. Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788521634485. Disponível em:
<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634485/>. Acesso em setembro de 2022.

PONTAROLO, Marianna Cruz Campos et al. **Cadeia produtiva de sal do Rio Grande do Norte: modelagem, objetivos, processos, atores e recursos alinhados para o crescimento**. Revista Gestão Industrial, v. 16, n. 3, 2020.

SALINOR - Salinas do Nordeste S/A, 2021; Disponível em: <<https://www.salinor.com.br/>>. Acesso em julho de 2022.

SILVA, E. L.; BARP, E.; **Química geral e inorgânica**: princípios básicos, estudo da matéria e estequiometria 1ª edição 2014. Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536531175. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536531175/>. Acesso em agosto de 2022.

USGS, U.S. Geological Survey. **Mineral commodity summaries 2020**: U.S. Geological Survey, 200 p., 2020.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Instituto Adolfo Lutz: Núcleo de Informação e Tecnologia, São Paulo, 2008.