



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS**  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS**



**CLARA LÍVIA CÂMARA E SILVA**

**POTENCIALIDADE DE PRODUÇÃO DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO A PARTIR DA  
ÁGUA MÃE PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE SAL MARINHO NO MUNICÍPIO  
DE GROSSOS/RN**

**MOSSORÓ – RN**  
**2016**

CLARA LÍVIA CÂMARA E SILVA

**POTENCIALIDADE DE PRODUÇÃO DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO A PARTIR DA  
ÁGUA MÃE PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE SAL MARINHO NO MUNICÍPIO  
DE GROSSOS/RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Nível Mestrado Acadêmico, da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

**Orientador:** Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio

**Co-orientadora:** Prof. Dr. Suely Leal de Castro

MOSSORÓ-RN

2016

CLARA LÍVIA CÂMARA E SILVA

**POTENCIALIDADE DE PRODUÇÃO DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO A PARTIR DA  
ÁGUA MÃE PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE SAL MARINHO NO MUNICÍPIO  
DE GROSSOS/RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Nível Mestrado Acadêmico, da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

**Aprovado em:** 06/09/2016

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio (UERN)

Orientador

---

Prof. Dr. Rodrigo Guimarães de Carvalho (UERN)

Examinador Interno

---

Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho (UFERSA)

Examinador Externo

MOSSORÓ-RN

2016

**Catálogo da Publicação na Fonte.  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Silva, Clara Livia Câmara

Potencialidade De Produção De Óxido De Magnésio A Partir Da Água Mãe Proveniente Da Produção De Sal Marinho No Município De Grossos/RN/ Clara Livia Câmara E Silva – Mossoró, RN, 2016.

**70 F.**

Orientador (a): Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio

Co-orientador: . Prof. Dra. Suely Leal de Castro

Dissertação (Mestrado) Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Campus Central. Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais em nível acadêmico pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

Bibliotecário: Sebastião Lopes Galvão Neto – CRB - 15/486

Dedico este trabalho ao meu filho Gabriel, pois  
cada letra aqui escrita representa um espaço de  
tempo que ficamos separados.

## AGRADECIMENTOS

A conclusão do curso de Mestrado em Ciências Naturais é uma imensa realização, pela superação dos obstáculos que a vida me propôs.

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por estar sempre comigo, por todas as oportunidades, pelas portas fechadas e abertas que me fizeram chegar até aqui.

Aos meus pais Francisco José da Silva e Maria Goretti Câmara da Silva, que mais uma vez aceitaram ser pais de novo, cuidando do meu filho em tempo integral para que eu pudesse prosseguir.

Ao meu filho Gabriel pelo amor sem fronteiras, pela sua infinita compreensão pelas minhas ausências, que por muitas vezes, no íntimo da sua inocência me deu coragem para continuar.

Ao meu companheiro de vida e de trabalho Hermínio Sabino de Oliveira Junior, mais que namorado, é meu amigo e esteve presente durante esta pesquisa, tirou dúvidas e me acompanhou sempre que precisei.

A UERN, em especial aos professores Dr. Alfredo Marcelo Grigio e Dra. Suely Castro, respectivamente orientador e co-orientadora deste trabalho, fundamentais para a realização do mesmo, representando aqui também todos meus professores, agradeço pela disponibilidade e confiança.

Ao professor Dr. Luis César Aquino, pelas valiosas contribuições a esta pesquisa, sempre paciente e atento às minhas dúvidas quando me socorri a ele. Muito obrigada!

Aos amigos da vida e da faculdade, aos poucos que me restaram, pela indiscutível amizade e por todos os momentos compartilhados. Espero que continuemos parceiros por toda a vida.

A F.Souto Indústria e Comércio de Sal S.A., pela oportunidade de trabalho, através da qual vivenciei novas experiências. Aqui especialmente lembrados os queridos amigos que lá conquistei, companheiros diários de jornada, que entre as viagens, cafés e conversas compartilhadas puderam tornam sutis momentos difíceis.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta pesquisa. Nessas páginas, um sonho de menina.

“E de tanto falarem que ela não podia,  
ela foi lá e fez.  
Só de atrevimento, só por teimosia.  
Fez, e fez bem feito.  
Fez com maestria.  
Por fim, gargalhou, vendo bocas abertas  
de quem pensou que ela não faria.”

David Rodrigues – Poema PRAELA.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Fluxograma da produção de sal

Figura 02: Colheita do Sal Marinho na área em estudo.

Figura 03: Mapa do município de Grossos/RN

Figura 04: Mapa de vegetação do município de Grossos/RN

Figura 05: Mapa do município de Grossos/RN – Hidrografia e Tipos de Solo da Região

Figura 06: Área em estudo: Salina Maranhão. Em destaque sua área de estocagem após a lavagem do sal marinho.

Figura 07: Estação 01 - Bombagem

Figura 08: Mapa de localização da área em estudo, em destaque as estações de coleta E1 e E2

Figura 09: Gráfico da variação temporal do parâmetro Temperatura, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo.

Figura 10: Gráfico da variação temporal do parâmetro pH, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 11: Gráfico da variação temporal do parâmetro Salinidade, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 12: Gráfico da variação temporal do parâmetro Cálcio, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo.

Figura 13: Gráfico da variação temporal do parâmetro Magnésio, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo.

Figura 14: Gráfico da regressão linear dos parâmetros Magnésio e salinidade na estação de coleta E2, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 15: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 16: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 17: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 18: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 19: Gráfico da distribuição normal do parâmetro Temperatura na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 20: Gráfico da distribuição normal do parâmetro temperatura na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 21: Gráfico da distribuição normal do parâmetro Salinidade na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 22: Gráfico da distribuição normal do parâmetro salinidade na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 23: Gráfico da distribuição normal do parâmetro pH na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 24: Gráfico da distribuição normal do parâmetro pH na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 25: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na estação de coleta E1 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 26: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na estação de coleta E2 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 27: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na estação de coleta E1 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 28: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na estação de coleta E2 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 29: Gráfico da distribuição normal do parâmetro salinidade na estação de coleta E1 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

Figura 30: Gráfico da distribuição normal do parâmetro salinidade na estação de coleta E2 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01: Reserva e produção mundial de sal marinho

Quadro 02: Parâmetros analisados e frequência de análise em cada estação de coleta

Quadro 03: Descrição sucinta dos métodos utilizados no laboratório para análise dos parâmetros monitorados

Tabela 01: Estatística exploratória para os dados na estação de coleta E1 no período monitorado

Tabela 02: Estatística exploratória para os dados de cálcio, magnésio e salinidade da água do rio (na entrada) e na saída das salinas nos drenos (descarte), para as estações de coleta E1 e E2 nas respectivas datas ao longo do tempo de estudo:

Tabela 03: Matriz de correlação de Pearson para as variáveis estudadas.

Tabela 04: Matriz de correlação de Pearson para as variáveis Cálcio, Magnésio e Salinidade no Rio e no Descarte. Mede o grau de correlação e interação entre as variáveis.

Tabela 05: Teste de média para os parâmetros obtidos na estação de coleta E1.

Tabela 06: Teste de média para os parâmetros obtidos na estação de coleta E2.

Tabela 07: Dados brutos dos parâmetros cálcio, magnésio e salinidade nas estações de coleta E1 e E2.

Tabela 08: Dados brutos dos parâmetros na estação de coleta E1 cedidos pela empresa responsável pela área em estudo para realização do presente trabalho

## RESUMO

Na indústria salineira, a água do mar é a sua matéria prima, um recurso inesgotável e renovável. O presente trabalho visa avaliar o potencial de aproveitamento do efluente residual salino, proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos, estado do Rio Grande do Norte, utilizando dados das análises de água fornecidos pela empresa comercial de produção de sal marinho desta região. A local de estudo está localizado na região da Costa Branca, e o abastecimento do empreendimento é realizado através do estuário do rio Apodi-Mossoró. Foram analisados cinco parâmetros (temperatura, pH, salinidade, cálcio e magnésio) em duas estações de coleta, E1 na captação de água e E2 no ponto de descarte de água-mãe. Realizadas as análises estatísticas utilizando o software livre SAEG 9.1, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk, Lilliefors e Kolmogorof-Smirnoff , testes de média e Correlação de Pearson, associando valores dos parâmetros obtidos em maré alta e maré baixa e entre as duas estações de coleta. Foi possível apontar que a água mãe descartada contém 18 vezes mais magnésio e é 5 vezes mais salino do que a água coletada na entrada para a produção de sal marinho, junto a isto foi identificada a quantidade de magnésio descartada durante o período de pesquisa, viabilizando a produção de óxido de magnésio a partir da água mãe, que além de minimizar impactos ambientais provocados pela indústria salineira, se tornaria uma fonte alternativa para produção da indústria salineira.

Palavras-chave: Salinas, monitoramento ambiental, impactos ambientais

## **ABSTRACT**

In the salt industry, sea water is its raw material, an inexhaustible and renewable resource. The present work aims to evaluate the potential of the use of saline residual effluent from the production of sea salt in the municipality of Grossos, state of Rio Grande do Norte, using data from the water analysis provided by the commercial salt production company of this region. The study site is located in the Costa Blanca region, and the supply of the project is carried out through the Apodi-Mossoró River estuary. Five parameters (temperature, pH, salinity, calcium and magnesium) were analyzed at two collection stations, E1 at the water catchment and E2 at the mother liquor disposal point. Statistical analyzes were performed using the SAEG 9.1 free software, the Shapiro-Wilk, Lilliefors and Kolmogorof-Smirnoff tests, mean tests and Pearson's correlation were applied, associating values of the parameters obtained in high tide and low tide and between the two seasons Collection. It was possible to point out that the discarded mother water contains 18 times more magnesium and is 5 times more saline than the water collected at the entrance to the production of sea salt, along with it was identified the amount of magnesium discarded during the research period, The production of magnesium oxide from mother water, which in addition to minimizing environmental impacts caused by the salt industry, would become an alternative source for the production of the salt industry.

**Keywords:** Salt production, environmental monitoring, environmental impacts.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.2 - OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1. Objetivo geral</b> .....	16
<b>1.2.2. Objetivos específicos</b> .....	16
<b>2 - REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	17
2.1. O SAL .....	17
2.2. A HISTÓRIA DO SAL.....	18
2.3. O SAL NO MUNDO E NO BRASIL.....	18
2.4. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO SAL.....	20
2.5. PROBLEMAS AMBIENTAIS ACARRETADOS PELA PRODUÇÃO SALINEIRA .....	22
2.6. CONAMA 357.....	24
2.7 A INDÚSTRIA SALINEIRA E SEUS SUBPRODUTOS .....	25
<b>2.7.1. Gipsita ou carago</b> .....	25
<b>2.7.2. Magnésio</b> .....	25
<b>3 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	29
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO .....	29
3.2- ÁREA DE ESTUDO .....	32
<b>4 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	33
4.1- ESTAÇÕES DE COLETA.....	33
4.2- MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISES DOS PARÂMETROS:.....	34
4.3- ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
<b>5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
5.1. ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA.....	38
5.2. ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS ANALISADOS NA ESTAÇÃO DE COLETA E1 .....	40
<b>5.2.1- Análise da Temperatura</b> .....	40
<b>5.2.2- Análise do pH</b> .....	42
<b>5.2.3. Análise da Salinidade</b> .....	44
<b>5.2.4. Análise do Cálcio</b> .....	45
<b>5.2.3. Análise do Magnésio</b> .....	47
5.3. CORRELAÇÃO DE PEARSON .....	48

<b>5.3.1 Estação de Coleta E1:</b> .....	48
<b>5.3.2 Estação de Coleta E1 e E2:</b> .....	49
<b>5.4. TESTES DE MÉDIA</b> .....	51
<b>5.5. CARACTERIZAÇÃO DA QUANTIDADE DE MAGNÉSIO NA ÁREA EM ESTUDO:</b> .....	52
<b>6 - CONCLUSÕES</b> .....	54
<b>7 - REFERÊNCIAS</b> .....	55
<b>ANEXOS</b> .....	59
<b>APÊNDICES</b> .....	64

## 1 - INTRODUÇÃO

Desde o início do Século XX, o crescimento populacional gerado pela Revolução Industrial e o consequente surgimento do capitalismo, levou a sociedade à necessidade de maior exploração dos recursos naturais comumente explorados e de novos recursos, como também maior utilização de espaço físico.

A preocupação com a disponibilidade e a importância dos recursos naturais como fatores limitantes do crescimento econômico é manifestada pela humanidade há muito tempo.

Nesse sentido, o processo de manutenção do capitalismo e o consumo de bens que utilizam recursos naturais como matéria-prima têm sido viabilizados pela evolução da ciência e da tecnologia, principalmente no que se diz respeito ao desenvolvimento de novos processos produtivos menos degradadores e novas fontes de energia de potencial poluidor relativamente baixo se comparados com as primeiras matrizes energéticas utilizadas no início da Revolução Industrial (SILVA, 2012).

O mar é a maior reserva contínua de minérios para exploração, nele estão dissolvidas incontáveis toneladas de sólidos. Estas águas são abastecidas continuamente pelos rios que transportam mais minerais, fazendo do mar uma reserva eterna para produção de sais minerais, dentre estes o cloreto de sódio.

Na indústria salineira, a água do mar é a sua matéria prima, um recurso inesgotável e renovável. Como uma verdadeira jazida, o mar apresenta cerca de 3% de cloreto de sódio, 0,75% de outros sais e 96,25% de água (ROCHA et al, 1998).

Para a produção de sal marinho, estações de bombeamento fazem a captação de água, inundando grandes áreas chamadas evaporadores com uma lâmina d'água de cerca de 1 m e 3,5° Baumé de salinidade (BEZERRA E BRITO, 2001).

O processo de obtenção de cloreto de sódio a partir da água do mar, no Brasil, concentrou-se no Rio Grande do Norte em função de uma série de fatores específicos da região, como o clima de temperaturas elevadas, topografia baixa e regime de marés que possibilitam a penetração das águas oceânicas na planície litorânea, presença de ventos alísios de nordeste que contribuem para a alta taxa de evaporação, ausência de grandes rios que depositem água doce no oceano com regularidade e baixo índice de precipitação pluviométrica na região (ADAS, 1981).

Apesar do cloreto de sódio ser um produto de largo consumo e importante aplicação em diversos setores, as indústrias salineiras caracterizam-se por constantes crises. Esse estado

de permanente desequilíbrio econômico tem levado à busca por alternativas de produção e outras medidas que tragam melhorias ao setor.

Dentre as alternativas de produção para as indústrias salineiras, destaca-se a produção de óxido de magnésio a partir das chamadas águas-mães, um efluente industrial rico em cloreto e sulfato de magnésio, obtido no processo de fabricação do sal, o qual é descartado nos rios da região sem nenhum aproveitamento.

O presente trabalho visa avaliar o potencial de aproveitamento do efluente residual salino, proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos, estado do Rio Grande do Norte. Para isso, utilizou-se dados das análises de água fornecidos pela empresa comercial de produção de sal marinho desta região, seguindo metodologia própria de monitoramento, nos trechos de coleta e descarte de água-mãe, ao longo do Rio Apodi-Mossoró.

## 1.2 - OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

Avaliar o potencial de aproveitamento das águas-mães para produção de óxido de magnésio, por meio dos dados de concentração deste metal presente nas águas-mães provenientes da produção de sal marinho de uma empresa de produção comercial de sal localizada no município de Grossos, no estado do Rio Grande do Norte.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar as águas-mães da produção de sal marinho, no que diz respeito aos parâmetros: temperatura, pH, salinidade, cálcio e magnésio;
- Estabelecer a correlação entre esses parâmetros;
- Estimar a quantidade de magnésio descartada periodicamente mediante os dados coletados;
- Identificar o impacto da produção salineira e seus efluentes no meio ambiente;
- Verificar a viabilidade para a reutilização desse tipo de efluente, dentro das condições locais.

## 2 - REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. O SAL

O cloreto de sódio, também conhecido como mineral halita ou simplesmente sal, é uma das substâncias mais abundantes na natureza. Além dos oceanos, o sal está presente em muitos depósitos à flor da terra, em jazidas subterrâneas, em salmouras naturais ou lagos salgados (CÂMARA, 1999).

Considerado um componente essencial à nossa vida, o sal possui mais de 14.000 usos conhecidos. Muitos destes referidos usos vêm das propriedades químicas do sódio e do cloro e dos seus papéis essenciais na nutrição humana e animal. A indústria química (fabricação de soda cáustica, por exemplo), indústria alimentícia (sal de cozinha, por exemplo), indústria têxtil, agricultura, tratamento de água, e fabricação de cosméticos e remédios, estão entre as diversas utilidades do cloreto de sódio. (MELO; CARVALHO; PINTO, 2008).

A halita (NaCl) pode ser encontrada em dois tipos: Sal Marinho, que é extraído através da evaporação da água do mar, ou Sal de Rocha (sal-gema), que é extraído de minas subterrâneas que já foram submersas pela água do mar, e que secou (ARAÚJO et al, 2012).

De acordo com Araújo et al (2012), para a obtenção do sal existem processos específicos de extração. Geologicamente, o sal é encontrado na natureza em forma de solução ou em estado sólido. Existem dois tipos de ocorrências, são elas: ocorrência em forma de solução (oceanos, lagos, aquíferos subterrâneos e fontes de salmoura natural) e ocorrência no estado sólido (depósitos a céu aberto, depósitos subterrâneos em forma de camadas ou domos/diapiros).

O sal-gema é muito vulnerável à pressão e temperatura. Considerando este fato, a pressão que é exercida sobre a camada salina, devido ao peso estático dos sedimentos que estão capeando-a e/ou a forças tectônicas laterais, faz com que o sal flui de forma ascendente, devido à sua propriedade física visco-elástica (MELO; CARVALHO; PINTO, 2008).

Para Câmara (1999), o mar é a maior reserva contínua de minérios e uma característica intrínseca é o fato de ser reabastecida continuamente pelos rios, que transportam mais minerais todos os dias para o mar, mais do que o homem consegue retirar a cada ano. Dentre estes minerais, está o cloreto de sódio e o mar é uma das suas mais importantes fontes de produção.

De maneira geral, os processos para obtenção do sal através da água do mar utilizam evaporação. Quando a evaporação é decorrente da radiação solar, o processo recebe o nome de evaporação solar, que é a utilizada na região do presente trabalho e a mais viável, tornando

proibitivo o uso de outra fonte de energia neste processo, quando se leva em conta o grande volume de água que deve ser evaporada para a produção de sal. (CÂMARA, 1999)

## 2.2. A HISTÓRIA DO SAL

Há cerca de cinco mil anos, os chineses descobriram que o sal poderia ser usado na preservação de alimentos, o que permitiu a realização de estoques de comida, reduzindo a necessidade dos povos de migrarem, ajudando na fixação dos grupos de indivíduos e no surgimento das comunidades. (SARNO, 2010).

De acordo com Sarno (2010), no passado o sal influenciou no pensamento, na cultura e no estilo de vida do ser humano. O sal era discutido pelas grandes autoridades de uma forma comparável com o que o petróleo é hoje em dia. O sal está associado à saúde (as expressões latinas para saúde e saudável, *salus* e *saluris*, são derivadas de sal). Em muitas culturas foi equivalente a dinheiro, na Roma antiga os trabalhadores eram reembolsados com um *salarium*, da qual derivou a palavra salário. Na África, o ouro era trocado por sal na proporção de um para um.

O sal desempenhou papel central na economia de muitas regiões e foi utilizado como base para tributação e monopólios de muitos estados no mundo antigo. O sal inclusive esteve no foco de conflitos como a Revolução Francesa e a Guerra da Independência da Índia (SARNO, 2010).

Atualmente, o sal ainda é insumo para diversas atividades, não somente no ramo alimentício, mas também industrial, cosmético e farmacêutico.

## 2.3. O SAL NO MUNDO E NO BRASIL

Segundo o DNPM (2014), Departamento Nacional de Produção Mineral, a produção mundial de todos os tipos de sal em 2013 foi estimada em torno de 264 mega toneladas (Mt, ou ainda  $10^6$  t), representando um acréscimo de cerca de 2% em relação ao ano anterior (259 Mt em 2012). A China contribuiu com 26,9% da produção e continuou na liderança, seguida pelos Estados Unidos da América (EUA), com 15,2%. Todos os dados sobre a reserva e produção mundial de sal marinho fornecidos pelo DNPM estão expostos no Quadro 01.

De acordo com o DNPM (2014), a produção doméstica de sal nos EUA cresceu em torno de 8% em relação ao ano anterior. No Brasil, a produção de sal de todos os tipos foi estimada em torno de 7,2 Mt e foi assim distribuída: sal por evaporação solar e a vácuo, 5,9 Mt e sal-gema, 1,3 Mt.

Quadro 01: Reserva e produção mundial de sal marinho

Países	Reservas (x 10 <sup>6</sup> t) por ano	Produção (x 10 <sup>3</sup> t) por ano		
	2013	2012	2013	%
Brasil	21.630	7.482	7.275	2,8
China	nd*	70.000	71.000	26,9
EUA	nd	37.200	40.100	15,2
Índia	nd	17.000	18.000	6,8
Alemanha	nd	11.900	12.000	4,5
Austrália	nd	10.800	11.000	4,2
Canadá	nd	10.800	11.000	4,2
México	nd	10.800	9.500	3,6
Chile	nd	8.060	8.000	3,0
Outros países	nd	74.958	76.125	28,8
<b>Total</b>	nd	259.000	264.000	100

Fonte: DNPM (2014) – Adaptado

\*nd: Valor não disponível

Em termos de reservas mundiais, o DNPM (2014) aponta que a oferta de sal é considerada ilimitada. A quantidade de sal nos oceanos é praticamente inesgotável. No tocante aos EUA, os recursos de sal-gema e sal de salmoura estão localizados principalmente nos Estados de Kansas, Louisiana, Michigan, New York, Ohio e Texas. Lagos salinos e instalações de sal de evaporação solar localizam-se nos Estados do Arizona, Califórnia, Nevada, Novo México, Oklahoma e Utah.

Para o DNPM (2014), quase todos os países têm depósitos de sal ou lidam com operações de evaporação solar de vários tamanhos. No Brasil, as reservas de sal-gema (medidas + indicadas) aprovadas pelo DNPM somam cerca de 21.630 milhões de toneladas. O Rio Grande do Norte continuou na liderança, com 5,6 Mt, representando aproximadamente 78% da produção total de sal do país e em torno de 95% da produção brasileira de sal marinho. Contribuíram para essa produção os municípios de Mossoró, com 1,8 Mt (32%); Macau, com 1,7 Mt (30%); Porto do Mangue, 599 Mt (11%); Areia Branca, 590 Mt (10%); Grossos, 446 Mt (9%); Galinhos, 394 Mt (7%); e Guamaré, 60 Mt (1%).

De acordo com o DNPM (2014), a produção por evaporação solar no Rio de Janeiro foi estimada em 53 Mt e a de salmoura (equivalente em sal) em 153 Mt, que, somadas,

representaram 2,9% da produção de sal do país, seguido do Ceará, com 108 Mt (1,5%), e do Piauí, com 8 Mt (0,1%). A produção resultante das plantas de sal-gema dos estados de Alagoas e Bahia foi estimada em torno de 1,3 Mt, representando 18% da produção total de sal do Brasil. A produção nacional de sal-gema sofreu uma queda em torno de 7 % em relação ao ano anterior (1,3 Mt em 2013 contra 1,4 Mt de 2012).

A atividade salineira tem importante papel no estado do Rio Grande do Norte, principalmente na economia. O Estado possui uma ótima localização para a implantação de salinas, o que leva a uma produção de sal de 4,8 milhões de toneladas numa área de produção em torno de 40.000 ha, ficando assim responsável por mais de 95% da produção salineira brasileira. (CÂMARA, 1999).

De acordo com a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDEC), em 2005 o estado possuía 55 empresas salineiras cadastradas, ocupando uma área de 40.000 hectares. Em 2009, o Sindicato da Indústria Salineira (Siesal) calculou cerca de 15 mil empregos gerados diretamente na região, em municípios de pequeno e médio porte, constituindo-se, comumente, como referência para a história econômica dessas cidades, já que a extração de sal marinho é umas das primeiras atividades produtivas do território potiguar.

#### 2.4. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO SAL

A salina é uma área de produção de sal marinho pela evaporação da água do mar ou de lago de água salgada. O sal marinho formado na salina é uma rocha sedimentar química que tem origem na precipitação a partir da água do mar, quando esta evapora (NORSAL, 2011).

Esse processo fundamenta-se na utilização de energia solar para evaporação e na diferença de solubilidade dos muitos sais minerais contidos na água. Os principais sais dissolvidos na água do mar, em ordem crescente de solubilidade são óxido de ferro (III), carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, cloreto de sódio, sulfato de magnésio, cloreto de magnésio, cloreto de potássio e brometo de sódio. As solubilidades diferentes possibilitam uma precipitação razoavelmente seletiva dos diversos sais e a produção de cloreto de sódio com grau de pureza adequado para várias aplicações (CÂMARA, 1999).

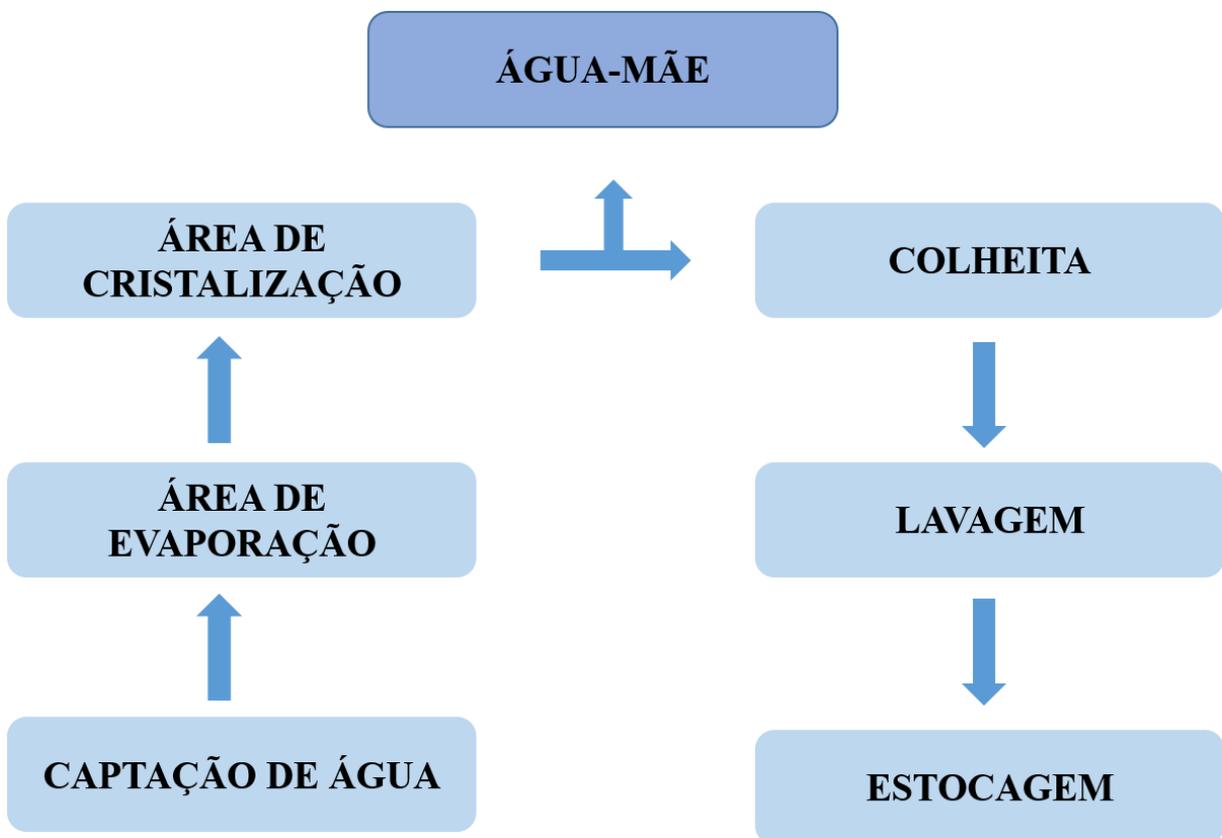
O processo de produção de sal é dividido em dois estágios: concentração ou vaporização e cristalização ou deposição. Na fase de concentração, o objetivo é fazer com que a água captada atinja a concentração de saturação de NaCl, ideal para iniciar o estágio seguinte. Abstraindo-se as perdas por infiltração e percolação, chega a ser evaporado cerca de 90% do volume inicial. No estágio de cristalização, o objetivo é a produção de sal. A salmoura

saturada é admitida e permanece até atingir a densidade especificada para o descarte, quando é drenada e descartada (CÂMARA, 1999).

O processo produtivo do sal, que ocorre em etapas, está descrito no fluxograma apresentado na Figura 01. A partir da captação através de bombeamento, ocorre a concentração da água do mar. A concentração inicial é por volta de 3,5° Baumé a 20°C. A salmoura passa para reservatórios denominados evaporadores, interligados entre si e que constituem o circuito da salina. A água passa de evaporador a evaporador, concentrando-se gradativamente, com auxílio da energia solar e dos ventos (ALBUQUERQUE, 2009).

Durante a evaporação, são depositados os sais menos solúveis, como o carbonato de cálcio e sulfato de cálcio. Este último tem sua precipitação iniciada quando a salmoura atinge a concentração de 11,7° Bé a 20°C (CÂMARA, 1999).

Figura 01: Fluxograma da produção de sal



Fonte: A Autora.

Quando atinge a concentração de 25°Baumé a 20°C, esta água é drenada para os cristalizadores, reservatórios onde o cloreto de sódio precipitará. Com cerca de 29°Baumé de concentração, ponto este em que a concentração de magnésio é excessiva, esta água residuária

chamada água-mãe é descartada para os rios. Ela contém altos teores de íons como sódio, potássio, cloreto, sulfato e principalmente magnésio (ALBUQUERQUE, 2009).

As águas-mães apresentam cerca de 82,80 gramas de cloreto de magnésio e 62,30 gramas de sulfato de magnésio por litro de solução (AZEVEDO *apud* FERRARI, 2002).

O processo de descarte das águas-mães somente é permitido durante quatro horas por dia, em maré alta, segundo licença ambiental vigente na empresa.

Por fim, o sal é coletado em máquinas colhedoras, os tratores levam o sal colhido ao lavador e do lavador o sal é transportado em esteiras para as pilhas de sal. Assim finaliza o processo de produção e colheita do sal marinho. A partir dessas etapas começa o beneficiamento do sal, conforme for a finalidade de destino. A Figura 02 apresenta o momento da colheita do sal marinho.

Figura 02: Colheita do Sal Marinho na área em estudo.



Fonte: Acervo da empresa.

## 2.5. PROBLEMAS AMBIENTAIS ACARRETADOS PELA PRODUÇÃO SALINEIRA

Qualquer intervenção do homem por meio de práticas industriais traz danos ao meio ambiente, que comprometem os ecossistemas como também a qualidade de vida do homem. A prática de extração do sal marinho produzido nas salinas é um dos principais agravantes para a degradação ambiental onde estas salinas estão inseridas.

No final dos anos de 1960, a extração do sal marinho entrou em expansão e com uma grande aceleração com o crescimento e a modernização do setor tecnológico. Esse avanço provocou e vem provocando até hoje impactos ambientais (IDEMA, 2005). Entre os principais impactos ambientais podemos citar:

- Aumento na emissão de material particulado, não somente quando as águas das salinas entram em evaporação, mas também no processo de beneficiamento do sal marinho;
- Alterações dos solos, grandes áreas compactadas, aterradas e desmatadas para a expansão dos evaporadores e cristalizadores, cujos tanques ocupam grandes áreas;
- Alteração das águas, pelo lançamento de efluente salino e também pela mudança no percurso dos corpos hídricos, muitas vezes realizado para favorecer a produção de sal marinho, não levando em consideração questões ambientais, ecossistemas da região, contribuindo também para a degradação do habitat marinho daquela região;
- Comprometimento da flora e da fauna das regiões onde estão inseridas as salinas, assim como a devastação das áreas dos mangues, já que as salinas estão localizadas nesse tipo de ecossistema, em regiões de estuário, de grande valor ambiental, com características peculiares e espécies endêmicas.

De acordo com Aragão (2007), um desastre ambiental ocorrido no Rio do Carmo, afluente do Rio Apodi-Mossoró, no ano de 1998, resultou numa enorme mortandade de peixes ocasionada pela descarga de águas-mães. Esse acidente apontou uma questão sobre a possível agressividade das águas-mães ao meio ambiente. Porém, segundo Medeiros (2001), um litro de água-mãe dilui-se em 544 litros de água do mar presente no rio Apodi Mossoró, o que certamente não acontece no Rio do Carmo, cuja vazão é menor, provocando a incapacidade deste rio diluir efetivamente a descarga de água-mãe.

Albinatti et al (2003) apontam que os sais acumulados presentes nos resíduos salinos podem levar à eutrofização e ao aparecimento da pressão osmótica, ocasionando a morte dos organismos não adaptados ao ambiente mais salino.

Petta et al (2004) calculou uma diminuição de 28 ha na área de manguezal no município de Grossos, região salineira do Rio Grande do Norte, no período de 1986 a 1996, ocasionado principalmente pelo descarte de águas-mães.

Para Fernandes (2012), o ecossistema manguezal desempenha uma gama de papéis e funções de extrema importância para comunidades biológicas que o formam e populações humanas que dependem dele. Dentre estas funções pode-se citar: área de abrigo, reprodução,

desenvolvimento e alimentação para diversas espécies locais, proteção da zona costeira contra enchentes e erosão, fonte de matéria orgânica para áreas costeiras adjacentes, manutenção da biodiversidade costeira, absorção e neutralização de produtos químicos prejudiciais aos organismos, fonte de alimento e renda para as comunidades próximas, área de lazer e recreação de alto valor paisagístico e a formação da base da cadeia trófica dos ecossistemas costeiros.

Por todos esses motivos é possível afirmar que a atividade salineira e seus efluentes devem ser tratados com seriedade, não somente pelos possíveis danos ambientais, mas também pela responsabilidade social e econômica que a indústria possui. A reutilização do efluente residual salino pode constituir uma importante alternativa de produção, transformando a cadeia produtiva do sal marinho.

## 2.6. CONAMA 357

O Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, em sua Resolução nº 357, publicada em 18 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Além do enquadramento dos corpos hídricos como doce, salobra e salino e seus diversos usos, a Resolução 357 do CONAMA estabelece os valores máximos permitidos para parâmetros orgânicos e inorgânicos, como nitratos, fósforo, coliformes, entre outros, em suas águas.

No presente estudo são utilizados cinco parâmetros: pH, salinidade, temperatura, cálcio e magnésio. Destes citados, somente o pH é contemplado no padrão estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA, que no Artigo 18 estabelece que os valores devem estar entre 6,5 a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade.

Os demais parâmetros, salinidade, temperatura, cálcio e magnésio, são considerados relevantes pelo IDEMA, exigidos em relatórios semestrais emitidos pela empresa, conforme previsto em licença ambiental vigente, como parte do monitoramento ambiental da área da salina.

## 2.7 A INDÚSTRIA SALINEIRA E SEUS SUBPRODUTOS

### 2.7.1. Gipsita ou carago

O Estado do Rio Grande do Norte é o maior produtor de sal de cozinha (NaCl) do Brasil e um dos maiores do mundo (DNPM, 2010). Produz também uma enorme quantidade de resíduos sólidos, e entre os mais conhecidos está o carago. Esses resíduos retardam o aquecimento da água salina, o que prejudica a produção do sal. Por esse motivo são pouco utilizados ou muitas vezes descartados pelas salinas produtoras.

O carago é obtido durante a produção do sal marinho e retirado do fundo dos cristalizadores. Possui grande valor comercial, chegando a ser mais caro que o próprio sal, pelas suas inúmeras propriedades.

De acordo com Gomes (2012), estes materiais são constituídos principalmente por sulfato de cálcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), comercialmente descrito como gipsita.

O mineral conhecido por gipsita ocorre em diversas regiões do mundo. Os minerais de sulfato de cálcio podem ocorrer na natureza nas formas di-hidratada (gipsita:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), desidratada (anidrita:  $\text{CaSO}_4$ ) e, raramente, semihidratada (bassanita:  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ). A composição química teórica da gipsita é de 32,5% de CaO, 46,6% de  $\text{SO}_3$  e 20,9% de  $\text{H}_2\text{O}$  (BALTAR et al., 2005).

Devido às suas características particulares, a gipsita, tanto na forma natural como calcinada, encontra aplicação em uma série de atividades industriais. A forma natural é comumente utilizada na fabricação de cimento, adicionada ao clínquer durante a moagem, já que a gipsita faz retardar o tempo de pega do cimento. Na agricultura pode atuar na correção do pH de solos ácidos (como fonte de cálcio), fertilizante em culturas específicas e também como condicionador de solos (aumenta a permeabilidade, a aeração, a drenagem e melhora a infiltração de água). Na forma calcinada, conhecida como gesso, possui várias utilizações na construção civil, como material ortopédico ou dental, etc. (BALTAR et al., 2005).

O carago é uma fonte de cálcio, mais precisamente de óxido de cálcio, que é obtido da calcinação do  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Para a indústria ceramista, esse óxido é importante por formar fases dentro da estrutura das cerâmicas proporcionando a melhorias das propriedades mecânicas (CALVO, 2003).

### 2.7.2. Magnésio

O Magnésio é o metal mais leve usado e produzido em escala comercial. Embora não seja tão abundante na crosta terrestre como o alumínio, ainda assim é o oitavo elemento mais

abundante, correspondendo a 2% em massa da composição da crosta (BIANCARDI et al, 2011).

No meio ambiente, este metal alcalino terroso nunca é encontrado na forma metálica, somente na forma de compostos como carbonatos, silicatos, sulfatos, cloretos, etc. Pode ser encontrado em mais de 60 minérios diferentes, sendo que os de importância comercial são: Magnesita, Dolomita, Carnalita, Brucita, Olivina, Talco e Serpentina. Outra importante fonte de magnésio é a água do mar, na qual o magnésio é o terceiro elemento mais abundante, ficando atrás somente do cloro e do sódio (FRIEDRICH e MORDIKE, 2007).

É possível analisar as propriedades físico-químicas do magnésio apontando as vantagens e desvantagens do metal como um material estrutural. Entre as vantagens pode-se citar: baixa densidade, excelentes características amortecedoras, elevada resistência à fadiga, ser paramagnético (não magnetizável) e não dar origem a faíscas. As principais desvantagens são: módulo de elasticidade relativamente baixo, alto coeficiente de expansão térmica, relativa resistência à corrosão, emprego impraticável acima de 200°C e susceptibilidade à corrosão sob tensão (FRIEDRICH e MORDIKE, 2007).

Pode-se analisar, portanto, que como um material de engenharia, o magnésio puro, assim como a maioria dos outros metais, não possui muitas aplicações. É preciso se recorrer a ligas para melhorar as propriedades do metal, o que permite um aumento da resistência mecânica e da resistência à corrosão, além de facilitar sua produção. O magnésio forma liga com a maior parte dos metais comuns, sendo que as mais importantes comercialmente são com alumínio, zinco e manganês (BIANCARDI et al, 2011).

A evolução histórica do magnésio em sua forma metálica está intimamente ligada às duas guerras mundiais. A obtenção do magnésio era cara, o que dificultava sua produção em larga escala. No entanto, a Alemanha já se destacava como um país produtor do metal (para fins bélicos e pirotécnicos), que inclusive era conhecido por “the German metal” (OKAMOTO, 2007).

A demanda ocasionada em função da primeira guerra levou mais países a investirem na produção do magnésio, mesmo esta sendo de alto custo. O metal era usado para produção de sinalizadores, partes de avião, balas, etc. Entre as duas grandes guerras, surgiram diversos usos comerciais para o magnésio, tais como uso em automóveis, navios, como reagente para flash de máquinas fotográficas, entre outros. Além disso, a busca por poder bélico, principalmente por parte da Alemanha, aquecia ainda mais o mercado de magnésio, permitindo a abertura e o desenvolvimento de indústrias produtoras de magnésio por toda a Europa e nos Estados Unidos (OKAMOTO, 2007).

Na Segunda Guerra Mundial houve um grande aumento da demanda e da produção do magnésio (chegando a um pico de 288 mil toneladas/ano em 1944), fazendo os preços caírem significativamente. O metal foi muito usado de maneira estrutural, tendo grande aplicação no setor aeroespacial, devido à sua baixa densidade. Com o fim da segunda guerra houve uma grande queda na produção de magnésio, até que em 1992 voltou a atingir o mesmo nível de produtividade (OKAMOTO, 2007).

Atualmente, um grande campo de aplicação para o magnésio e suas ligas é o de aparelhos eletrônicos. Devido ao seu baixo peso e às suas boas propriedades mecânicas e elétricas, o metal é usado para a fabricação de celulares, laptops, câmeras e outros componentes eletrônicos. Alguns outros usos para o magnésio e suas ligas atualmente são:

- Como reagente para a produção de flash de máquinas fotográficas, em sinalizadores, fogos de artifício e em artefatos pirotécnicos, devido a sua inflamabilidade e produção de uma luz branca, intensa e brilhante ao queimar;
- Na forma de fitas, na preparação do reagente de Grignard, útil na síntese de compostos orgânicos;
- Como aditivo para a produção de ferro fundido nodular, auxiliando na esferoidização da grafita;
- Na produção de aço, onde funciona como elemento dessulfurante;
- Como agente redutor para a produção de urânio e outros metais a partir de seus sais;
- Como anodo (galvânico) de sacrifício para a proteção de tanques, tubos e outras estruturas subterrâneas e também em aquecedores de água;
- Em ligas de alumínio-magnésio para fundição, com diversos usos possíveis, em geral conferindo um aumento na dureza e na resistência à corrosão;
- Na produção de fertilizantes para solo e plantas e suplemento na nutrição animal, na forma de óxido de magnésio
- Como isolador térmico, devido a essas mesmas propriedades resistentes ao calor. Pode ser usado como componente mineral de cabos folheados de cobre com isolamento mineral;
- Na sua forma hidratada (hidróxido de magnésio) é comumente utilizado como um antiácido. O óxido de magnésio também tem efeitos laxativos de curto prazo e é prescrito para o alívio temporário da constipação;
- Em aplicações óticas, devido ao seu índice de refração (propriedades de reflexão de luz) na forma de cristais. As suas propriedades básicas também são utilizadas no

tratamento de pele e as suas propriedades higroscópicas permitem seu uso em embalagens de lixo nuclear;

- Na forma de pó, o óxido de magnésio é higroscópico na natureza, o que significa que atrai as moléculas de água para si a partir do ambiente em que está. Ao fazer isso, o óxido de magnésio puxa essas moléculas de água para longe das outras coisas, mantendo-as secas (BIANCARDI et al, 2011).

O óxido de magnésio é obtido através da calcinação controlada do minério de magnesita (carbonato de magnésio). O magnésio é um elemento essencial para o desenvolvimento de qualquer cultivo, influenciando diretamente sua produtividade. É um dos macronutrientes mais exigidos no metabolismo vegetal, chegando a representar até 3% da matéria seca (SALOMÃO E PANDOLFELLI, 2008).

O magnésio é um elemento essencial na nutrição animal. Facilita a digestão de celulose e o metabolismo de carboidratos, promove o transporte de fósforo e proteínas, favorece as reações enzimáticas e melhora o apetite. Está associado ainda a uma formação mais forte dos ossos, à saúde cardiovascular e à função adequada das células dos nervos. (CALEIRO, 2014).

De acordo com Caleiro (2014), o magnésio evita a hipomagnesemia (redução de apetite), ou a tetania de pastagens onde a disponibilidade de magnésio é reduzida pelas condições de fertilização. Promove o aumento do teor de gordura no leite, o aumento da produção e espessura das cascas dos ovos, este último associado a um aumento na excreção de cálcio.

As estimativas apontam as reservas mundiais em cerca de 3,8 bilhões de toneladas de magnésio. Os maiores detentores são China (22,3%), Coréia do Norte (19,4%), Rússia (18,9%) e Brasil (8,7%). Os maiores produtores são China, Coréia do Norte, Rússia e Turquia. A reserva do Brasil é da ordem de 745 milhões de toneladas de minério, com o teor entre 44 e 46% de MgO (CORREIA, 2004).

### 3 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

O Estado do Rio Grande do Norte localiza-se na esquina do continente sul-americano, ocupando posição privilegiada em termos de localização estratégica, pois se trata do Estado brasileiro que fica mais próximo dos continentes africano e europeu. Com uma extensão de 53.077,3 km<sup>2</sup>, o Estado ocupa 3,41% de área da Região Nordeste e cerca de 0,62% do território nacional. Limita-se com o Estado do Ceará a Oeste, ao Sul com o Estado da Paraíba, e a Leste e ao Norte com o Oceano Atlântico (SEPLAN, 2013).

Segundo o IBGE (2010), o estado está entre um dos maiores produtores de petróleo em terra e o segundo maior produtor do país. O setor petrolífero é um dos mais importantes para o estado. Na mineração, o Rio Grande do Norte destaca-se produzindo granito, mármore, diatomita, caulim, tantalita-columbita e calcário. Possui também grandes reservas de scheelita.

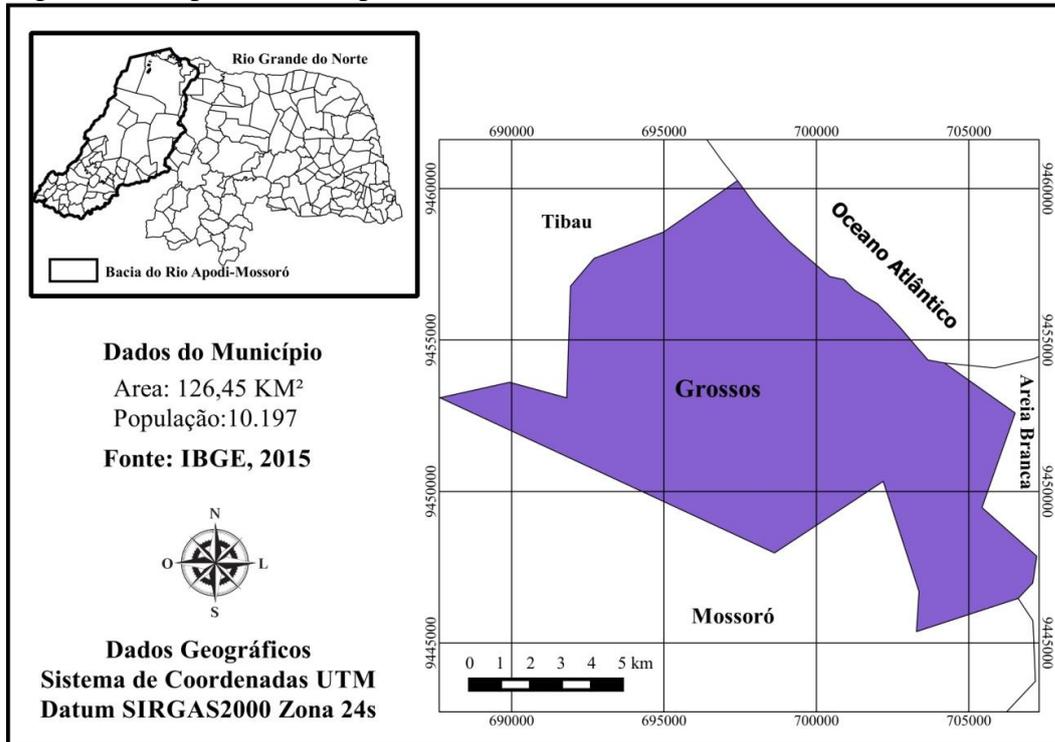
As salinas, situadas na região da Costa Branca do Estado, concentram mais de 90% da produção de sal marinho brasileiro. Nesta região está localizado o município de Grossos, com coordenadas geográficas de latitude 4° 58' 47" Sul e longitude 37° 09' 17" Oeste, e área de 126,45 km<sup>2</sup>, o equivalente a 0,24% da superfície estadual. A sua distância em relação à capital do estado é de 332 km, fazendo limites ao Norte com o Oceano Atlântico e o município de Tibau, ao Sul com o município de Mossoró, à Leste com o município de Areia Branca e a Oeste com os municípios de Mossoró e Tibau (IBGE, 2010), conforme representado na Figura 03.

Grossos possui clima muito quente e semiárido, cujo período chuvoso vai de fevereiro a maio e temperaturas médias anuais de 21 a 36°C, umidade relativa média anual de 69% e 2700 horas de insolação (IDEMA, 2014).

Sua vegetação está representada por área de caatinga hiperxerófila, de caráter mais seco, com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo e espalhado, destacando-se a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), mufumbo (*Combretum laxum*), faveleiro (*Cnidoscolus quercifolius*), marmeleiro (*Cydonia oblonga*), xique-xique (*Pilocereus gounellei*) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus*); áreas de manguezais, sistema ecológico costeiro tropical dominado por espécies vegetais, mangues e animais típicos, as quais se associam outras plantas e animais, adaptadas a um solo periodicamente inundado pelas marés, com grande variação de salinidade; e vegetação halófito, constituída por plantas que toleram viver em solo com alta concentração de sais, geralmente são espécies herbáceas e rasteiras (IDEMA, 2014).

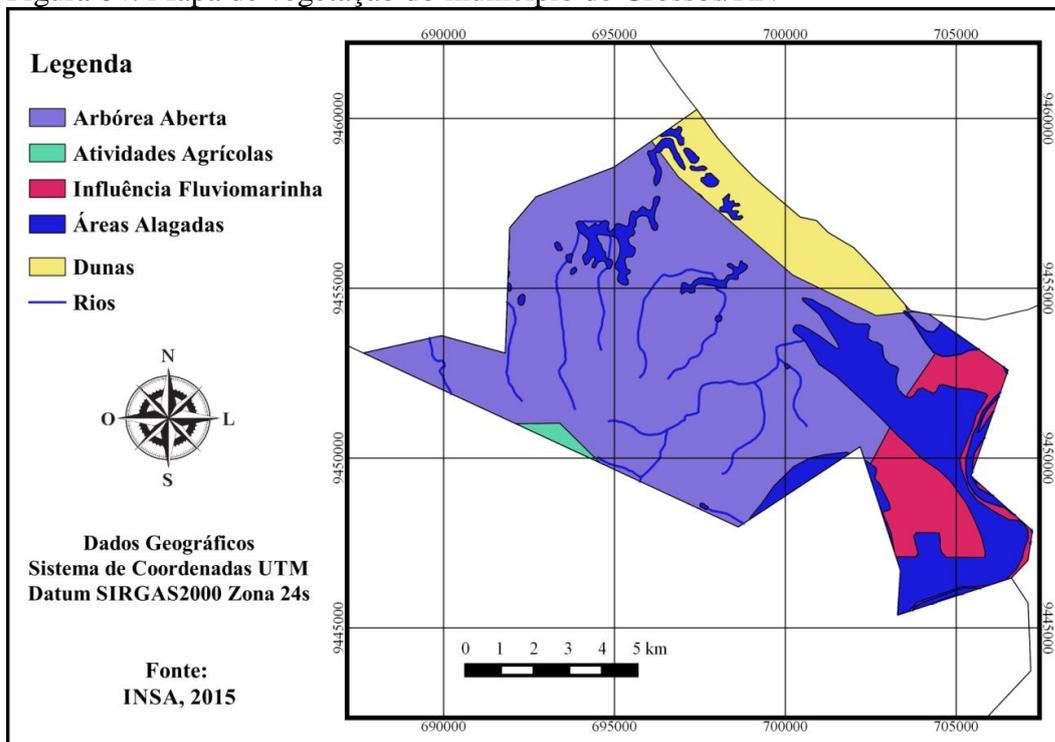
A Figura 04 ilustra o mapa de vegetação do município de Grossos, de acordo com os dados apresentados pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA).

Figura 03: Mapa do município de Grossos/RN



Fonte: A autora.

Figura 04: Mapa de vegetação do município de Grossos/RN



Fonte: A Autora.

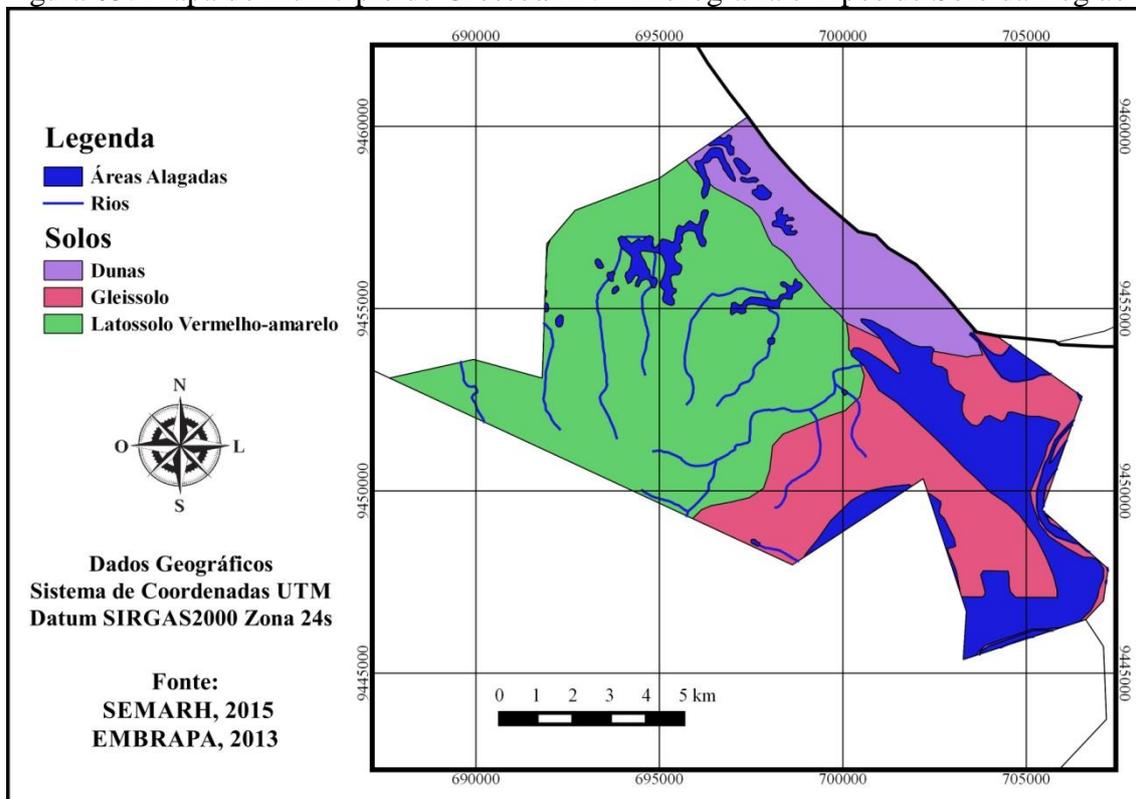
Localizado no Tabuleiro Costeiro, cujos relevos são planos e de baixa altitude, também denominados planaltos rebaixados, formados basicamente por argilas (barro), o solo predominante na região é o Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico (IDEMA, 2014).

As características principais são a fertilidade média a alta, textura média, fortemente drenado de relevo plano. Seu uso se resume a poucos cultivos com milho, feijão e mandioca. Poderiam ser intensamente aproveitados para agricultura se a disponibilidade de água não fosse um fator limitante. Destaca-se na produção de melancia e na criação de galináceos (IBGE, 2010).

O município encontra-se com 80% do seu território inserido na Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró e 20% na Faixa Litorânea Norte de Escoamento Difuso.

A Figura 05 apresenta o mapa do município de Grossos com os corpos hídricos, áreas alagadas e tipos de solo em destaque.

Figura 05: Mapa do município de Grossos/RN – Hidrografia e Tipos de Solo da Região



Fonte: A Autora.

### 3.2- ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo tem aproximadamente 997 ha e está localizado na zona rural do município de Grossos, na região da Costa Branca do estado do Rio Grande do Norte, com a população estimada em cerca de 10.000 habitantes no ano de 2015, onde as principais atividades econômicas provêm da pesca e da atividade salineira, esta última dominante na região (IBGE, 2010).

O abastecimento do empreendimento, representado na Figura 06, é realizado através do estuário do rio Apodi-Mossoró, e o sistema produtivo se classifica como tradicional, onde a água salgada é gradativamente evaporada e a salinidade é incrementada até o ponto de supersaturação do cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), quando este se precipita e é colhido mecanicamente.

Figura 06: Área em estudo: Salina Maranhão. Em destaque sua área de estocagem após a lavagem do sal marinho.



Fonte: Acervo da empresa.

## 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1- ESTAÇÕES DE COLETA

Foram estabelecidas duas estações de coleta, conforme as atividades da empresa e as recomendações do Termo de Referência do órgão ambiental estadual, o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, IDEMA, para o programa de monitoramento ambiental para projetos de extração de Sal Marinho:

- E1 – Abastecimento da Unidade de Produção;
- E2 – Ponto de lançamento do efluente proveniente do descarte dos cristalizadores e da lavagem do sal.

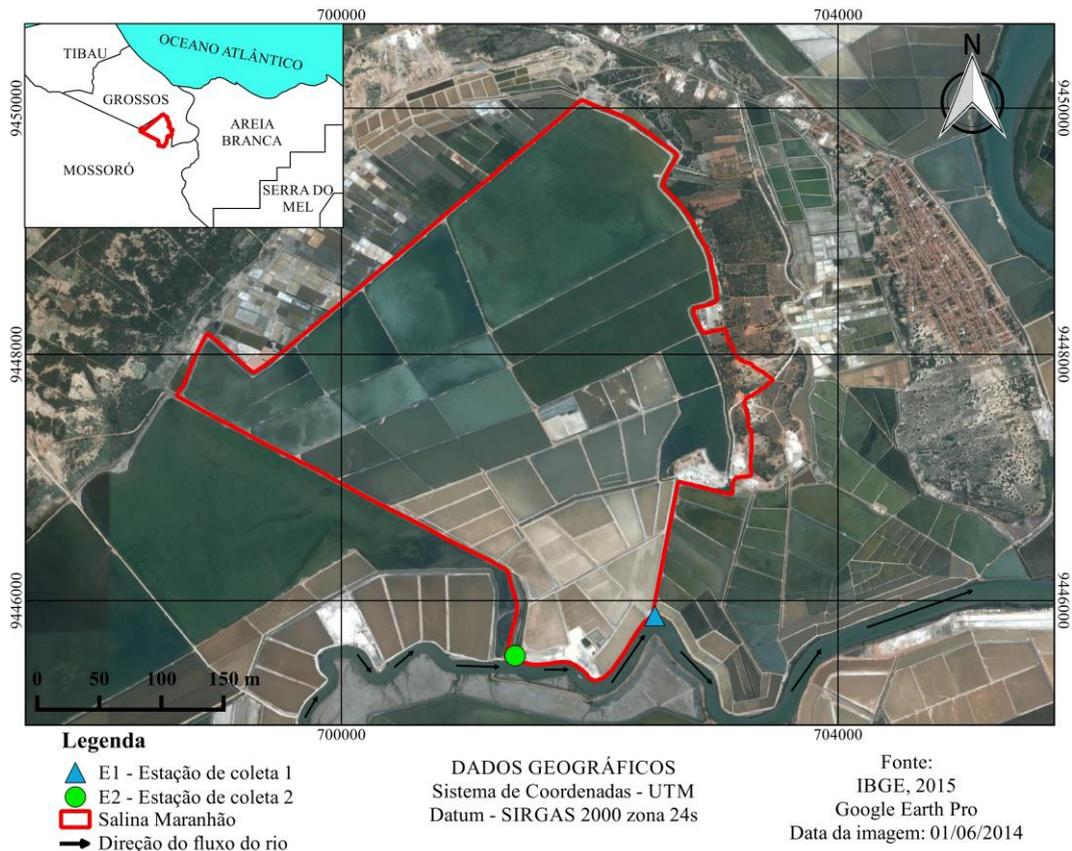
A estação 1 (E1), representada na Figura 07, está localizada próxima a casa de bomba do empreendimento e as coletas das amostras de água foram feitas por técnicos da empresa diretamente no estuário que abastece a salina. Esse procedimento era feito duas vezes ao longo do dia (maré alta e maré baixa), conforme procedimento diário realizado na indústria. A Figura 08 representa o mapa de localização da área em estudo e destaca as duas estações de coleta. A estação 2 (E2) localiza-se no fim do dique de drenagem e desagua diretamente no leito do rio Apodi-Mossoró.

Figura 07: Estação 01 - Bombagem



Fonte: A Autora.

Figura 08: Mapa de localização da área em estudo, em destaque as estações de coleta E1 e E2



Fonte: A Autora.

#### 4.2- MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISES DOS PARÂMETROS:

No período do mês de março do ano de 2014 a dezembro de 2015 foram analisados cinco parâmetros semanalmente nas águas coletadas nas duas estações de amostragem. Os parâmetros e a periodicidade considerada neste trabalho para obtenção da média são descritos no Quadro 02.

As amostras utilizadas para análise foram coletadas a 30 cm de profundidade da maré baixa e da maré alta. A descrição sucinta dos métodos utilizados para análise dos parâmetros monitorados está no Quadro 03. Os resultados obtidos foram analisados com base em sua média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Os parâmetros temperatura, salinidade e pH foram determinados *in loco*. Os demais procedimentos foram realizados em laboratório. Todas as análises foram feitas pelos profissionais do laboratório da empresa responsável pela área de estudo, sendo entregues para a presente pesquisa os dados brutos obtidos em cada análise, e por fim aplicada a análise estatística ideal para tal.

Quadro 02: Parâmetros analisados e frequência de análise em cada estação de coleta

<b>Estação de coleta</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Frequência</b>
<b>E1 - Captação</b>	Salinidade	Média mensal
	Temperatura	
	pH	
	Cálcio	
	Magnésio	
<b>E2 - Descarte</b>	Cálcio	A cada descarte
	Magnésio	
	Salinidade	

Fonte: A Autora.

As análises de laboratório foram realizadas conforme metodologias padrão descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (ALPHA, 2005).

Quadro 03: Descrição sucinta dos métodos utilizados no laboratório para análise dos parâmetros monitorados

<b>Parâmetro</b>	<b>Método</b>
Salinidade	Determinada com o auxílio de refratômetro portátil;
Temperatura	Determinada com o auxílio de termômetro portátil;
pH	Determinado com o auxílio de um medidor digital de pH e um eletrodo de vidro combinado;
Cálcio	Titulação com EDTA e indicador calcon;
Magnésio	Titulação com EDTA e indicador Eriocromo T;

Fonte: A Autora.

#### 4.3- ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para processar as análises estatísticas utilizou-se o software livre Sistemas para Análises Estatísticas SAEG versão 9.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

Em posse dessa ferramenta, foram organizadas 89 amostras dos dados da estação de coleta E1, com dados de maré alta e maré baixa para os cinco parâmetros; e 29 blocos de amostras agrupadas com uma amostra de descarte de efluente salino (estação de coleta E2) e as entradas que antecederam a este, com dados dos parâmetros cálcio, magnésio e salinidade.

A primeira etapa na análise estatística foi a Análise Exploratória dos dados, cuja finalidade foi examinar os dados previamente à aplicação de qualquer técnica estatística. Desta forma o analista consegue um entendimento básico de seus dados e das relações existentes entre as variáveis analisadas.

Na estatística descritiva foram encontrados valores para média, mediana, valores mínimo e máximo, variância, desvio e erro padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose e os gráficos de normalidade, utilizando os testes de Shapiro-Wilk, Lilliefors e Kolmogorof-Smirnoff.

Para o coeficiente de variação (CV), utilizou-se a referência classificada por Warrick (1998), como baixo, se menor do que 15%; médio quando entre 15 e 50% e alto quando maior do que 50%.

O teste Shapiro-Wilk calcula uma variável estatística (W) que investiga se uma amostra aleatória provém de uma distribuição normal. No presente estudo, foi aplicado o teste ao nível de 5% de significância.

O teste de Lilliefors é uma adaptação do teste de Kolmogorof-Smirnoff, usado para verificação de normalidade de um conjunto de dados. A diferença básica entre os testes é que o de Kolmogorof-Smirnoff testa a normalidade a partir de média e desvio fornecidos, enquanto o de Lilliefors usa a média e o desvio-padrão, calculados no próprio conjunto de dados.

De acordo com Costa Neto (1997), o teste de Komolgorov-Smirnov (KS) consiste no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais. Se o valor calculado em módulo for menor que o tabelado, a distribuição experimental é aceita como aderente à distribuição normal.

A distribuição Normal é uma das mais importantes distribuições de probabilidades da estatística, conhecida também como Distribuição de Gauss ou Gaussiana. É representada por um gráfico simétrico, em forma de sino e que pode ser descrito pela função densidade de probabilidade. Quando a distribuição dos dados é Normal, a média se encontra no centro da distribuição e esta possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva (TRIOLA, 2008).

Os testes Kolmogorov-Smirnov (KS) e Shapiro-Wilk (SW) fornecem o parâmetro valor de prova (valor-p, p-value ou significância), interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula ( $H_0$ ), sendo  $H_0$  correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Então, a regra de decisão adotada para saber se a distribuição é Normal ou não é rejeitar  $H_0$ :

(i) se  $\text{valor-p} \leq \alpha$ , rejeita-se  $H_0$ , ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal; (ii) se  $\text{valor-p} > \alpha$ , não se rejeita  $H_0$ , ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão (LOPES et al, 2013).

Na segunda etapa de análise estatística, foram aplicadas as correlações de Pearson para os valores dos parâmetros obtidos na estação de coleta E1. Na situação seguinte, foi aplicada a correlação de Pearson para os parâmetros em comum nas duas estações de coleta, ou seja, foi aplicada a correlação de Pearson para os valores de cálcio, magnésio e salinidade nas duas estações.

Segundo Figueiredo Filho e Silva Junior (2009), o coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores mínimo e máximo de -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita, porém inversa, ou seja, quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis.

Para a confirmação das hipóteses, foi aplicado também os testes de médias, utilizando ainda o mesmo software empregado nas análises anteriores (SAEG 9.1). Este procedimento aplica os testes de Tukey, Duncan, Newman Keuls e Scott-Knott a médias de variáveis dependentes, calculadas para cada um dos níveis de uma variável independente. Para executar este procedimento, é necessário fornecer ao SAEG a relação de variáveis dependentes, o nome da variável classificatória (tratamentos), o número de graus de liberdade do resíduo, o nível de significância e, naturalmente, especificar o teste a ser aplicado.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados cinco parâmetros: pH, temperatura, salinidade, cálcio e magnésio, sendo os três últimos para as duas estações de coleta no período de 22 meses. Os resultados foram comparados com valores de referência da resolução CONAMA 357/2005, quando estes existiam.

### 5.1. ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA

A Tabela 01 apresenta os valores obtidos na estatística exploratória para os dados de entrada no período monitorado, ou seja, para os cinco parâmetros na estação de coleta E1.

As Tabelas 07 e 08 constam em anexo e apontam os valores dos dados brutos cedidos pela empresa para a realização do presente trabalho.

Tabela 01: Estatística exploratória para os dados na estação de coleta E1 no período monitorado.

Estatística	Alta*	Baixa**	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa
	Ca <sup>2</sup>		Mg <sup>2</sup>		Temperatura (°C)		Salinidade (dS/m)		pH	
N	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
Média	0.3857	0.3982	1.7565	1.809	24.7978	25.3820	4.2719	4.3393	7.8837	7.8837
Mediana	0.3600	0.4000	1.6840	1.695	25.0000	25.0000	4.0000	4.0000	8.0000	8.0000
Mínimo	0.2800	0.2800	0.9720	0.650	23.0000	23.0000	3.3000	3.2000	7.0000	7.0000
Máximo	0.6400	0.8000	3.7930	3.793	28.0000	29.0000	6.0000	6.0000	8.4700	8.4700
Variância	0.0055	0.0088	0.2418	0.335	0.9359	2.1024	0.2995	0.3967	0.1252	0.1252
Desvio	0.0743	0.0940	0.4917	0.579	0.9674	1.4500	0.5473	0.6299	0.3538	0.3538
Erro padrão	0.0079	0.0100	0.0521	0.061	0.1025	0.1537	0.0580	0.0668	0.0375	0.0375
CV (%)	19.2735	23.6022	27.9933	32.0242	3.9012	5.7126	12.8117	14.5153	4.4874	4.4874
Assimetria	0.8225	1.6414	1.6825	1.413	1.1133	1.2470	1.3769	1.2766	-1.3578	-1.3578
Curtose	1.4804	4.2257	3.9628	2.526	1.6142	1.4594	1.5428	1.0124	1.2838	1.2838

Fonte: A Autora.

\*Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré alta; \*\* Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré baixa

Observando-se os coeficientes de variação obtidos, nota-se os maiores valores para os parâmetros cálcio e magnésio, podendo estes serem fatores importantes no que diz respeito à qualidade da água na estação de coleta E1.

Outra abordagem estatística feita no presente trabalho foi realizada adotando os parâmetros cálcio, magnésio e salinidade nas duas estações de coleta (entrada de água-mãe e saída de efluente salino para descarte), associando para cada descarte as entradas que

antecederam a este. A Tabela 02 apresenta os valores da estatística descritiva obtida para esses parâmetros.

Tabela 02: Estatística exploratória para os dados de cálcio, magnésio e salinidade da água do rio (na entrada) e na saída das salinas nos drenos (descarte), para as estações de coleta E1 e E2 nas respectivas datas ao longo do tempo de estudo:

Estatística	E1	E2	E1	E2	E1	E2
	Ca <sup>2</sup>		Mg <sup>2</sup>		Salinidade (dS/m)	
N	29	29	29	29	29	29
Média	0.41655	0.07166	1.895	35.1401	4.54828	24.4897
Mediana	0.4	0.07	1.617	38.9	4.5	28.5
Mínimo	0.3	0.036	0.851	12.507	3.35	12
Máximo	0.72	0.32	3.66	56.5	5.5	32
Variância	0.00849	0.00297	0.54305	219.088	0.33598	47.3495
Desvio	0.09213	0.05448	0.73692	14.8016	0.57964	6.8811
Erro padrão	0.01711	0.01012	0.13684	2.74859	0.10764	1.27779
CV (%)	22.12	76.03	38.89	42.12	12.74	28.10
Assimetria	1.25131	3.70208	0.9985	-0.4148	-0.1219	-0.7399
Curtose	3.0184	16.1334	0.09721	-1.3961	-0.7571	-1.2987

Fonte: A Autora

No teste de Shapiro-Wilk, considera-se o valor de decisão para W (valor encontrado) maior que o nível de significância, os dados apresentam distribuição normal. No teste de Kolmogorov-Smirnov, quando KS for maior que o nível de significância, os dados apresentam distribuição normal. Dentro dessas referências, a distribuição não foi considerada normal em nenhum dos parâmetros nas duas Estações de Coleta, conforme apontado nos gráficos apresentados nas Figuras 15 a 30, em apêndice no presente trabalho. Isso implica dizer que não existe um padrão nas concentrações dos parâmetros analisados, variando indefinidamente nas ocasiões de maré alta e maré baixa.

Através das variações altas obtidas na estatística descritiva (de 0,54 estação de coleta E1 para 219,08 na estação de coleta E2 para o magnésio e de 0,33 na estação de coleta E1 para 47,34 na estação de coleta E2 para a salinidade), pode-se afirmar que magnésio e salinidade são parâmetros importantes para a produção salineira e que influenciam na qualidade do sal obtido.

Observando as médias obtidas nessa etapa da análise estatística, é possível apontar uma variação 18 vezes superior para a concentração de magnésio e 5 vezes superior para a

salinidade entre as estações de coleta E1 e E2, evidenciando que o efluente salino descartado contém 18 vezes mais magnésio e é 5 vezes mais salino do que a água coletada na entrada para a produção de sal marinho.

## 5.2. ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS ANALISADOS NA ESTAÇÃO DE COLETA E1:

Em geral, um corpo hídrico pode sofrer alterações em função de fenômenos naturais, como intensidade de chuvas e oscilação de marés. Porém, atividades antrópicas advindas de atividades industriais, como as provenientes de atividades salineiras, também podem causar alterações significativas no corpo hídrico. Por esta razão, esses fatores foram levados em consideração neste trabalho, em que os parâmetros físico-químicos temperatura, pH, salinidade, cálcio e magnésio foram avaliados em amostras de água do estuário, no ponto de captação da unidade de produção, durante as marés baixa e alta; e após o seu uso na atividade de produção do sal marinho, no efluente conhecido como água-mãe. O monitoramento foi feito durante 22 meses (março de 2014 a dezembro de 2015), de forma que envolveu tanto os períodos de chuva como de estiagem.

### 5.2.1- Análise da Temperatura

A temperatura é um dos parâmetros utilizados para caracterizar os corpos d'água e, sua unidade de medida é dada em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). O conceito de temperatura de uma água está relacionado com a medição da intensidade de calor. A temperatura da água pode ser alterada pela transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo). O aumento da temperatura da água pode estar relacionado com a aceleração nas taxas de reações químicas e biológicas, com a transferência de gases e com a diminuição da solubilidade destes gases (VON SPERLING, 1996).

A temperatura é um dos padrões de qualidade das águas, associada à sensibilidade dos organismos vivos, que tornam uma água própria ou não para o consumo, assim como a transparência, sabor, odor e aparência. Na análise das águas, portanto, a temperatura é um dos fatores físicos mais expressivos a ser determinado (RAMALHO, 1977).

A temperatura de águas superficiais é afetada pela latitude, altitude, estação do ano, circulação do ar, cobertura de nuvens, presença de vegetação, vazão e profundidade do corpo hídrico (PERCEBON ET AL, 2005).

A temperatura influencia vários parâmetros físico-químicos da água, tais como a tensão superficial e a viscosidade. Os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que causa impactos sobre seu crescimento e



### 5.2.2- Análise do pH

O pH mede a concentração de íons hidrônio livres ( $H^+$ ) na água, resultante da dissociação da própria molécula de água, acrescida pelo hidrogênio proveniente de outras fontes naturais como a dissolução de rochas, a absorção de gases da atmosfera, a oxidação de matéria orgânica e a fotossíntese, e/ou antrópicas, principalmente devido aos despejos industriais (lavagens ácidas, por exemplo) e domésticos (oxidação de matéria orgânica).

O termo pH indica uma condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. O valor do pH varia de 0 a 14. Abaixo de 7 a água é considerada ácida e acima de 7, alcalina. Água com pH 7 é neutra. (FARIA, 2012). Sua variação pode ocorrer devido a fatores naturais, como a dissolução de rochas, a absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica e fotossíntese. O pH também pode variar devido as atividades de origem antrópica, principalmente devido aos despejos industriais (lavagens ácidas, por exemplo) e domésticos (oxidação de matéria orgânica). (VON SPERLING, 1996).

Este parâmetro regula a precipitação de muitos metais e protege a vida aquática, determinando, na maioria das vezes, a capacidade da água para atacar minerais das rochas e lixiviar os constituintes. Água em pH baixo (ácida) é corrosiva e em pH alto (alcalina) é incrustativa. Alguns peixes e outros animais aquáticos sobrevivem em pH menor que 5, mas os metais se solubilizam aumentando a possibilidade de toxidez (PORTO, 1991). Em valores mais elevados, os metais tendem a precipitar. Em pH acima de 6 possibilita o desenvolvimento da ictiofauna e o uso da água para a agricultura, por exemplo.

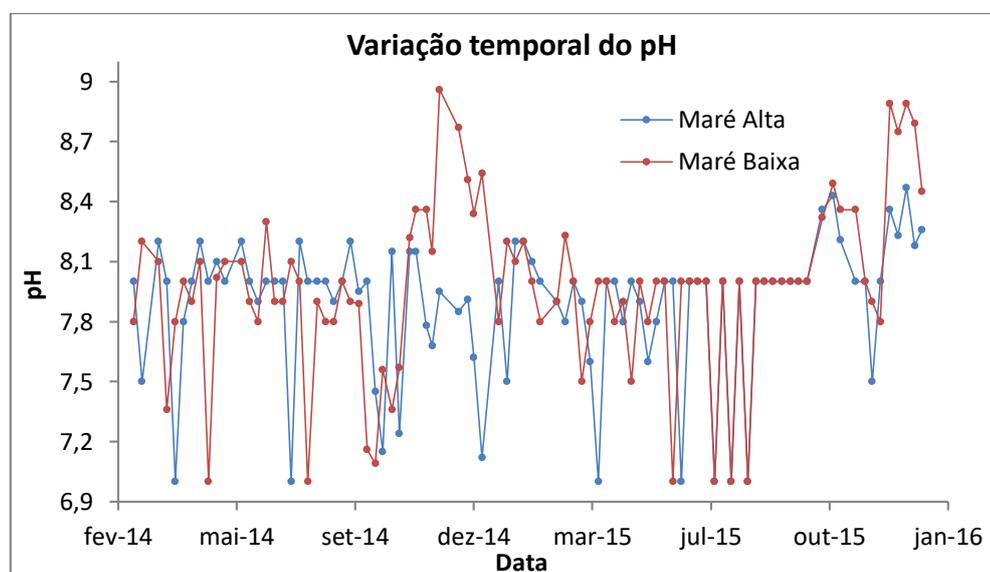
No caso das amostras analisadas neste trabalho, em geral, os valores de pH situaram-se entre 7,0 e 9,0, com uma média de 7,88, valores mínimos de 7,0 e valores máximos de 8,47, tanto para maré alta quanto para maré baixa (Figura 10). Como a bacia drena solos calcários (típicos da região), cujo pH é básico, as águas do rio apresentam características básicas. A variância obtida foi de 0,1252, o desvio padrão de 0,3538 e o coeficiente de variação de 4,48%, considerado baixo ( $< 15\%$ ), demonstrando que os valores de pH permaneceram em torno da média durante os 22 meses de monitoramento e que o seu valor não é prejudicial à vida aquática, nem aos seres humanos. Os valores encontram-se dentro da faixa permitida pela legislação (Resolução no 357/2005, do CONAMA), entre 6,0 e 9,0.

Analisando a Figura 10, que mostra os valores medidos de pH durante o período de monitoramento, é possível identificar uma diferença de comportamento no gráfico, nos períodos entre os meses de outubro a dezembro dos dois anos de análise, especialmente durante a maré baixa. Este é um período de grande estiagem na região, quando os índices de

precipitação são praticamente nulos; neste período, o volume de água no rio é menor, o seu enriquecimento por nutrientes tende a ser maior, favorecendo o aumento das taxas de fotossíntese do ecossistema, o qual influencia diretamente no pH da água, que tende a aumentar, devido ao decréscimo de gás carbônico no meio (WETZEL, 2001). Além disso, esse também é o período de colheita do sal na área de estudo, onde o sal colhido é lavado antes de passar pelo processo de beneficiamento, o que contribui com o aumento da quantidade de efluente salino lançado no corpo hídrico, aumentando também a quantidade de íons  $\text{OH}^-$  e/ou  $\text{CO}_3^-$ , principalmente carbonato de magnésio ( $K_s = 1 \times 10^{-5}$ ), tornando o pH maior.

Castro (1980), ao verificar a influência da cobertura vegetal na qualidade da água, em duas micro bacias hidrográficas na região de Viçosa - MG, identificou, respectivamente, pH de 5,6 a 6,8 e de 5,5 a 6,5. Ranzini (1990), em micro bacia no Vale do Paraíba - SP, encontrou valores para pH entre 5,6 e 6,3. Arcova et al. (1993) encontraram, em uma micro bacia, valores de pH entre 5,8 e 6,5. Oliveira (1989), em estudos sobre a qualidade da água em diferentes coberturas vegetais, encontrou valores de pH entre 5,5 e 5,6. Já Schettini (2000) encontra valores de pH 7,6 e 8,1 para a região de estuário de Florianópolis, em Santa Catarina. O valor médio obtido na presente pesquisa é superior a alguns encontrados em outros estudos, mas ainda é considerado como neutro.

Figura 10: Gráfico da variação temporal do parâmetro pH, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



Fonte: A Autora.

### 5.2.3. Análise da Salinidade

A salinidade mede a quantidade de sais dissolvidos na água. Na água do mar, a salinidade costuma ser de 35 ppt ou partes por trilhão. Nos corpos hídricos, a salinidade é maior no verão e menor no inverno, o que quer dizer que esta é influenciada pela taxa de evaporação e de precipitação da região. No presente trabalho, a salinidade também é influenciada diretamente pela maré alta e maré baixa, pois trata-se de uma região de estuário que recebe as águas do oceano.

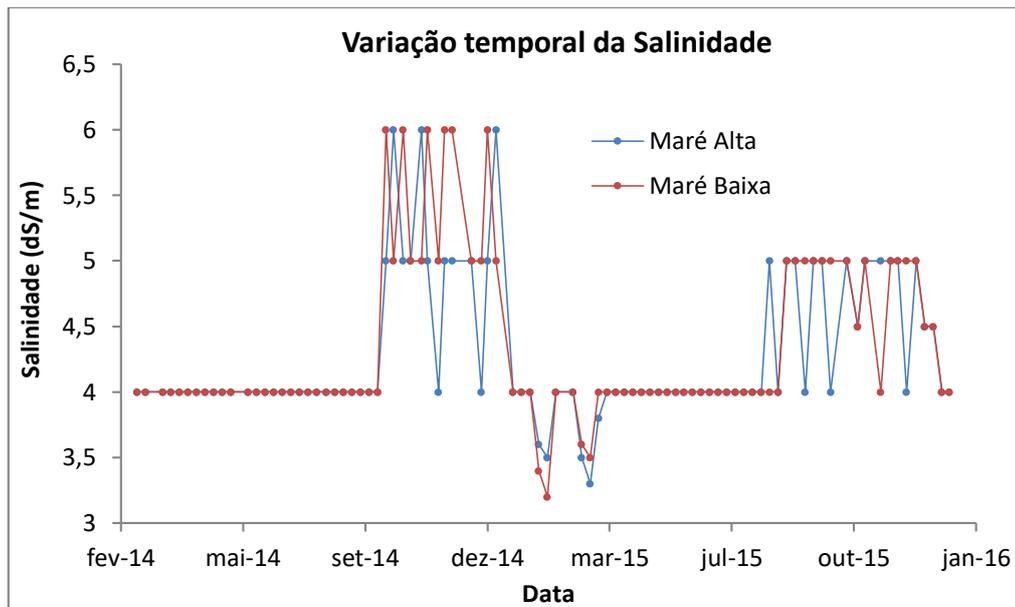
A área em estudo está localizada em região de estuários, que são locais onde o fluxo de água doce, a partir dos rios, se encontra com a água salgada do mar. Esses ecossistemas são caracterizados por sofrer amplas flutuações ambientais (ciclo das marés, salinidade, temperatura etc.). A salinidade, por exemplo, oscila de acordo com o ciclo das marés. As plantas e animais desses ecossistemas estão perfeitamente adaptados a esse ritmo diário de oscilação do nível das águas e da salinidade. Muitas espécies, inclusive, necessitam desses ciclos para sobreviver (PINTO-COELHO E HAVENS, 2015).

Os índices de salinidade vêm aumentando em muitos estuários ao redor do globo, devido principalmente a mações antrópicas. Dessa forma, é muito importante o constante monitoramento das condições de salinidade nos estuários (PINTO-COELHO E HAVENS, 2015).

Para a Salinidade, foram encontrados os seguintes resultados, apresentados no gráfico na Figura 11, com uma média de 4,27 e 4,33 para maré alta e baixa respectivamente, valores mínimos de 3,3 na maré alta e 3,2 maré baixa e valores máximos de 6,0 na maré alta e maré baixa. Apresentou a variância no valor de 0,29 e 0,39 na maré alta e na maré baixa respectivamente e desvio padrão de 0,54 na maré alta e 0,63 na maré baixa. O coeficiente de variação obtido também foi considerado baixo, pois o valor encontrado de 12,81% e 14,51% na maré alta e na maré baixa encontra-se abaixo de 15%.

Costa et al (2006) observou uma variação periódica em todos os aspectos analisados no estuário do Rio Apodi Mossoró, tendo como maior destaque a variável salinidade, apresentando uma variação diária entre 0 e 3,6 °Bé (fevereiro a maio) e 3,3 a 7 °Bé (junho a setembro). Comparando os valores da salinidade com outras variáveis, verificou ainda que a redução deste fator implicou na elevação das concentrações dos nutrientes, caracterizando-se uma relação inversamente proporcional, onde a salinidade atua como um regulador natural das concentrações destes.

Figura 11: Gráfico da variação temporal do parâmetro Salinidade, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



Fonte: A Autora.

#### 5.2.4. Análise do Cálcio

O íon cálcio é um dos cátions comumente encontrados em corpos hídricos. É oriundo predominantemente de minerais tais como  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (gesso),  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (dolomita) e  $\text{CaCO}_3$  em diferentes formas minerais (calcita e aragonita).

O efeito mais conhecido da presença de cálcio e/ou magnésio na água de consumo é a formação de sais insolúveis com os ânions dos sabões, formando uma espécie de "nata" na água de lavagem ou incrustações em tubulações.

Experimentalmente a dureza pode ser determinada mediante a titulação da amostra com EDTA (ou outra técnica analítica que quantifique cálcio e magnésio, AA) e expressa não como concentração molar de íons, mas como a massa em miligramas/L de carbonato de cálcio que contém o mesmo número total de íons divalentes (2+) da amostra. (ALMEIDA, 2010)

Nas análises realizadas foram encontrados os seguintes resultados para este parâmetro, apresentados na Figura 12, com uma média de 0,38 e 0,39 para maré alta e baixa respectivamente, valores mínimos de 0,28 na maré alta e maré baixa e valores máximos de 0,64 na maré alta e 0,8 na maré baixa.

Apresentou a variância no valor de 0,0055 e 0,0088 na maré alta e na maré baixa respectivamente e desvio padrão de 0,07 na maré alta e 0,09 na maré baixa. O coeficiente de

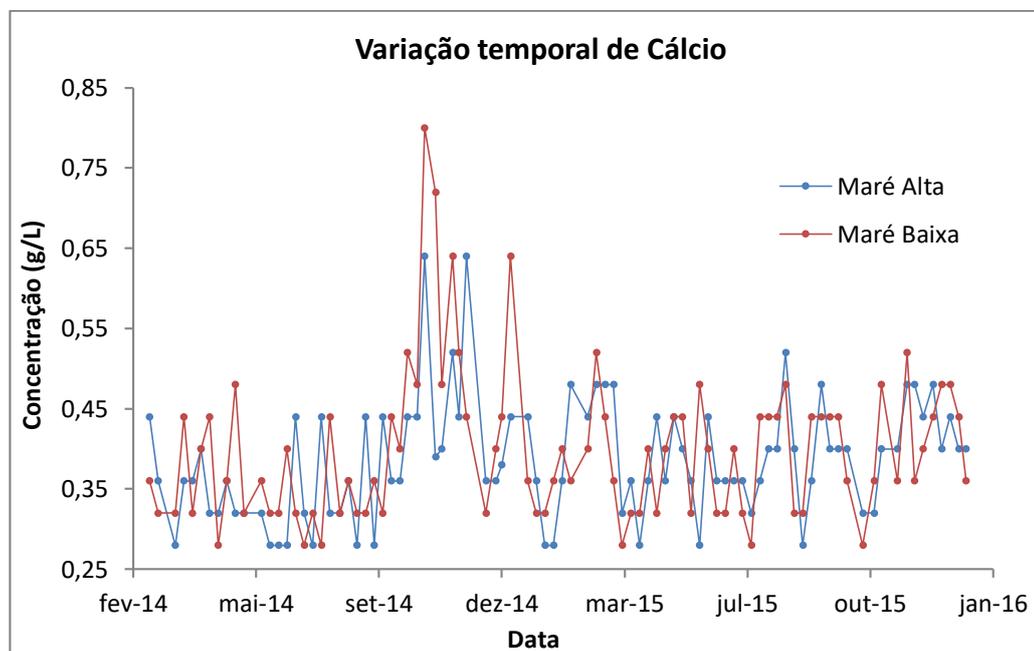
variação obtido também foi considerado médio, pois o valor encontrado de 19,27% e 23,6% na maré alta e na maré baixa encontra-se acima de 15%.

Foi possível identificar uma diferença de comportamento na variação de concentração do Cálcio nos períodos dos meses de outubro a dezembro dos dois anos de análise. Relacionado a isto está o fator de ser o período seco do ano na região, onde os índices de precipitação tendem a cair. No mesmo período ocorre também o período de colheita do sal na área de estudo, onde o sal colhido é lavado antes de passar pelo processo de beneficiamento, o que vem a contribuir com o aumento da quantidade de efluente salino lançado ao corpo hídrico, pois essas águas resultantes da lavagem do sal, consideradas salmouras, também são descartadas.

O conhecimento do carago como subproduto da indústria salineira e da sua composição química pode ser relevante mediante os resultados obtidos no presente estudo, podendo explicar o comportamento do cálcio nas análises obtidas.

As principais fontes de cálcio são calcita, dolomita, apatita, entre outros. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura e assim, o cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade está relacionada a quantidade do CO<sub>2</sub> (MARTINS NETTO et al 2006).

Figura 12: Gráfico da variação temporal do parâmetro Cálcio, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo.



Fonte: A Autora.

### 5.2.3. Análise do Magnésio

Os íons cálcio e magnésio contribuem para o parâmetro agregado dureza da água, cuja relação não consta no presente trabalho. A dureza da água é a medida da sua capacidade de precipitar sabão, isto é, nas águas que a possuem os sabões transformam-se em complexos insolúveis, não formando espuma até que o processo se esgote. É causada pela presença de cálcio e magnésio, principalmente, além de outros cátions como ferro, manganês, estrôncio, zinco, alumínio, hidrogênio, etc, associados a ânions carbonato (mais propriamente bicarbonato, que é mais solúvel) e sulfato, principalmente, além de outros ânions como nitrato, silicato e cloreto. São quatro os principais compostos que conferem dureza às águas: bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio.

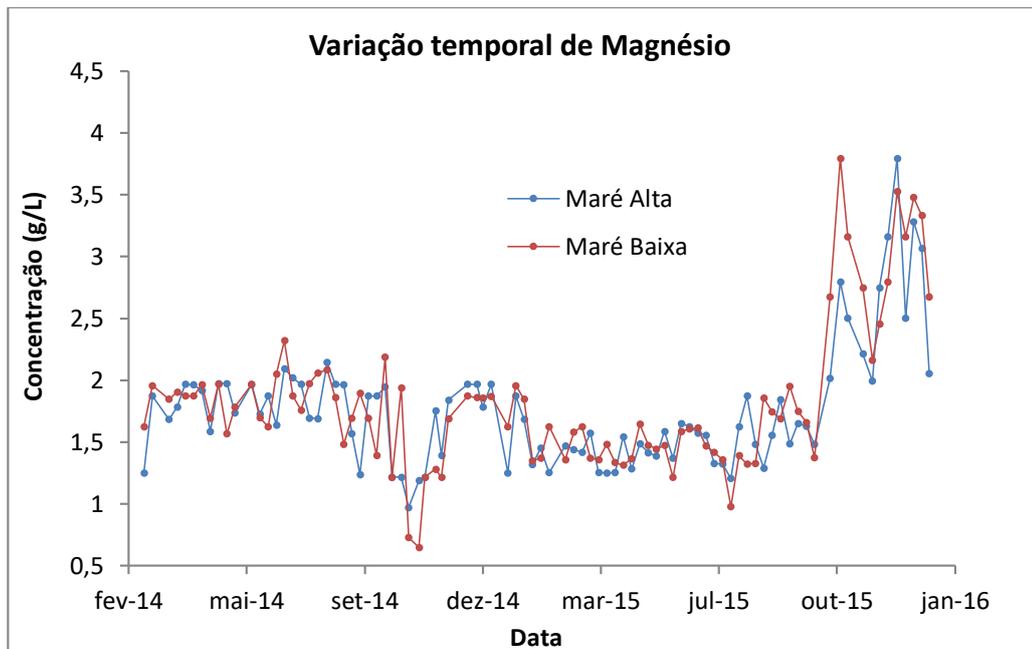
No presente trabalho, os parâmetros cálcio e magnésio não estão associados à dureza da água, pois para a atividade salineira os mesmos são observados de maneira separada devido ao seu comportamento durante a produção do sal marinho por evaporação.

Foi possível, porém identificar uma diferença de comportamento na variação de concentração do magnésio nos períodos dos meses de outubro a dezembro dos dois anos de análise. Relacionado a isto está o fator de ser o período mais seco do ano na região, onde os índices de precipitação tendem a cair e o período de colheita do sal na área de estudo, que também acontece nesses meses e conforme apontado anteriormente, aumenta também a quantidade de efluente salino lançado ao corpo hídrico devido ao volume de salmoura resultante das águas de lavagem do sal colhido.

Na legislação não há um valor de referência para esse atributo, porém a alta concentração do magnésio pode ser prejudicial ao corpo hídrico, já que junto com o cálcio, sulfatos e cloretos podem aumentar a salinidade da água, assim modificando seu enquadramento, como também prejudicando a vida aquática e espécies vegetais locais.

Segundo Costa et al (2006), pode-se observar que existe uma dinâmica interna de nutrientes e demais fatores físico-químicos no estuário do rio Apodi Mossoró/RN, relacionados entre si e principalmente com as concentrações de cloreto de sódio dissolvidos no meio. O ambiente estudado se trata de um estuário negativo, onde a água do oceano entra com uma força maior em relação à do rio, fazendo com que esta se concentre no interior do estuário. Somando-se com a intensa evaporação, ventos constantes e altas temperaturas durante a maior parte do ano, esse ambiente se torna hipersalino, atribuindo-lhe esta caracterização talvez única em todo o país.

Figura 13: Gráfico da variação temporal do parâmetro Magnésio, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo.



Fonte: A Autora.

Martins et al (2007) atribui a variação dos parâmetros cálcio e magnésio para o fato de ser uma região salineira, fortemente influenciada pelo descarte das águas mões produzidas nas salinas, o que inverte o comportamento dessas variáveis analisadas. Isto acontece com os valores de cálcio e magnésio, alcalinidade e sólidos orgânicos e inorgânicos. Isso se deve, provavelmente, a concentração de minerais descartados na água-mãe e a característica de mangue da região.

Em relatório técnico, UFRJ (2011) publicou valores de concentração entre 1,1 a 2,6 mg/L de magnésio e 3,0 a 4,8 mg/L de cálcio encontrados no monitoramento dos Rio Ribeirão das Lajes e Rio Guandu no Rio de Janeiro. Considerando esta análise, os valores de cálcio e magnésio para a presente pesquisa encontram-se respectivamente abaixo e dentro da estimativa.

### 5.3. CORRELAÇÃO DE PEARSON

#### 5.3.1 Estação de Coleta E1:

Nessa etapa do presente trabalho, utilizou-se a Correlação de Pearson ao nível de 5% de significância para identificar, na matriz obtida, quais parâmetros estão correlacionados direta ou inversamente e qual o grau de correlação. Essa matriz mede o grau de correlação e interação entre as variáveis. A Tabela 02 apresenta os valores obtidos nesse trabalho.

Conforme descrito por Figueiredo Filho & Silva Júnior (2009), a intensidade da correlação de Pearson foi interpretada como: perfeita positiva ( $r = 1$ ), forte positiva ( $0,8 \leq r < 1$ ), moderada positiva ( $0,5 \leq r < 0,8$ ), fraca positiva ( $0,1 \leq r < 0,5$ ), ínfima positiva ( $0 < r < 0,1$ ), nula ( $= 0$ ), ínfima negativa ( $-0,1 < r < 0$ ), fraca negativa ( $-0,5 < r \leq -0,1$ ), moderada negativa ( $-0,8 < r \leq -0,5$ ), forte negativa ( $-1 < r \leq -0,8$ ), perfeita negativa ( $r = -1$ ).

Diante disso, é importante destacar as correlações mais relevantes, de acordo com a interpretação adotada, cálcio em maré baixa apresentou correlação moderada positiva com o cálcio em maré alta (0,5206), magnésio e cálcio em maré baixa apresentaram correlação forte positiva com o magnésio em maré alta (0,8538), salinidade em maré baixa apresentou correlação moderada positiva com a salinidade em maré alta (0,7492).

Isto significa que estes parâmetros estão correlacionados forte ou moderadamente de maneira direta, ou seja, quando o valor de um parâmetro aumenta, o outro no qual está correlacionado tende a aumentar forte ou moderadamente, conforme classificada sua correlação. Pode-se afirmar então que a concentração de magnésio na maré baixa está ligada forte e diretamente à concentração de magnésio na maré alta e esta última influencia forte e diretamente na concentração de cálcio na maré baixa, segundo a aplicação da correlação de Pearson.

Tabela 03: Matriz de correlação de Pearson para as variáveis estudadas.

	Ca (A*)	Ca (B)	Mg (A)	Mg (B)	T (A)	T (B)**)	S (A)	S (B)	pH (A)	pH (B)
Ca (A)	1									
Ca (B)	0.5206	1								
Mg (A)	0.0251	-0.0511	1							
Mg (B)	-0.0245	-0.1641	0.8538	1						
T (A)	0.1459	0.2109	0.1431	0.0204	1					
T (B)	0.0775	0.1752	-0.0547	-0.1741	-0.0091	1				
S (A)	0.2797	0.4947	0.1275	0.1112	0.1608	0.028	1			
S (B)	0.3477	0.4128	0.1357	0.1209	0.1997	-0.0316	0.7492	1		
pH (A)	-0.1436	-0.0863	0.258	0.3745	0.1214	-0.0143	-0.1333	-0.0211	1	
pH (B)	0.0586	0.0662	0.407	0.4214	0.0707	0.0229	0.1852	0.2169	0.3593	1

Fonte: A autora.

\*Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré alta; \*\* Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré baixa

### 5.3.2 Estação de Coleta E1 e E2:

Aplicando-se a Correlação de Pearson ao nível de significância de 5% para os parâmetros cálcio, magnésio e salinidade nas duas estações de coleta (entrada de água-mãe e saída de efluente salino para descarte), associando para cada descarte as entradas que antecederam a este, obteve-se os seguintes valores, apresentados na Tabela 04.

Destacando as correlações mais relevantes, de acordo com a interpretação adotada, magnésio na estação de coleta E1 apresentou correlação moderada negativa com o magnésio na estação de coleta E2 (-0,7994), magnésio na estação de coleta E1 apresentou correlação forte negativa com a salinidade na estação de coleta E2 (-0,844) e salinidade na estação de coleta E1 apresentou correlação forte positiva com a salinidade na estação de coleta E2 (0,94958). Em outras palavras, isto significa que estes parâmetros estão correlacionados forte ou moderadamente de maneira direta ou inversa, isto é, quando o valor de um parâmetro aumenta, o outro parâmetro tende a diminuir.

Nesta situação, quando a concentração de magnésio na estação de coleta E1 aumenta, esta influencia de maneira moderadamente inversa na estação de coleta E2, diminuindo a concentração de magnésio nesta última. O mesmo acontece com as concentrações de magnésio na estação de coleta E1 e salinidade na estação de coleta E2, dessa vez correlacionados fortemente. Para o parâmetro salinidade nas estações de coleta E1 e E2, correlacionados de maneira fortemente direta, quando uma concentração aumenta, a outra tende também a aumentar.

Tabela 04: Matriz de correlação de Pearson para as variáveis Cálcio, Magnésio e Salinidade no Rio e no Descarte. Mede o grau de correlação e interação entre as variáveis.

	Ca (Rio)	Ca (Descarte)	Mg (Rio)	Mg (Descarte)	Salinidade (Rio)	Salinidade (Descarte)
Ca (Rio)	1	0.01456	-0.1182	0.09909	0.43126	0.06135
Ca (Descarte)		1	-0.0096	-0.0486	0.17449	-0.0545
Mg (Rio)			1	<b>-0.7994</b>	0.17843	<b>-0.844</b>
Mg (Descarte)				1	-0.1106	<b>0.94958</b>
Salinidade (Rio)					1	-0.1523
Salinidade (Descarte)						1

Fonte: A autora

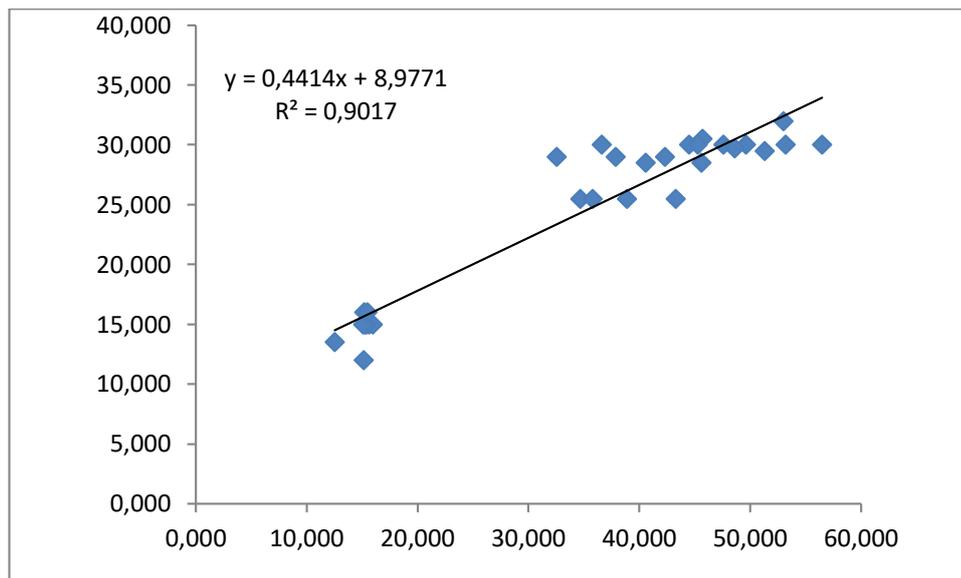
É importante destacar a maior correlação obtida no presente trabalho, classificada como forte positiva entre o magnésio que é descartado e a salinidade do efluente, no valor de 0,94958. A partir dessa informação é possível afirmar que os parâmetros estão diretamente relacionados e que, o teor de magnésio influencia diretamente na salinidade do efluente, o que deve ser considerado quando apontado como um impacto desses efluentes nos corpos hídricos.

Mediante os resultados apresentados, é notória a grande quantidade de magnésio lançada diretamente no Rio Apodi Mossoró, que embora não haja estudos que comprovem

especificamente qual o tipo de impacto ambiental provocado por essas ações, o presente trabalho aponta sua relação direta com o aumento da salinidade.

Aplicando-se a regressão linear para os parâmetros magnésio e salinidade na estação de coleta E2, o gráfico de dispersão (Figura 14) apresenta  $R^2$  com valor alto (0,9017), confirmando a correlação entre esses parâmetros.

Figura 14: Gráfico da regressão linear dos parâmetros Magnésio e salinidade na estação de coleta E2, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



Fonte: A Autora.

#### 5.4. TESTES DE MÉDIA

Aplicado os testes de média para as duas estações de coleta, obteve-se os seguintes valores, apresentados resumidamente nas Tabelas 05 e 06, respectivamente para a estação de coleta E1 e E2.

Para a estação de coleta E1, apenas o parâmetro temperatura apresentou variação no teste de média, porém o coeficiente de variação obtido foi classificado como baixo. Os parâmetros cálcio e magnésio não apresentaram diferença no teste de média, porém obtiveram coeficientes de variação classificados como médio e alto, respectivamente.

Isso implica dizer que para a referida área em estudo, não existe variação no processo de coleta de água mãe acontecer entre os períodos de maré alta ou maré baixa, uma vez que não foi constatada diferença estatística nas médias dos valores obtidos durante o período de março de 2014 a dezembro de 2015. Apesar disso, ainda é recomendado que esse processo ocorra especialmente no período de maré alta, devido aos possíveis danos ambientais que

venham a ser provocados com a retirada de água do estuário com volume mais baixo, prejudicando as espécies aquáticas e vegetais endêmicas da região.

Tabela 05: Teste de média para os parâmetros obtidos na estação de coleta E1.

	Cálcio	Magnésio	pH	Salinidade	Temperatura
Maré Alta	0.38573 a	551.66290 a	7.88371 a	4.27191 a	24.79775 b
Maré Baixa	0.39820 a	518.48320 a	7.96798 a	4.33933 a	25.38202 a
CV(%)	21,62	55,04	4,95	13,7	4,91

Fonte: A autora.

Para a estação de coleta E2, os testes de média apontaram diferenciação quando comparados com os parâmetros obtidos na estação de coleta E1. Os parâmetros cálcio e salinidade apresentaram coeficiente de variação classificado como médio e o magnésio coeficiente de variação alto. Diante disto, pode-se afirmar que existe diferença estatística na comparação das médias dos valores obtidos para os parâmetros cálcio, magnésio e salinidade durante o período de março de 2014 a dezembro de 2015, entre as estações de coleta E1 e E2.

O valor alto para o coeficiente de variação do magnésio reforça a necessidade de maiores cuidados com esse parâmetro, especialmente pelo motivo de ser lançado em grandes concentrações presentes no efluente salino que é descartado no estuário do Rio Apodi Mossoró.

Tabela 06: Teste de média para os parâmetros obtidos na estação de coleta E2.

	Cálcio	Magnésio	Salinidade
E1	0.41655 a	1.89500 b	4.54828 b
E2	0.07166 b	35.14010 a	24.48965 a
CV (%)	31,00	56,59	33,63

Fonte: A autora.

##### 5.5. CARACTERIZAÇÃO DA QUANTIDADE DE MAGNÉSIO NA ÁREA EM ESTUDO:

De acordo com Ferrari (2002), 8 milhões de metros cúbicos de águas-mães são descartados por ano no Rio Grande do Norte. Aragão (2007) concluiu que considerando uma média de 40g/L de magnésio nas águas-mães, pode-se estimar que são descartados no rio aproximadamente 320.000 toneladas de magnésio, a partir do qual seria possível a produção de 530.526 toneladas de óxido de magnésio. Adotando essa mesma metodologia de produção de magnésio, considerando uma média de 35,14g/L de magnésio, valor obtido no presente trabalho, estima-se que estejam sendo desperdiçadas no estuário do rio Apodi – Mossoró

cerca de 281.120 toneladas por ano de magnésio na área em estudo, o que possibilitaria produzir cerca de 466.067 toneladas de óxido de magnésio anualmente.

É possível identificar a influência direta do magnésio na salinidade do ambiente estudado, podendo-se afirmar que além do impacto prevenido pela retirada do magnésio contido no efluente salino que é descartado, a empresa pode ter uma rentável fonte de receita além da produção de sal marinho, que é a produção e industrialização do óxido de magnésio.

## 6 - CONCLUSÕES

Após análise e discussão dos resultados obtidos, foi possível avaliar o potencial de aproveitamento das águas-mães para produção de magnésio. Obteve-se dados estatísticos que comprovaram a diferença entre a quantidade de magnésio retirada do rio na captação de água e a quantidade que é descartada no efluente salino.

Obteve-se uma análise temporal dos parâmetros temperatura, pH, salinidade, cálcio e magnésio, podendo-se afirmar que os valores variam independente do estado da maré, fazendo com que esta não influencie na qualidade da água que é captada. Foi verificada a correlação entre os parâmetros cálcio, magnésio e salinidade nas duas estações de coleta para maré alta e maré baixa, entre as quais pode-se destacar a correlação forte positiva entre o magnésio presente no efluente descartado e a salinidade do mesmo, podendo-se afirmar que ambos estão diretamente relacionados.

A quantidade de magnésio descartada estimada na área em estudo viabiliza investimentos nesse ramo industrial para a referida área, podendo vir a melhorar a situação da indústria salineira, apontando outras alternativas de produção, além de reduzir os impactos provocados pela grande quantidade de efluente descartada no estuário do Rio Apodi Mossoró.

O Rio Grande do Norte apresenta o conjunto de diferenciais que trazem vantagens para a instalação desse tipo de indústria: a matéria-prima é disponibilizada pela indústria salineira, uma vez que grandes quantidades de magnésio são descartadas na região do estuário, o que traz também benefícios ambientais. A região já possui infraestrutura para transporte e indústrias bem estabelecidas e também dispõe de mão de obra especializada, o que viabiliza em todos os pontos a reutilização desse tipo de efluente dentro das condições locais.

## 7 - REFERÊNCIAS

ADAS, M. **Panorama geográfico do Brasil: aspectos físicos, humanos e econômicos**. 1ed. São Paulo: Moderna, 1981.

ALBINATI, R.C.B.; ALBINATI, A.C.L; MEDEIROS, Y.D. Utilização de águas desprezadas para a produção de alimentos no semi-árido. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2003. Curitiba. **Anais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

ALBUQUERQUE, F. S. X. **As Águas-mães: um efluente industrial detentor de um potencial econômico para a indústria salineira do Rio Grande do Norte na Produção de Óxido de Magnésio**. 2007. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2007.

ARCOVA, F.C.S.; CESAR, S.F.; CICCIO, V. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.5, n.1, p.1-20, 1993.

ALPHA. 2005. **Standard Methods for the examination of water and wastewaters**, 21 th edition, American Public Health Association, Washington.

ARAGÃO, M. F. **Otimização no tempo e temperatura no processamento da gipsita oriunda dos cristalizadores da produção de sal para obter gesso de uso na construção civil**. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. *In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. 867p. p.449-470.

BEZERRA, D. B.; BRITO, L. P. Avaliação dos impactos ambientais produzidos pela indústria salineira no Rio Grande do Norte. *In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária*. 2001. João Pessoa. **Anais**, Rio de Janeiro: ABES 2001.

BIANCARDI C. B.; ROCHA, D. U.; NOGUCHI, H.K.F. **Metalurgia do magnésio**. 2011. São Paulo. 39p.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA. Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. /Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. 1126p.

BRYANT E. 1977. **Climate process & change**. United Kingdom, Cambridge, University Press.

CALVO, J. P. Yeso. **Curso Internacional de Técnico Especialista em Rocas y Minerales Industriales**. Ilustre Colégio Oficial de Geólogos – Madrid, 2003. 16p.

CASTRO, P.S. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa - MG**. 1980. 132 f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia

Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

CÂMARA, C. A. L. **Produção de sal por evaporação solar**. 1ed. Natal: Antenna Edições técnicas, 1999.

CALEIRO, J. **A importância do magnésio**. Nutrição Brasil. No prelo.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 1997. 468p

COSTA, A.C.M. CORREIA, D.M.B. **Sumário Mineral: Magnesita**. Departamento Nacional de Produção Mineral. 2008. Disponível em: <  
[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3996](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3996)  
 > Acesso em: 20 de abril de 2016.

COSTA ET AL. Análise da variação da salinidade no estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN e sua relação com alguns aspectos limnológicos. **Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - Julho/2006**. Disponível em: <  
[http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo\\_1779.html](http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_1779.html)> Acesso em 14 de agosto de 2016.

CORREIA, D.M.B. **Magnesita**. Departamento Nacional de Produção Mineral. 2001. Disponível em  
 <<http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumentos/SumarioMineral2004/magnesita.pdf>> Acesso em: 22 de março de 2016.

DNPM, **Sumário Mineral Brasileiro**, Brasília-DF, 2010, disponível em:  
 <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sal-sumario-mineral-2014>> Acesso em: 22 de janeiro de 2016.

DANA, J. D. **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1981.

FERNANDES, R. T. V. **Recuperação de Manguezais**. 1ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

FERRARI, M.B.F.T. **Aproveitamento de águas-mães para recuperação do cloreto de magnésio usado na produção do magnésio metálico**. 2002. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, p. 115-146, 2009.

FRIEDRICH, H. E.; MORDIKE, B. L. **Magnesium Technology - Metallurgy**, Design Data, Applications. s.l. : Springer, 2006.

GOMES, M. F. **Otimização no tempo e temperatura no processamento da gipsita oriunda dos cristalizadores da produção de sal para obter gesso de uso na construção civil**. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil das cidades**, 2010 Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240440&search=||infográficos:-informações-completas>> Acesso em 22 de Janeiro de 2016.

IDEMA, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu município**, 2014. Disponível em <<http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=CATALG&TARG=61&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Socioecon%F4mico>> Acesso em 21 de janeiro de 2016.

LOPES, M.M.; CASTELO BRANCO, V.T.F.; SOARES, J.B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Revista Transportes** v. 21, n. 1 (2013) p. 59–66.

MARTINS NETTO, J.P.G; DINIZ, H.N; ANDRADE, T.S de; SILVA, C.B da. Problemas associado à cloração de água de poço para atendimento da portaria 518, e soluções aplicada. **Anais** de XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo 2006.

MARTINS ET AL. **Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi /Mossoró: I - Variabilidade espacial**. Congresso da Associação Brasileira Norte Nordeste de Química. 2007. Natal/RN. Disponível em: <[http://www.annq.org/congresso2007/trabalhos\\_apresentados/T30.pdf](http://www.annq.org/congresso2007/trabalhos_apresentados/T30.pdf)> Acesso em: 12 de agosto de 2016.

MELO, P. R. C.; CARVALHO, R.S.; PINTO, D. C. **Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Parte 2. Brasília: CETEM, 2008.

NORSAL. **Histórico da Produção Nacional e Estadual do Sal**. Disponível em: <[www.norsal.com.br](http://www.norsal.com.br)>. Acesso em: 08 de jun. 2012.

OLIVEIRA, F.A. **Produção e qualidade da água em bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas vegetais na região de agudos, São Paulo. 1989**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

OKAMOTO, H. Mg-Ni (Magnesium-Nickel). **Journal of Phase Equilibria and Diffusion**. 2007, Vol. 28, 3.

PERCEBON, C. M. et al. Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 56, p. 7-19, 2005. Editora UFPR.

PETTA, R.A.; NASCIMENTO, S.V. do; DUARTE, C. R. **Análise do estudo multitemporal do uso e ocupação do município de Grossos/RN através de técnicas de geoprocessamento**. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. 2004. Aracaju. **Anais**. Aracaju: EMBRAPA, 2004.

PORTO, F.A.; BRANCO, S.M.; LUCA, S.J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R.L. (Org.). **Hidrologia ambiental**, São Paulo: EDUSP, 1991. p.375-390.

RAMALHO R.S. 1977. **Introduction to wastewater treatment processes**. New York, Academic Press, 409 p.

RANZINI, M. **Balanço hídrico, ciclagem de geoquímica de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com Eucalyptus saligna Smith, no vale do Paraíba, SP.** 1990. 110 f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

PINTO-COELHO, R. M. HAVENS, K. **Crise nas Águas. Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas.** 1<sup>a</sup> Edição. Editora Recóleo. Belo Horizonte, 2015.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALOMÃO, R. PANDOLFELLI, V. C. Hidratação e desidratação do óxido de magnésio em concretos refratários. **Revista Cerâmica**. v. 54. 2008 p. 145-151.

SARNO, F. **Estimativa do consumo de sódio no Brasil, revisão dos benefícios relacionados à limitação do consumo deste nutriente na síndrome metabólica e avaliação de impacto de intervenção no local de trabalho.** 2010. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SIESAL. **Economia, Indústria Extrativista Mineral.** 2008. Disponível em: < [http://www.portal.mn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/anuario/anteriores/anuario2008/dados\\_tecnicos\\_economia.html](http://www.portal.mn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/anuario/anteriores/anuario2008/dados_tecnicos_economia.html)>. Acesso em: 25 março de 2016.

SILVA, C.L.C. **Geoprocessamento no monitoramento e diagnóstico da recuperação de áreas degradadas.** 2012. 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte.

TRIOLA, M. F. (2008) **Introdução à Estatística**. 10<sup>a</sup> Ed, Rio de Janeiro: Editora LTC.

UFRJ. Relatório Técnico. **Programa de monitoramento limnológico e qualidade da água da PCH Paracambi – RJ.** Monitoramento Rio Ribeirão das Lajes — Rio Guandu. 2011.

VIDAL, F. W.H. et al. **Rochas e minerais industriais do Estado do Ceará.** Fortaleza: CETEM/ UECE/ DNPM/ FUNCAP/ SENAI, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2<sup>a</sup>ed. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

WARRICK, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of some physical properties of the soil. In: Hillel, D. ed. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. Cap.13, p.319-344

WETZEL, R. G. **Limnology**. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.

## ANEXOS

**Tabela 07: Dados brutos dos parâmetros cálcio, magnésio e salinidade nas estações de coleta E1 e E2.**

Data	Cálcio		Magnésio		Salinidade	
	Rio	Descarte	Rio	Descarte	Rio	Descarte
19/09/2014	0,400	0,040	1,634	34,700	4,000	25,500
22/09/2014	0,380	0,040	2,068	47,600	5,500	30,000
30/09/2014	0,480	0,080	1,216	43,280	5,000	25,500
02/10/2014	0,400	0,080	1,200	45,720	5,000	30,500
10/10/2014	0,460	0,040	1,578	49,610	5,500	30,000
13/10/2014	0,500	0,080	1,100	42,320	5,000	29,000
14/10/2014	0,720	0,080	0,851	53,020	5,500	32,000
05/11/2014	0,580	0,044	1,517	51,315	4,500	29,500
12/12/2014	0,380	0,036	1,915	53,180	4,500	30,000
07/01/2015	0,400	0,044	1,438	35,800	4,000	25,500
21/01/2015	0,300	0,040	1,766	45,600	4,000	28,500
04/02/2015	0,380	0,036	1,410	38,900	3,350	25,500
04/03/2015	0,500	0,040	1,511	37,890	3,550	29,000
25/03/2015	0,300	0,044	1,306	40,600	4,000	28,500
08/04/2015	0,300	0,036	1,295	32,550	4,000	29,000
11/06/2015	0,340	0,056	1,617	44,480	4,000	30,000
07/07/2015	0,300	0,072	1,342	56,500	4,000	30,000
29/07/2015	0,420	0,080	1,599	48,600	4,000	29,700
22/09/2015	0,420	0,072	1,644	36,590	5,000	30,000
24/09/2015	0,380	0,320	1,428	45,250	4,500	30,000
08/10/2015	0,300	0,080	2,357	15,613	5,000	15,000
14/10/2015	0,340	0,080	3,295	15,230	4,500	15,000
19/10/2015	0,440	0,160	2,833	15,944	5,000	15,000
04/11/2015	0,380	0,070	2,481	12,507	4,500	13,500
12/11/2015	0,500	0,080	2,079	15,163	5,000	16,000
19/11/2015	0,420	0,080	2,602	15,394	5,000	15,000
03/12/2015	0,460	0,048	3,660	15,078	5,000	15,000
08/12/2015	0,440	0,080	2,833	15,137	4,500	12,000
15/12/2015	0,460	0,040	3,380	15,492	4,500	16,000

**Tabela 08: Dados brutos dos parâmetros na estação de coleta E1 cedidos pela empresa responsável pela área em estudo para realização do presente trabalho**

Data	Ca <sup>2</sup>		Mg <sup>2</sup>		Maré		Salinidade (dS/m)		pH	
	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa
05/03/2014	0,44	0,36	1,251	1,625	25	24	4	4	8	7,8
12/03/2014	0,36	0,32	1,874	1,958	24	26	4	4	7,5	8,2
26/03/2014	0,28	0,32	1,684	1,847	25	29	4	4	8,2	8,1
02/04/2014	0,36	0,44	1,785	1,905	28	24	4	4	8	7,36
09/04/2014	0,36	0,32	1,968	1,874	23	26	4	4	7	7,8
16/04/2014	0,4	0,4	1,963	1,874	25	25	4	4	7,8	8
23/04/2014	0,32	0,44	1,917	1,965	26	25	4	4	8	7,9
30/04/2014	0,32	0,28	1,587	1,695	24	25	4	4	8,2	8,1
07/05/2014	0,36	0,36	1,974	1,969	24	23	4	4	8	7
14/05/2014	0,32	0,48	1,974	1,568	24	26	4	4	8,1	8,02
21/05/2014	0,32	0,32	1,736	1,784	24	26	4	4	8	8,1
04/06/2014	0,32	0,36	1,965	1,967	25	26	4	4	8,2	8,1
11/06/2014	0,28	0,32	1,726	1,698	25	25	4	4	8	7,9
18/06/2014	0,28	0,32	1,874	1,624	26	25	4	4	7,9	7,8
25/06/2014	0,28	0,4	1,639	2,05	24	25	4	4	8	8,3
02/07/2014	0,44	0,32	2,095	2,32	24	23	4	4	8	7,9
09/07/2014	0,32	0,28	2,02	1,874	24	26	4	4	8	7,9
16/07/2014	0,28	0,32	1,968	1,76	24	26	4	4	7	8,1
23/07/2014	0,44	0,28	1,695	1,974	25	26	4	4	8,2	8
30/07/2014	0,32	0,44	1,691	2,058	25	25	4	4	8	7
07/08/2014	0,32	0,32	2,145	2,087	26	25	4	4	8	7,9
14/08/2014	0,36	0,36	1,968	1,861	24	25	4	4	8	7,8

21/08/2014	0,28	0,32	1,963	1,484	24	29	4	4	7,9	7,8
28/08/2014	0,44	0,32	1,569	1,695	28	26	4	4	8	8
04/09/2014	0,28	0,36	1,239	1,894	24	26	4	4	8,2	7,9
11/09/2014	0,44	0,32	1,874	1,695	25	26	4	4	7,95	7,89
18/09/2014	0,36	0,44	1,874	1,393	25	29	4	4	8	7,16
25/09/2014	0,36	0,40	1,947	2,188	26	25	5	6	7,45	7,09
01/10/2014	0,44	0,52	1,216	1,216	24	28	6	5	7,15	7,56
09/10/2014	0,44	0,48	1,216	1,94	24	23	5	6	8,15	7,36
15/10/2014	0,64	0,8	0,972	0,729	24	29	5	5	7,24	7,57
24/10/2014	0,39	0,72	1,190	0,650	27	26	6	5	8,15	8,22
29/10/2014	0,40	0,48	1,215	1,216	25	29	5	6	8,15	8,36
07/11/2014	0,52	0,64	1,752	1,281	26	28	4	5	7,78	8,36
12/11/2014	0,44	0,52	1,393	1,215	27	25	5	6	7,68	8,15
18/11/2014	0,64	0,44	1,84	1,69	26	25	5	6	7,95	8,96
04/12/2014	0,36	0,32	1,968	1,874	24	25	5	5	7,85	8,77
12/12/2014	0,36	0,40	1,968	1,861	24	23	4	5	7,91	8,51
17/12/2014	0,38	0,44	1,786	1,856	25	24	5	6	7,62	8,34
24/12/2014	0,44	0,64	1,968	1,87	25	25	6	5	7,12	8,54
07/01/2015	0,44	0,36	1,251	1,625	25	24	4	4	8	7,8
14/01/2015	0,36	0,32	1,874	1,958	24	26	4	4	7,5	8,2
21/01/2015	0,28	0,32	1,684	1,847	25	29	4	4	8,2	8,1
28/01/2015	0,28	0,36	1,32	1,351	26	25	3,6	3,4	8,2	8,2
04/02/2015	0,36	0,4	1,451	1,369	24	25	3,5	3,2	8,1	8
11/02/2015	0,48	0,36	1,254	1,625	24	29	4	4	8	7,8
25/02/2015	0,44	0,4	1,471	1,358	26	25	4	4	7,9	7,9
04/03/2015	0,48	0,52	1,441	1,58	24	25	3,5	3,6	7,8	8,23
11/03/2015	0,48	0,44	1,417	1,625	24	29	3,3	3,5	8	8
18/03/2015	0,48	0,36	1,574	1,369	26	25	3,8	4	7,9	7,5

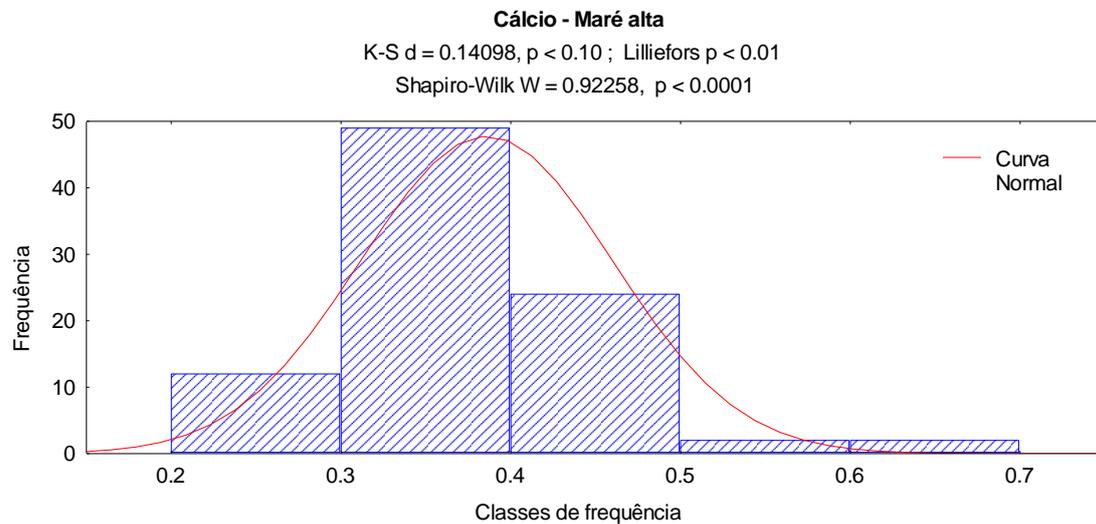
25/03/2015	0,32	0,28	1,254	1,358	24	25	4	4	7,6	7,8
01/04/2015	0,36	0,32	1,251	1,481	25	24	4	4	7	8
08/04/2015	0,28	0,32	1,254	1,336	25	25	4	4	8	8
15/04/2015	0,36	0,4	1,545	1,314	24	25	4	4	8	7,8
22/04/2015	0,44	0,32	1,284	1,368	25	24	4	4	7,8	7,9
29/04/2015	0,36	0,4	1,487	1,645	25	25	4	4	8	7,5
06/05/2015	0,44	0,44	1,414	1,475	24	25	4	4	7,9	8
13/05/2015	0,4	0,44	1,387	1,446	25	24	4	4	7,6	7,8
20/05/2015	0,36	0,32	1,588	1,474	25	25	4	4	7,8	8
27/05/2015	0,28	0,48	1,369	1,215	24	25	4	4	8	8
03/06/2015	0,44	0,4	1,651	1,584	24	25	4	4	8	7
10/06/2015	0,36	0,32	1,625	1,608	25	24	4	4	7	8
17/06/2015	0,36	0,32	1,574	1,615	25	25	4	4	8	8
24/06/2015	0,36	0,4	1,556	1,471	24	25	4	4	8	8
01/07/2015	0,36	0,32	1,326	1,418	24	25	4	4	8	8
08/07/2015	0,32	0,28	1,325	1,359	24	25	4	4	7	7
15/07/2015	0,36	0,44	1,206	0,978	25	24	4	4	8	8
22/07/2015	0,40	0,44	1,625	1,391	25	25	4	4	7	7
29/07/2015	0,4	0,44	1,874	1,323	24	25	4	4	8	8
05/08/2015	0,52	0,48	1,481	1,328	25	26	5	4	7	7
12/08/2015	0,4	0,32	1,291	1,859	24	24	4	4	8	8
19/08/2015	0,28	0,32	1,556	1,745	25	25	5	5	8	8
26/08/2015	0,36	0,44	1,845	1,691	26	24	5	5	8	8
03/09/2015	0,48	0,44	1,485	1,95	24	25	4	5	8	8
10/09/2015	0,4	0,44	1,651	1,748	25	26	5	5	8	8
17/09/2015	0,4	0,44	1,628	1,66	24	25	5	5	8	8
24/09/2015	0,4	0,36	1,481	1,374	24	25	4	5	8	8
07/10/2015	0,32	0,28	2,018	2,675	24	25	5	5	8,36	8,32

16/10/2015	0,32	0,36	2,796	3,793	24	25	4,5	4,5	8,43	8,49
22/10/2015	0,4	0,48	2,504	3,161	25	24	5	5	8,21	8,36
04/11/2015	0,4	0,36	2,213	2,748	23	24	5	4	8	8,36
12/11/2015	0,48	0,52	1,994	2,164	25	24	5	5	8	8
18/11/2015	0,48	0,36	2,748	2,456	25	26	5	5	7,5	7,9
25/11/2015	0,44	0,4	3,161	2,797	25	24	4	5	8	7,8
03/12/2015	0,48	0,44	3,793	3,526	27	27	5	5	8,36	8,89
10/12/2015	0,4	0,48	2,504	3,161	25	25	4,5	4,5	8,23	8,75
17/12/2015	0,44	0,48	3,283	3,477	25	25	4,5	4,5	8,47	8,89
24/12/2015	0,4	0,44	3,064	3,331	26	26	4	4	8,18	8,79
30/12/2015	0,4	0,36	2,054	2,674	25	25	4	4	8,26	8,45

## APÊNDICES

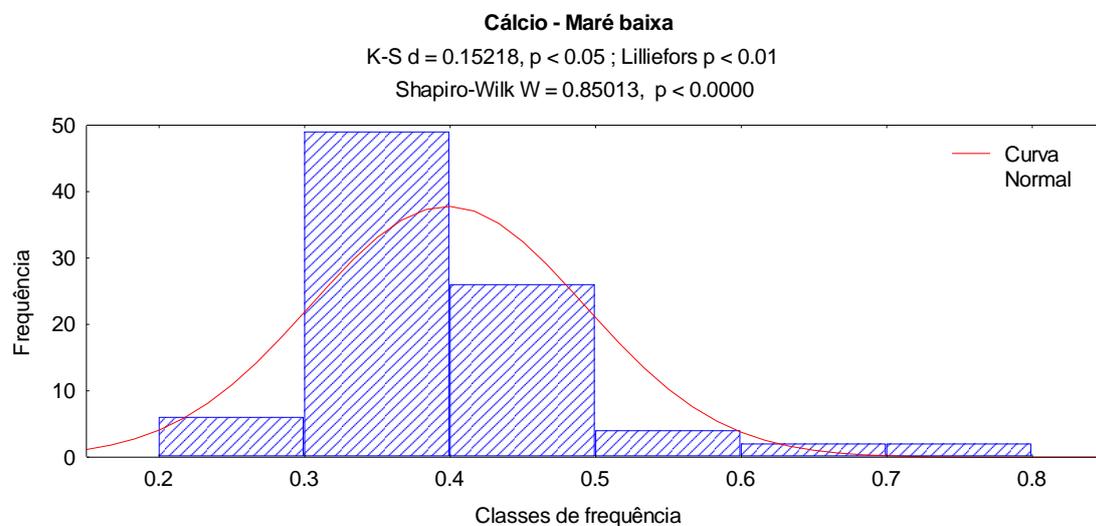
### Testes de Normalidade para Estação de coleta E1

Figura 15: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



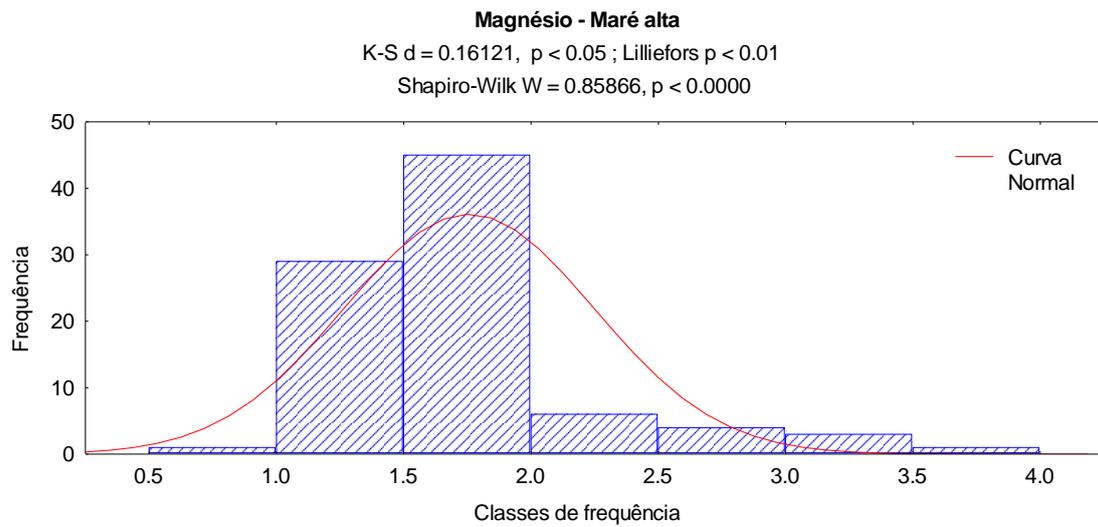
Fonte: A Autora.

Figura 16: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



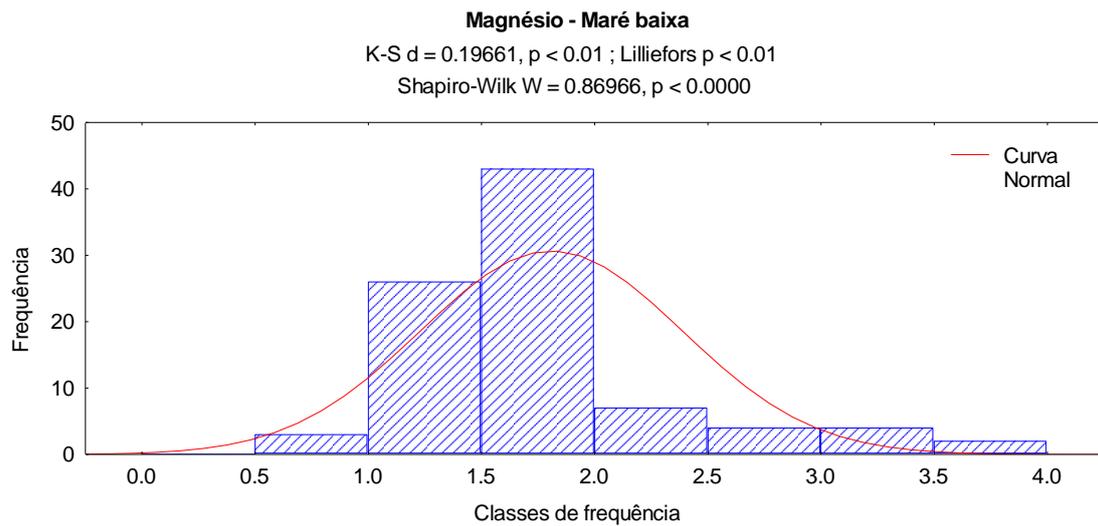
Fonte: A Autora.

Figura 17: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



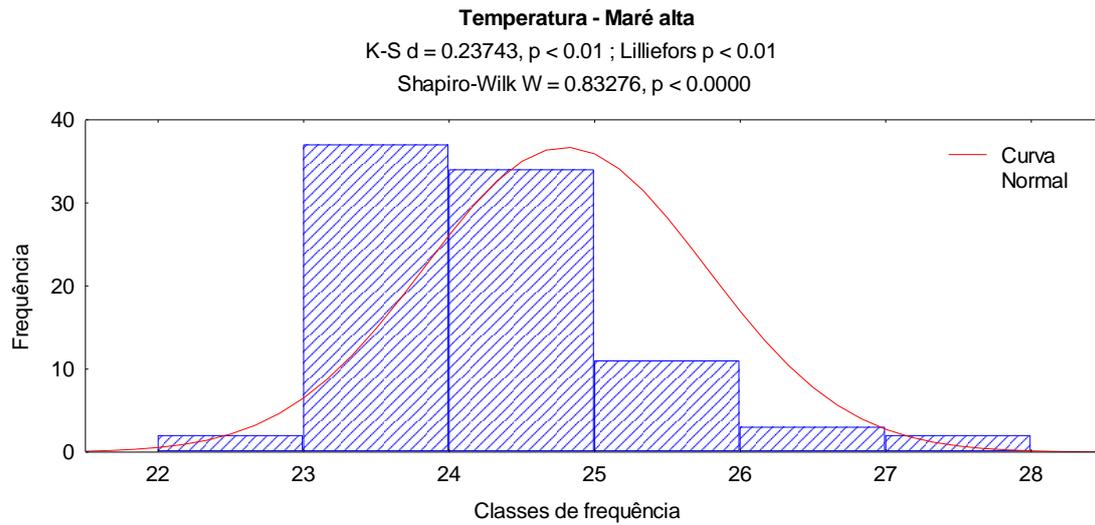
Fonte: A Autora.

Figura 18: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



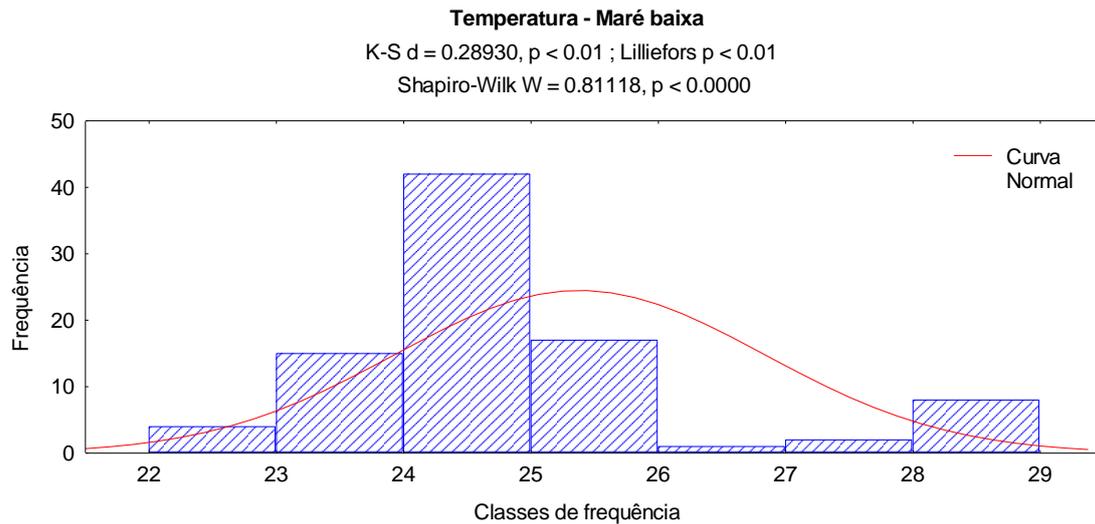
Fonte: A Autora.

Figura 19: Gráfico da distribuição normal do parâmetro Temperatura na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



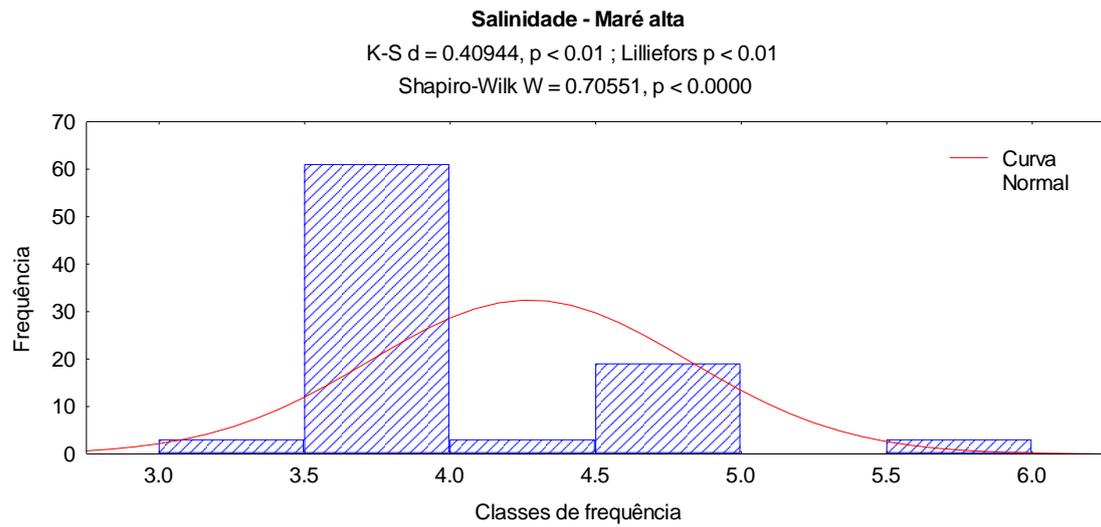
Fonte: A Autora.

Figura 20: Gráfico da distribuição normal do parâmetro temperatura na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



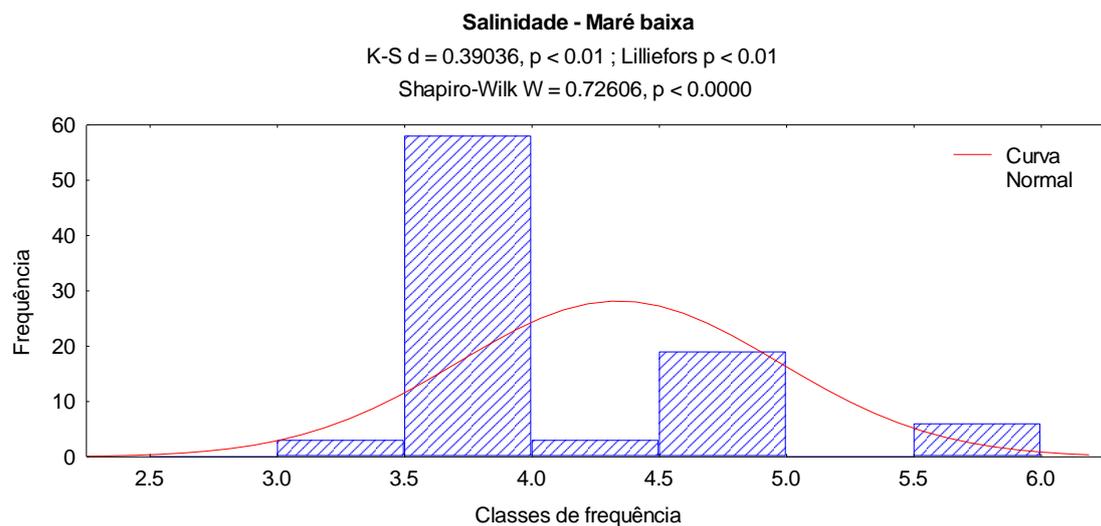
Fonte: A Autora.

Figura 21: Gráfico da distribuição normal do parâmetro Salinidade na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



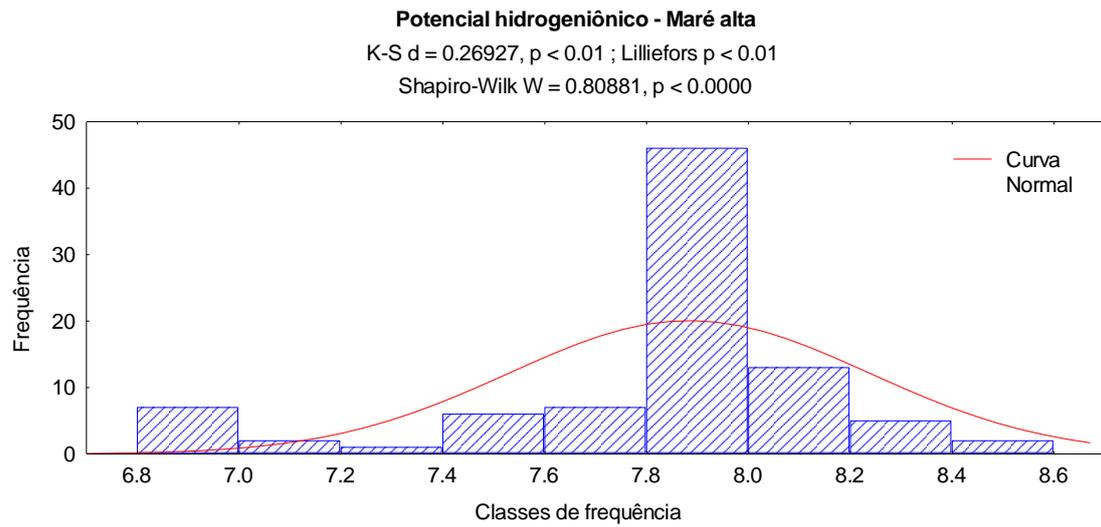
Fonte: A Autora.

Figura 22: Gráfico da distribuição normal do parâmetro salinidade na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



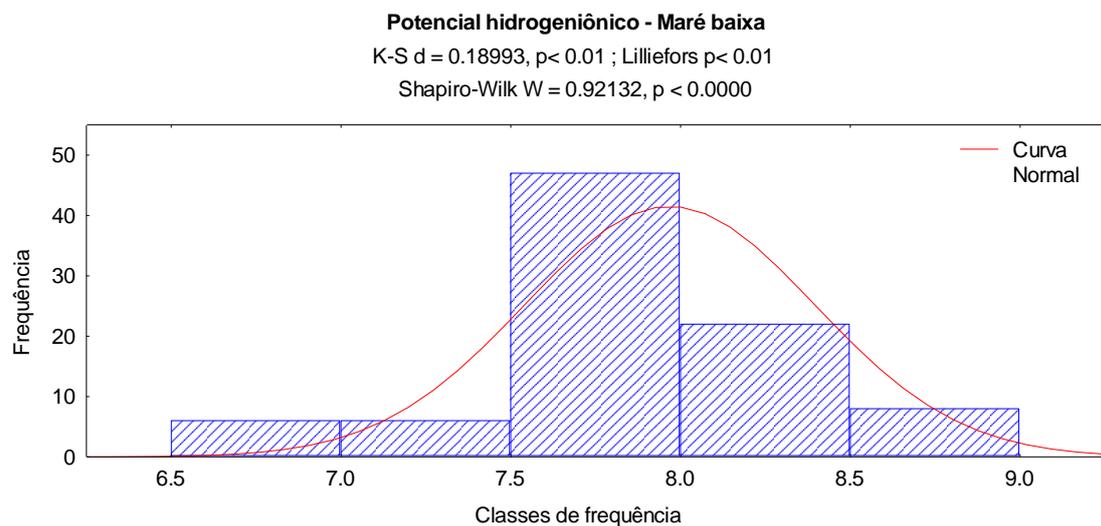
Fonte: A Autora.

Figura 23: Gráfico da distribuição normal do parâmetro pH na Maré alta, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



Fonte: A Autora.

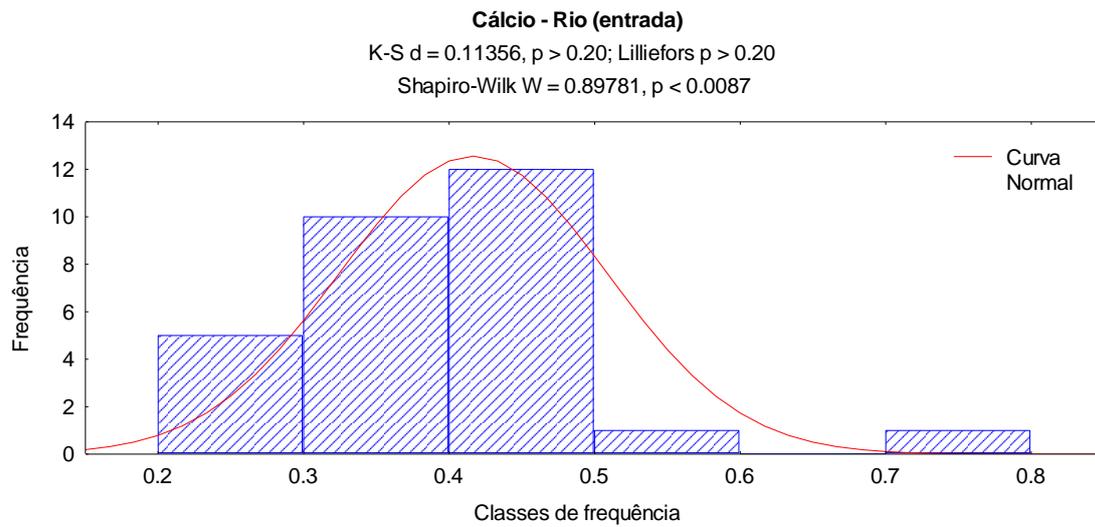
Figura 24: Gráfico da distribuição normal do parâmetro pH na Maré baixa, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



Fonte: A Autora.

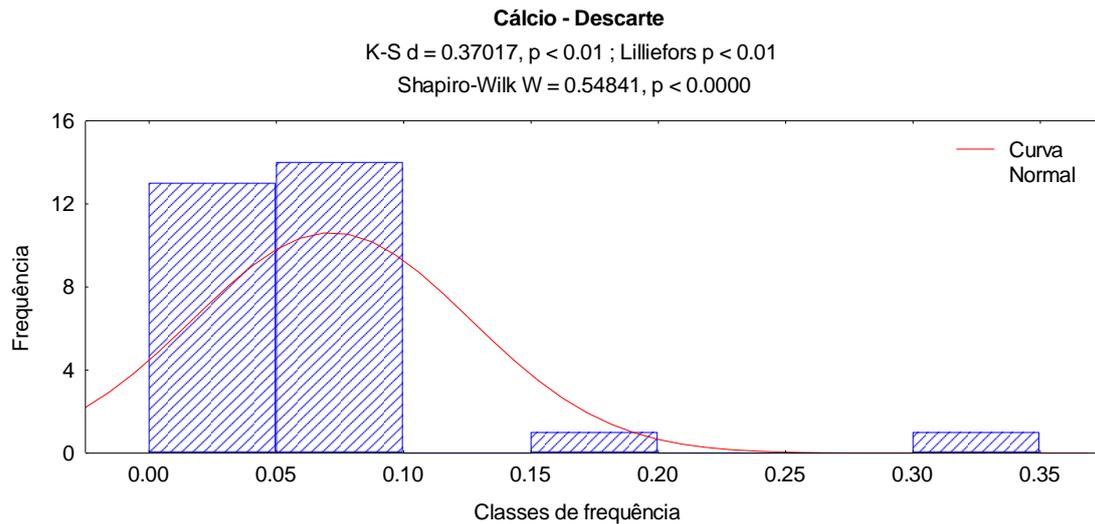
**Testes de Normalidade para a Estação de coleta E1 (entrada) e E2 (descarte)**

Figura 25: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na estação de coleta E1 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



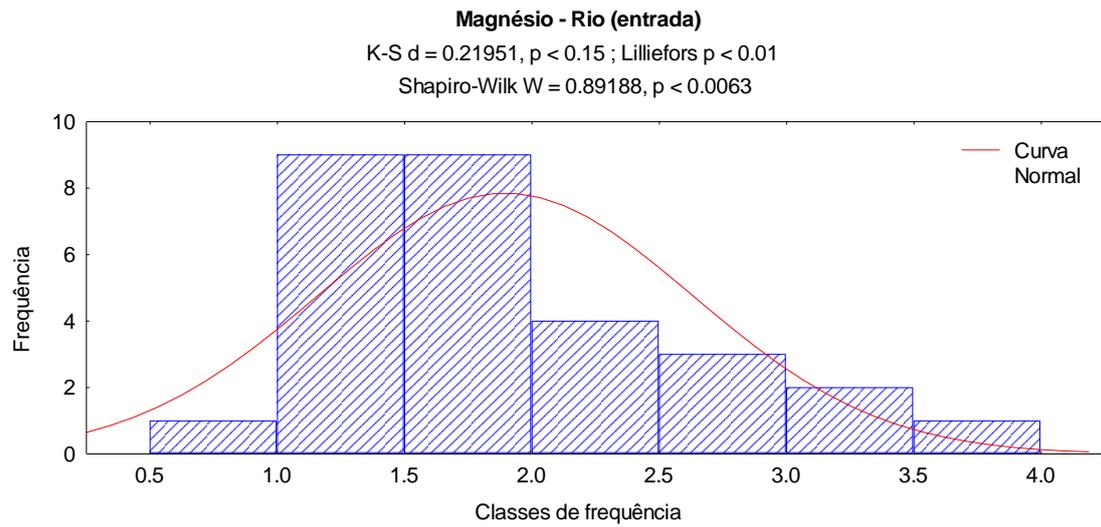
Fonte: A Autora.

Figura 26: Gráfico da distribuição normal do parâmetro cálcio na estação de coleta E2 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



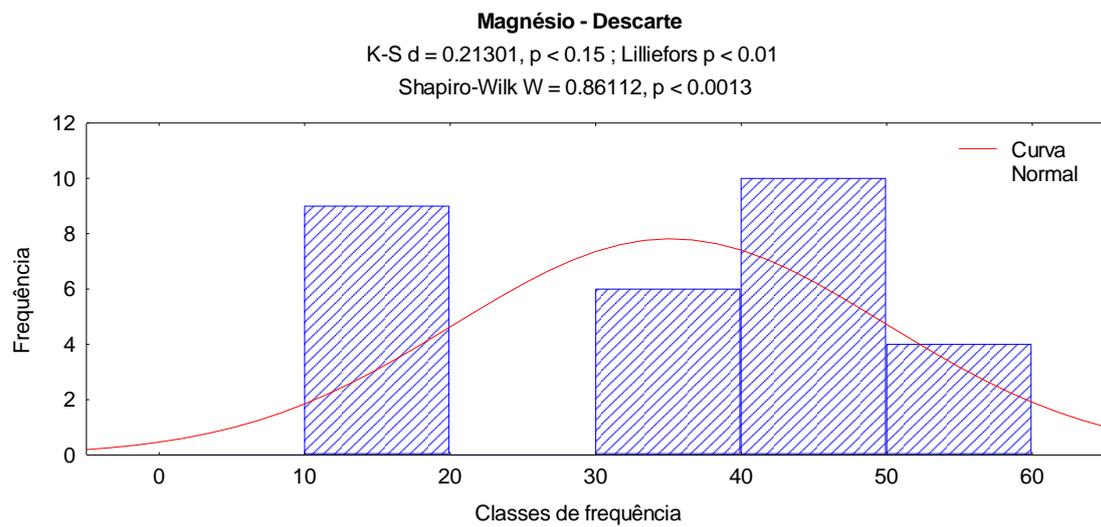
Fonte: A Autora.

Figura 27: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na estação de coleta E1 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



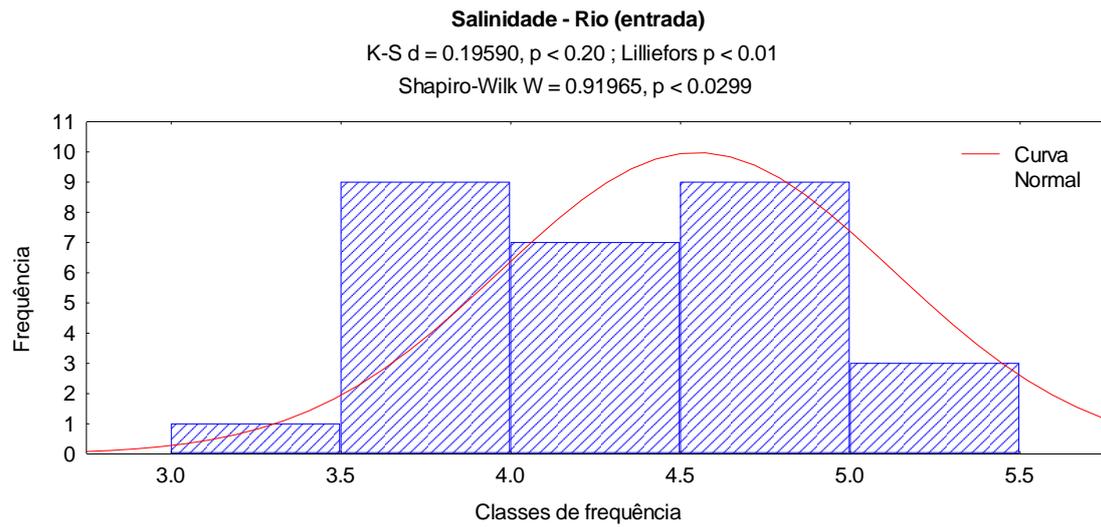
Fonte: A Autora.

Figura 28: Gráfico da distribuição normal do parâmetro magnésio na estação de coleta E2 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



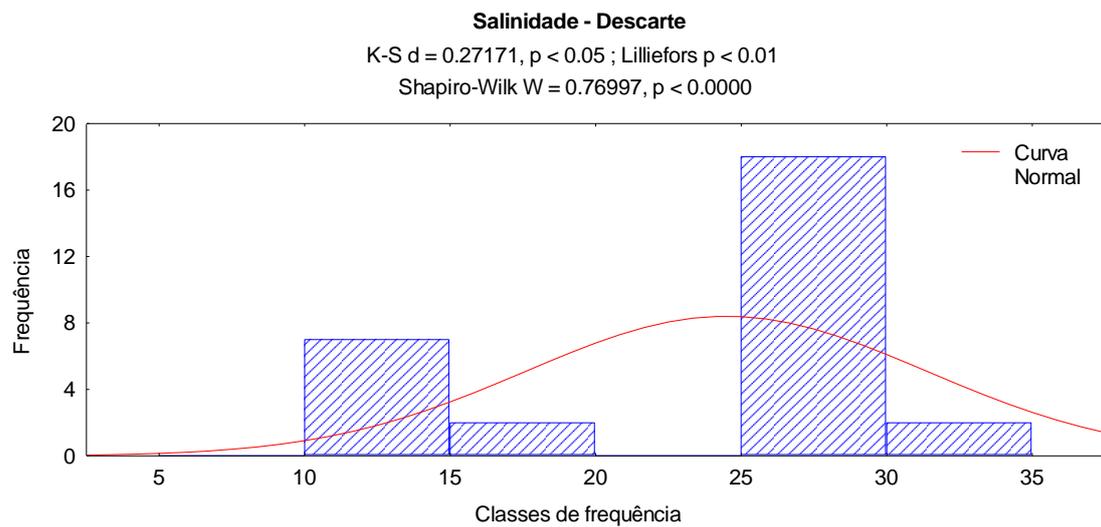
Fonte: A Autora.

Figura 29: Gráfico da distribuição normal do parâmetro salinidade na estação de coleta E1 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



Fonte: A Autora.

Figura 30: Gráfico da distribuição normal do parâmetro salinidade na estação de coleta E2 no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo



Fonte: A Autora.



**F. SOUTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE SAL S.A.**

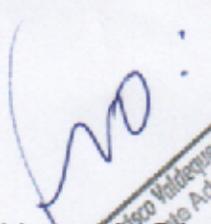
**CNPJ: 08.248.940/0001-6**

**IE: 20.001.054-9**

## CARTA DE AUTORIZAÇÃO

Eu, **Francisco Valdeque de Oliveira Junior**, gerente administrativo da empresa **F. Souto Indústria e Comércio de Sal S.A.**, tenho ciência e autorizo a realização da pesquisa intitulada "Potencialidade de produção de óxido de magnésio a partir da água mãe proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos/RN" sob responsabilidade da aluna Clara Livia Câmara e Silva, orientada pelo professor Dr. Alfredo Marcelo Grigio no curso de Mestrado em Ciências Naturais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. A presente pesquisa será realizada na Salina Maranhão e para isto serão disponibilizados aos pesquisadores as informações pertinentes às análises de água coletada para a produção de sal marinho, como também as análises do efluente salino denominado "água mãe", fotografias do local e do processo de produção de sal.

Mossoró/RN, 06 de setembro de 2016.

  
Francisco Valdeque de Oliveira Júnior  
Gerente Administrativo