

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

MIRELLA FERNANDES

DA PRODUÇÃO À APLICAÇÃO DE ÁCIDOS FORTES

SÃO CARLOS - SP

2020

MIRELLA FERNANDES

DA PRODUÇÃO À APLICAÇÃO DE ÁCIDOS FORTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Química.

Orientador(a): Dra. Rose Maria Carlos

SÃO CARLOS-SP

2020

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos que estiveram do meu lado nesses anos de graduação, independente do momento de sua passagem pela minha trajetória.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais, José e Silvana, por todo apoio que tive, desde quando decidi que queria estudar em uma Universidade Federal e fazer o curso que eu sonhava.

Agradeço ao Hyago por me dar apoio e incentivo nos momentos bons e ruins da graduação, não deixando de estar ao meu lado.

Agradeço aos meus amigos Bruno, Gabriel Yamakawa, Fabio, Ana Paula, Anna Laura, Júlia e Rafaela, que me permitiram fazer parte de um pedacinho da vida deles. Em especial ao Caique e ao Gabriel Ferraz que, além disso, me ajudaram e me incentivaram muito na escrita deste trabalho.

Agradeço a Semana da Química por ter me dado a oportunidade de fazer parte da organização da XVI edição do evento e ter a experiência de fazer um evento acadêmico, foi sensacional.

Agradeço a minha professora e orientadora Dra. Rose Maria Carlos pela oportunidade de tê-la conhecido e aprendido muita coisa com ela, e também ter feito eu me apaixonar pela química inorgânica. Além disso, me proporcionou a oportunidade de conhecer o seu laboratório e a Mariana e Isabele que me ajudaram enquanto estive no laboratório e agora aceitaram estar do meu lado nessa etapa como banca examinadora.

Agradeço também a Conatus Ambiental por todo aprendizado que tive no meu estágio, em especial ao José Renato, coordenador do projeto realizado, e as minhas companheiras de pesquisa Daniele e Ana Carolina.

“Não podemos prever o futuro, mas podemos criá-lo.”
(Peter Drucker)

RESUMO

Este trabalho apresenta e analisa a transição entre o processo de produção de bancada de um determinado produto e as etapas que levam ao interesse para produção industrial. O tema aborda a história dos ácidos, sua importância e o motivo pelo qual com o passar do tempo sua produção foi reescalada para produção industrial. Tomando como exemplo o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico, este trabalho apresenta um fluxograma da preparação até a cadeia produtiva. Neste contexto, descrevemos como o mercado reage com a variação de oferta e demanda e como isto define a decisão de aumento de produção. Para finalizar apresentamos uma pesquisa de mercado usando o setor de fertilizantes como exemplo para mostrar a importância e função desempenhada pelo ácido sulfúrico na cadeia produtiva.

Palavras-chave: Ácido. Produção de Ácidos Fortes. Pesquisa de Mercado.

ABSTRACT

This work presents and analyzes the transition between the bench production process of a given product and the steps that lead to interest in industrial production. The theme addresses the history of acids, their importance and the reason why over time their production was rescheduled for industrial production increasing. Taking sulfuric acid and hydrochloric acid as an example, this work presents a flowchart of the preparation up to the production chain. In this context, we describe how the market reacts with the variation in supply and demand and how this defines the decision to increase production. Finally, we present a market survey using the fertilizer sector as an example to show the importance and function played by sulfuric acid in the production chain.

Keyword: Acid. Production of strong acids. Market research.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2. OBJETIVO..... | 10 |
| 2.1 Objetivo Geral | 10 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 10 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 11 |
| 3.1 História dos Ácidos..... | 11 |
| 3.2 Aumento de Escala | 12 |
| 3.3 Importância dos Ácidos na Indústria | 13 |
| 3.3.1 Oferta e Demanda | 14 |
| 3.3.2 Pesquisa de Mercado | 15 |
| 3.4 Processo de Produção de Ácidos Fortes | 17 |
| 3.4.1 Ácido Sulfúrico..... | 17 |
| 3.4.2 Ácido Clorídrico..... | 19 |
| 3.4.2.1 Sal de Glauber..... | 19 |
| 3.4.2.2 Combustão do Gás Cloro e do Gás Hidrogênio | 20 |
| 3.4.2.3 Subproduto da Fabricação do Hidróxido de Sódio | 21 |
| 3.5 Análise de um Setor Industrial | 23 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 26 |
| REFERÊNCIAS..... | 27 |

1. INTRODUÇÃO

O ácido sulfúrico, H_2SO_4 , é um ácido mineral diprótico forte, incolor e inodoro, e nas condições normais apresenta-se na forma líquida. O H_2SO_4 , dependendo de sua concentração, tem sua viscosidade próximo a de um óleo vegetal, devido a isso ele é descrito normalmente como oleoso. O ácido sulfúrico, quando diluído em água sofre ionização e este processo é altamente exotérmico. (CAMPOS, 2011)

O ácido clorídrico, HCl, é um ácido inorgânico forte, monoprótico, e em solução é facilmente ionizável, devido a isso ele fica sob a forma solvatada e o seu pH é muito baixo. Ele tem uma aparência de líquido incolor, podendo ser levemente amarelado. Além disso, é muito higroscópico e pode causar reações violentas quando em contato com água. (TOLENTINO e FOREZI, 2014)

Na história dos processos químicos industriais, podemos destacar alguns processos que marcaram evolução industrial, como o processo de Haber-Bosch (obtenção do ácido nítrico e da amônia), o processo de Solvay (produção de carbonato de sódio), a eletrólise ígnea (produção de hidróxido de sódio, cloro e hidrogênio), o processo de contato (produção de ácido sulfúrico), obtenção de derivados do petróleo e as hidrogenações de ácidos graxos. Vale ressaltar, a produção açúcar e etanol, têm alavancado a economia mundial, e em particular a economia brasileira também. (SANTOS, c2020)

Alguns desses processos dependem diretamente da cadeia de valor dos ácidos clorídrico e sulfúrico, como por exemplo a eletrólise ígnea, processo de contato, obtenção de derivados de petróleo e a produção de açúcar e etanol.

Os métodos de produção dos ácidos são conhecidos há muito tempo e estão consolidados na indústria. O método de obtenção do ácido sulfúrico é pelo processo de contato e está sendo utilizado desde 1831. Já o método de obtenção do ácido clorídrico pode ser de mais de uma forma, mas o mais utilizado na indústria é o de combustão que geralmente é acoplado com o processo de produção do hidróxido de sódio, a eletrólise ígnea, pois a eletrólise produz os dois gases necessários para a combustão (hidrogênio e cloro). (SHREVE; BRINK JR., 1997)

Os fabricantes nacionais dos ácidos sulfúrico, clorídrico e nítrico aumentam suas capacidades para atender às crescentes necessidades de vários processos industriais. Esses incrementos na produção são realizados de acordo

com o crescimento da indústria química e das aplicações que utilizam os mesmos, e deve se analisar muito bem o setor antes de realizar um aumento de produção, evitando assim a perda de valor de mercado. (SANTOMAURO, 2011)

Para que o aumento de produção ocorra sem prejuízos, é recomendado que a indústria realize uma pesquisa, localizando o seu setor, seus principais clientes e concorrentes. Outro ponto importante é realizar uma análise do mercado considerando a região/país do produto em relação ao o mercado mundial com uma análise criteriosa das tendências tecnológicas. Esse tipo de pesquisa pode ser chamado de estudo de mercado ou pesquisa de mercado.

No desenvolvimento do trabalho, faremos uma abordagem sobre a indústria química dos ácidos, analisando os processos de produção e exemplificando com um setor de aplicação dos ácidos, a pesquisa de mercado.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Mostrar a importância da pesquisa de mercado para definir um aumento da escala de produção utilizando a cadeia produtiva de ácidos minerais fortes desde sua fabricação até a sua aplicação.

2.2 Objetivos Específicos

- Mostrar a importância dos ácidos minerais na indústria
- Explicar o significado e importância de uma pesquisa de mercado e o conceito de oferta e demanda
- Descrever o método de produção do ácido clorídrico e do ácido sulfúrico.
- Dar um exemplo envolvendo um setor produtivo que envolve um dos ácidos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 História dos Ácidos

Os ácidos minerais vêm sendo utilizados desde a antiguidade, quando foram descobertos em torno dos anos 800-900. O ácido sulfúrico (H_2SO_4) era conhecido como óleo de vitríolo desde antes do século X, onde era obtido pela destilação seca do sulfato de ferro III heptahidratado ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ou do sulfato de cobre II pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), e era chamado assim devido à aparência dos sais inorgânicos que envolviam na sua produção. Porém, somente no século XV uma nova metodologia foi criada para a fabricação do mesmo. Basilius Valentinus usou a queima do nitrato de potássio com enxofre para a preparação do ácido. (CAMPOS, 2011)

Com o passar dos tempos, novas tecnologias foram sendo criadas para a fabricação do ácido sulfúrico com uma alta porcentagem de concentração. Somente em 1831, Peregrine Phillips descobriu e patenteou o processo de fabricação pelo método de contato, que inclusive é o método utilizado até hoje. (CAMPOS, 2011)

As pesquisas envolvendo as características do ácido sulfúrico não pararam e Hammett e Deyrup, em 1932, desenvolveram um método para determinar a sua acidez através do grau de protonação de bases muito fracas. Até o início do século XX, acreditava-se que o ácido sulfúrico era o ácido mineral mais forte que existia. Hoje conhecemos outros ácidos muito mais fortes que ele, como o superácidos. (CAMPOS, 2011)

O ácido clorídrico (HCl) foi descoberto no século IX por um alquimista islâmico chamado Jabir Ibn Hayyan, durante a reação entre o óleo de vitríolo (H_2SO_4) e o sal de cozinha (cloreto de sódio). (TOLENTINO e FOREZI, 2014) Na mesma época, esse cientista descobriu também a água régia, formada por ácido nítrico e ácido clorídrico, que era a única solução que dissolvia o ouro (o metal mais nobre conhecido). (MORENO *et al*, 2015) No século XVII, Johann Rudolf Glauber tentou produzir sulfato de sódio utilizando os mesmos reagentes e obteve como subproduto dessa reação o ácido clorídrico na forma gasosa. (TOLENTINO e FOREZI, 2014)

A produção industrial do ácido clorídrico atingiu seu auge durante a Revolução Industrial, onde devido a periculosidade foram promulgadas leis proibindo

o descarte do ácido na atmosfera. À medida que foram sendo descobertas aplicações para o ácido clorídrico, tornou-se necessário fábricas para a produção exclusiva do mesmo. (TOLENTINO e FOREZI, 2014)

Assim como o clorídrico, o ácido sulfúrico também teve sua importância para o desenvolvimento científico. Na Europa, o ácido sulfúrico aumentou a quantidade de reações químicas que eram realizadas na época devido ao seu alto poder de reação e dissolução. Até os dias atuais, sua produção é considerada como uma das mais relevantes. (MORENO *et al*, 2015)

3.2 Aumento de Escala

As pesquisas laboratoriais são de extrema importância para novas descobertas, porém quando se pensa em indústria, a escala do processo precisa ser aumentada muitas vezes. Na evolução da industrialização, os ácidos foram forçados a aumentar de escala devido às diversas aplicações que foram surgindo do produto químico.

Por outro lado, o aumento de escala muitas vezes não é tão simples quanto parece e pode trazer alguns problemas se não for projetado e preparado de forma correta. (PROPEQ, 2019)

Essa mudança de escala deve ser feita com muita cautela e sobre o processo em questão. Em geral, para um determinado processo chegar a ser produzido em escala industrial, deve passar por 3 etapas: teste de bancada, planta piloto e planta industrial, e podemos chamar essas etapas de Jornada de Criação. Mesmo depois de o processo atingir a escala industrial, é necessário que tenha sempre um acompanhamento da sua produção. (LEONHARDT, 2017)

Os testes de bancada são aqueles que são realizados em volumes reduzidos para realizar os processos físico-químicos de transformação da matéria-prima em produto final. (GAMBETTA, 2011) Leonhardt (2017) ressalta a importância observar a escala do teste: se a quantidade de matéria-prima empregada for dezenas ou até milhares de vezes inferior a uma produção industrial, estamos em frente a um teste de bancada. Além disso, o teste de bancada é excelente para fazer protótipos rápidos que ajudem enxergar o conceito e fazer ajustes iniciais da reação do projeto.

A planta piloto é aquela que reproduz, com razoável precisão, os

equipamentos e processos encontrados na planta fabril e é utilizada para verificar e demonstrar, em escala semi-industrial, robustez e estabilidade de rotas tecnológicas de produção. Dessa forma, é possível minimizar riscos de escalonamento, prever gargalos e otimizar processos e estimativas de investimento (capital e operacionais). (LEONHARDT, 2017) (LNBR, 200-?)

Gambetta (2011) diz que a partir do projeto da planta piloto e das informações obtidas ao longo de sua operação, pode-se iniciar um projeto de planta industrial, levando em conta as características técnicas e econômicas, que permitirão construir uma planta industrial competitiva.

Jam Harmsen (2019) explica que a expansão do processo gera conhecimento para implementações comerciais bem-sucedidas. Essa geração de conhecimento é capaz de avaliar riscos e reduzi-los para níveis aceitáveis a implementação bem-sucedida da escala comercial.

3.3 Importância dos Ácidos na Indústria

Os processos industriais que utilizam os ácidos levou a uma maior demanda com a industrialização e a necessidade de um aumento de escala de produção surgiu.

O ácido sulfúrico é a substância química mais usada na indústria química, seu consumo per capita constitui um importante indicador do desenvolvimento técnico do país. Algumas das aplicações do ácido sulfúrico são na produção de fertilizantes, como os superfosfatos e o sulfato de amônio, na produção de papel, corantes, fibras de raiom, medicamentos, tintas, inseticidas, explosivos e outros ácidos, além de ser usado também nas indústrias petroquímicas para o refino de petróleo e como decapante de ferro e aço. (FOGAÇA, 20-)

O ácido clorídrico possui alto grau de ionização, por isso ele é um ácido forte e corrosivo. Ele é usado em diversas aplicações, assim como o sulfúrico, como na limpeza e decapagem de metais, na produção de tintas, couros e corantes, na redução de ouro, na acidificação e perfuração em poços de petróleo, na hidrólise de amidos e proteínas, e também em reações de formação de haletos orgânicos. Em sua forma impura, o ácido clorídrico, conhecido comercialmente como ácido muriático, é usado em limpeza de pisos, paredes de pedra, de azulejos, entre outros. (FOGAÇA, 20-)

Apesar dos ácidos serem muito utilizados, é necessário estudar a possibilidade de aumento de produção e uso como qualquer outro material. Como os ácidos podem trazer problemas ambientais quando descartados de maneira incorreta é necessário que sua produção, transporte e armazenamento sejam analisados e realizados de maneira correta. Alguns dos problemas que podem ocorrer é afetar rios e cursos d'água alterando o pH da água, contaminar o solo e afetar temporariamente a qualidade do ar.

Outro ponto é analisar se há mercado para o seu produto na situação atual do seu país/região de comercialização e se as perspectivas futuras são promissoras ou não para esse material. Para isso geralmente é feito uma pesquisa de mercado e uma análise de oferta e demanda do setor em que está inserido.

3.3.1 Oferta e Demanda

Quando tratamos de mercado temos que levar em consideração a lei de oferta e demanda. Mankiw (2013) define mercado como um grupo de compradores e vendedores de um bem ou serviço. O mercado vai variar de acordo com a oferta (quantidade de produto ou bem disponível para a venda) e com a demanda (quantidade de um produto ou bem que os compradores desejam e podem comprar).

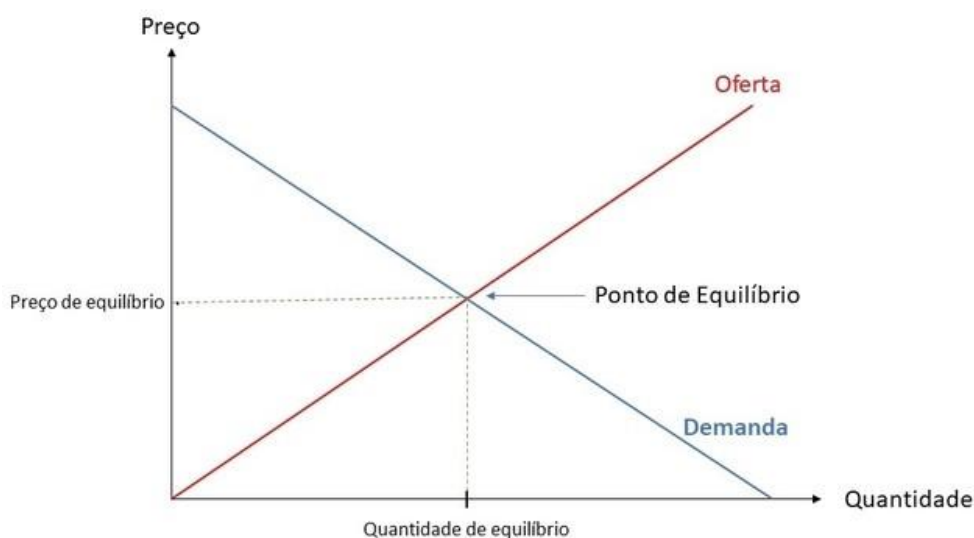
A lei da oferta e demanda segundo Mankiw (2013) afirma que o preço de qualquer bem se ajusta para trazer a quantidade ofertada e a quantidade demandada desse bem para o equilíbrio. Isso ocorre porque se não manter o equilíbrio e a quantidade ofertada for maior que a demandada, o preço do bem ou produto irá cair, e se a quantidade demandada for maior que a ofertada, o preço do bem ou produto irá aumentar.

Mankiw (2013) ainda diz que o ponto de equilíbrio é quando o preço atingiu o nível em que a quantidade ofertada é igual à quantidade demandada, e esse preço é chamado de preço de equilíbrio.

Na Figura 1 são representadas as curvas de oferta e demanda. A curva de demanda mostra como a quantidade demandada de um bem depende do preço. De acordo com a lei da demanda, conforme o preço de um bem cai, a quantidade demandada aumenta, assim a curva de demanda se inclina para baixo. A curva de oferta mostra como a quantidade ofertada de um bem depende do preço. De acordo

com a lei da oferta, conforme o preço de um bem aumenta, a quantidade ofertada aumenta também, portanto a curva da oferta é inclinada para cima. Além disso, no gráfico, a intersecção entre as curvas de oferta e demanda determina o equilíbrio do mercado. Ao preço de equilíbrio, a quantidade demandada é igual a quantidade ofertada. (MANKIW, 2013)

Figura 1. Lei da Oferta e Demanda representada graficamente.



Fonte: dicionariofinanceiro.com/oferta-e-demanda/ (c2020)

Sendo assim, quando tratamos do mercado do ácido clorídrico ou do mercado do ácido sulfúrico, temos que pensar em qual a oferta e qual a demanda desse produto no país/região em que se encontra. Para saber se vai ter um preço ótimo de vendas e se vai ter demanda para vender, mesmo que não seja o ponto de equilíbrio, é necessário realizar uma pesquisa de mercado.

3.3.2 Pesquisa de Mercado

O SEBRAE Nacional (2015) define que a pesquisa de mercado é a coleta de informações junto ao consumidor, concorrente ou fornecedor para orientar a tomada de decisões ou solucionar problemas. Os resultados da pesquisa de mercado, que geralmente são resumidos em um relatório, são usados para ajudar os empresários a tomar decisões mais informadas sobre as estratégias, operações e base de clientes em potencial da empresa.

Segundo Azevedo (2015), a pesquisa de mercado deve ser feita para verificar a validade e a viabilidade de uma hipótese ou responder questões-chave do

negócio. Antes de qualquer coisa precisa haver uma dúvida, uma questão, uma percepção de que algo ocorre no mercado. A empresa deve recorrer às pesquisas sempre que tiver que tomar decisões de marketing importantes, como as listadas abaixo.

- Expandir a área geográfica de atuação;
- Entrar em novos segmentos de mercado ou canais de distribuição;
- Lançar ou aperfeiçoar produtos e serviços;
- Dimensionar a equipe de vendas;
- Credenciar revendedores ou distribuidores;
- Escolher um ponto comercial,
- Definir qualidade e variedade dos produtos e serviços a ser comercializados;
- Definir os meios de divulgação mais adequados;
- Ajustar preços;
- Posicionar produtos e marcas;
- Iniciar um novo negócio (deve fazer parte do plano de negócios).

Para tomar decisões acertadas, o empresário pode usar diversos tipos de pesquisas, até mesmo a simples observação da concorrência pode ser chamada de pesquisa. (AZEVEDO, 2015)

É preciso coletar informações com base no setor de mercado que está sendo examinado, isso é de extrema importância pra começar a entender com o que estamos lidando. Uma pesquisa de mercado pode ser primária ou secundária. A pesquisa primária é quando os dados são coletados com fontes diretas, por exemplo entrevista com empresas do ramo ou especialistas no setor. A pesquisa secundária é quando os dados são coletados de terceiros, como por exemplo relatórios e estudos de agências governamentais, associações comerciais ou outras empresas do seu setor. (TWIN, 2019)

Embora a pesquisa de mercado traga diversos benefícios para a empresa e para o empreendedor, no Brasil ela ainda não recebeu a sua devida importância. Há uma noção errada de que seus custos são altos, mas nunca é analisado os se os benefícios que ela traz poderá valer a pena como um investimento. Devido a isso costuma ser uma prática restrita a grandes empresas e investidores.

3.4 Processo de Produção de Ácidos Fortes

Os processos de produção na indústrias precisam de um estudo prévio na parte laboratorial para depois serem implementados. Neste tópico abordaremos processos consolidados da indústria do ácido sulfúrico e do ácido clorídrico.

3.4.1 Ácido Sulfúrico

O ácido sulfúrico pode ser obtido por dois processos: o processo de câmara de chumbo e processo de contato. O processo de contato vem sendo utilizado há muito tempo e com grande eficácia, portanto o foco será esse processo. (SANTOS, 2019)

O processo de contato é constituído basicamente por 4 partes importantes: extração do enxofre, conversão para dióxido de enxofre, conversão para trióxido de enxofre, conversão para ácido sulfúrico.

O enxofre é a matéria-prima para o processo de contato, sua extração é o que dá início ao processo de produção e pode ser realizada por dois métodos: Frasch ou Claus. (SANTOS, 2019) O processo Frasch é um método que se obtém o enxofre com uma pureza entre 99 e 99,9% e é extraído de depósitos subterrâneos. No processo Claus se obtém o enxofre através da oxidação do ácido sulfídrico (H₂S) proveniente de efluentes gasosos. (MB, 1999)

Em resumo, o processo pode ser esquematizado em 3 etapas: preparação do gás, conversão e absorção de SO₃, e elas podem são exemplificadas e esquematizadas na Figura 2. A conversão do enxofre elementar para o dióxido de enxofre é a primeira coisa que a indústria irá realizar, ela pode ser chamada de preparação do gás. Essa etapa é realizada com a queima do enxofre com uma explosão de ar seco (SANTOS, 2019), de acordo com a reação (Equação 1) a seguir:



O gás obtido nessa etapa segue para a segunda etapa, onde é resfriado e entra em um reator de oxidação em meio catalítico. O catalisador utilizado é o pentóxido de vanádio (V₂O₅) e a reação ocorre de acordo com a

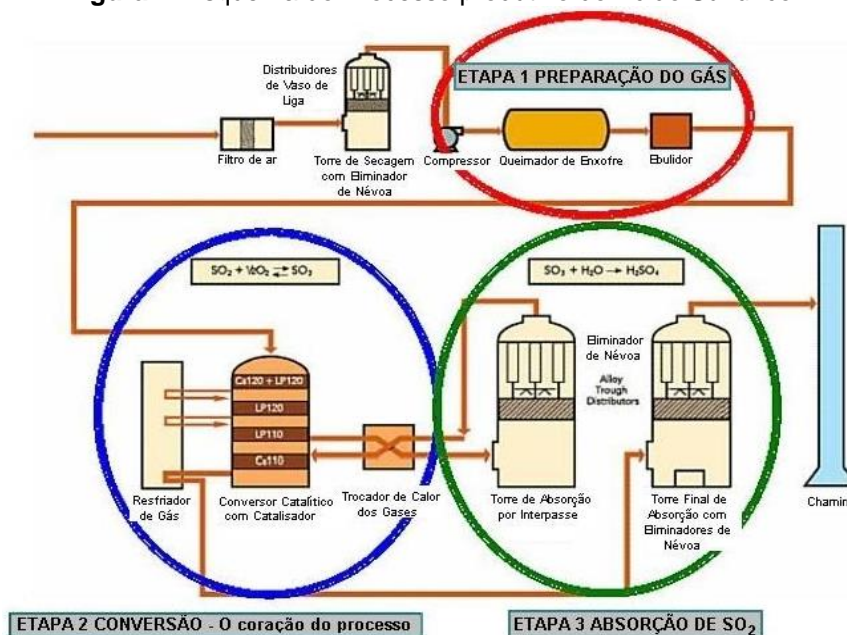
Equação 2.



É importante destacar que a etapa 2 de conversão é considerada o coração do processo de obtenção do ácido sulfúrico, sendo crucial para obter grande quantidade de ácido sulfúrico, aumentando o rendimento do processo. Nesta etapa ocorre o processo de conversão do SO_2 em SO_3 , e é extremamente importante seu controle pois ele definirá a concentração global da reação, e sua conversão pode chegar até 99,5% quando realizados os controles necessários. A indústria procura sempre garantir a maior taxa de conversão durante o processo para diminuir a liberação de gases nocivos para a atmosfera para evitar problemas ambientais, como a chuva ácida.

A última etapa do processo se dá através da absorção do trióxido de enxofre a partir do leito catalítico. Para isso, o gás é borbulhado em torres em contracorrente com ácido sulfúrico diluído em água. A absorção ocorre através de um agente absorvente, que neste caso é a água com uma concentração elevada de ácido sulfúrico. A água utilizada no processo necessita estar nessas condições, pois se utilizar água pura poderá formar uma névoa de ácido sulfúrico, o que dificultaria o processo. (SANTOS, 2019)

Figura 2. Esquema do Processo produtivo do Ácido Sulfúrico.



Fonte: <https://sites.google.com/> (2020)

3.4.2 Ácido Clorídrico

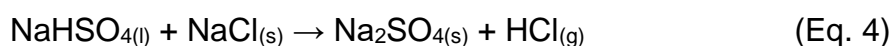
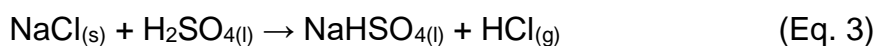
Existe uma relação muito próxima entre o ácido clorídrico e o ser humano, isto se deve à presença do ácido no nosso estômago, que auxilia na manutenção do pH desse órgão e na digestão das proteínas. Além disso, a produção industrial do ácido clorídrico é importante para o processo de diversos setores da indústria, movimentando a economia de vários países. (DIÓRIO e ALMEIDA, 2018)

Diório e Almeida (2018) apresentam vários métodos para obtenção do ácido clorídrico, entre eles a síntese a partir do sal de Glauber e a combustão. Além disso, o ácido clorídrico também pode ser obtido como subproduto de outros processos industriais, como o processo de fabricação da soda (hidróxido de sódio).

3.4.2.1 Sal de Glauber

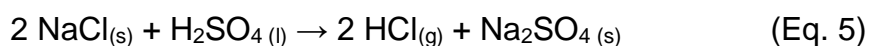
Sal de Glauber é o nome dado ao sulfato de sódio, nomeado assim em homenagem ao seu descobridor, Johann Rudolf Glauber (século XVII). O ácido clorídrico não era o produto desejado da reação, ele era apenas um subproduto do processo. O objetivo desse método de síntese era a obtenção do próprio sulfato de sódio. (DIÓRIO e ALMEIDA, 2018)

Por esse método, o processo de produção abrange duas reações químicas representadas nas equações 3 e 4. A primeira envolve o ácido sulfúrico com o cloreto de sódio e, seguindo em sequência, o produto da primeira reação (bissulfato de sódio) reage com o cloreto de sódio (NaCl). (DIÓRIO e ALMEIDA, 2018)



Deve-se imaginar que o processo pelo Sal de Glauber não é só acoplar suas reações em sequência. Para que a síntese do ácido clorídrico a partir desse processo ocorra, é necessário que as reações aconteçam dentro de um reator, simultaneamente, tendo os devidos controles de temperatura nos produtos formados e sendo necessária a separação dos gases produzidos. (DIÓRIO e ALMEIDA, 2018)

As etapas, para a obtenção do HCl através deste método, tem como reação global a equação 5. Essa reação ocorre em um forno industrial denominado forno Mannheim e, por isso, o processo também pode ser denominado de processo Mannheim. O processo Mannheim também é utilizado para a síntese do sulfato de potássio (com formação de ácido clorídrico como subproduto) por um processo praticamente idêntico ao do sulfato de sódio. (DIÓRIO e ALMEIDA, 2018)



3.4.2.2 Combustão do Gás Cloro e do Gás Hidrogênio

O ácido clorídrico também pode ser sintetizado por meio da combustão dos seus elementos constituintes separadamente, ou seja, pela combustão do gás cloro com o gás hidrogênio em excesso, assim como é representado na Equação 6. Este é o processo moderno de fabricação, e é por meio dele que se obtém HCl de altíssima pureza, por conta da pureza de cada gás individualmente. Como os gases são obtidos por métodos eletrolíticos durante o processo de produção da soda cáustica, por exemplo, obtêm-se gases de elevada pureza (SHREVE; BRINK JR., 1997).



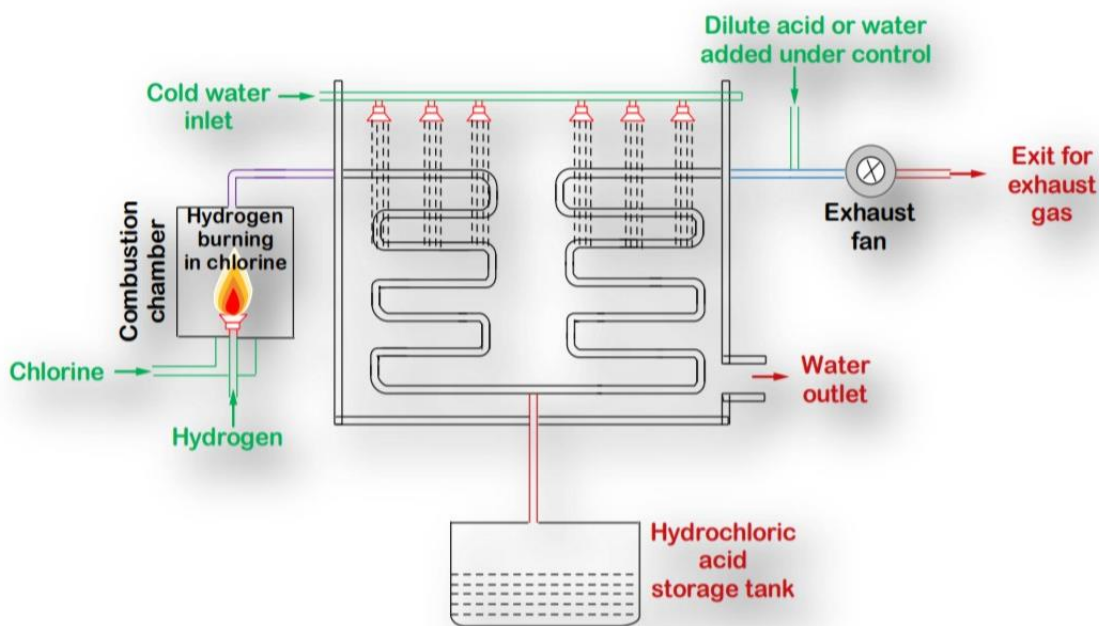
O processo descrito e esquematizado por Patel (2013) na Figura 3 consiste, primeiramente, na instalação de uma câmara de combustão com um dispositivo de resfriamento. Na câmara, para garantir que todo o cloro seja consumido, um excesso de 10% de hidrogênio em relação ao cloro é carregado do fundo da câmara de combustão.

Além disso, deve-se tomar cuidado para que a câmara de combustão e o comprimento do duto, que leva o gás ao absorvedor, seja suficiente para o ácido clorídrico não conter cloro livre. A queima de hidrogênio se inicia acendendo o queimador externamente, após isso o cloro é passado para a câmara de combustão, onde o hidrogênio queima em uma atmosfera de cloro para produzir HCl. (PATEL, 2013)

A câmara de combustão é então resfriada externamente por água e

gás e é instalada uma tampa na parte superior do reator, que pode se abrir repentinamente em casos de emergência. O gás de ácido clorídrico é resfriado, absorvido em água ou em uma solução diluída de HCl, passando pelo resfriador e absorvedor pelo tubo de conexão. Por fim, a solução de HCl flui para um tanque de armazenamento.

Figura 3. Produção do ácido clorídrico através da combustão do gás hidrogênio e do gás cloro.



Fonte: PATEL, N. K., 2013

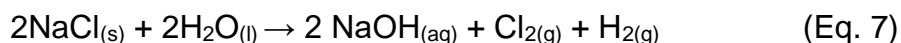
Conforme Patel (2013) e o Shreve e Brink Jr. (1997), tanto o hidrogênio quanto o cloro podem ser obtidos durante a eletrólise da salmoura para a fabricação de cloreto de sódio (NaOH), ou seja, geralmente o processo de obtenção do ácido clorídrico é acoplado ao processo de eletrólise da salmoura.

3.4.2.3 Subproduto da Fabricação do Hidróxido de Sódio

A soda cáustica é obtida por eletrólise da salmoura, que é uma solução concentrada de cloreto de sódio (NaCl) em água. Essa solução deve ser livre de impurezas que possam prejudicar sensivelmente a eficiência e o rendimento do processo produtivo. (Abiclor, c2020)

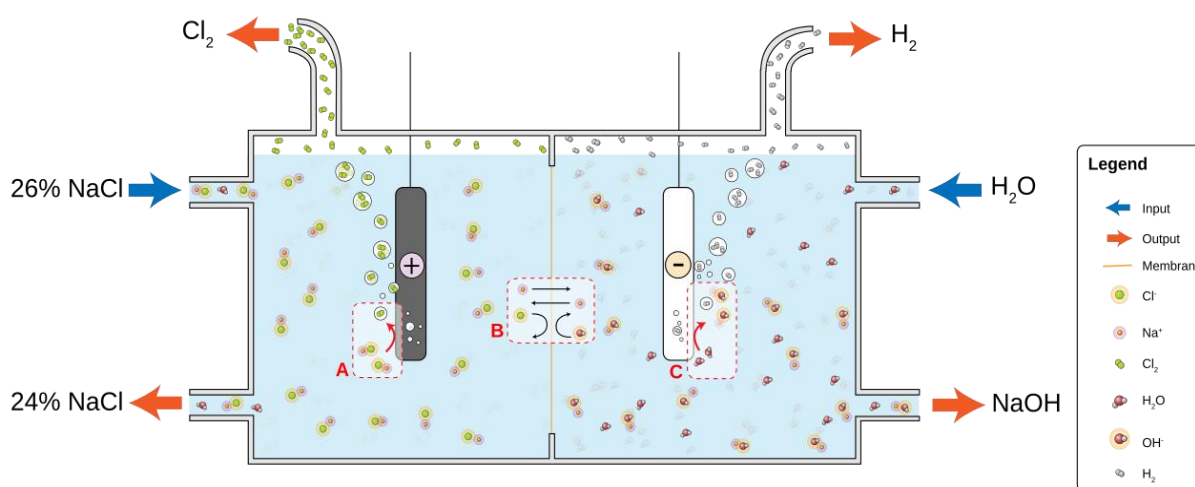
O'Brien *et al* (2005) descreve o processo que ocorre de acordo com a figura 4. Nesta figura, pode-se observar que há formação de Cl_2 no ânodo da célula e a equação geral da eletrólise do cloreto de sódio em solução aquosa ($\text{NaCl}_{(aq)}$) é

expressa na equação 7.



Esse gás cloro formado passa por um processo de resfriamento e pode ser preparado para venda, para a produção de ácido clorídrico ou de hipoclorito de sódio.

Figura 4. Esquema do Processo de Eletrólise de uma Salmoura de NaCl.

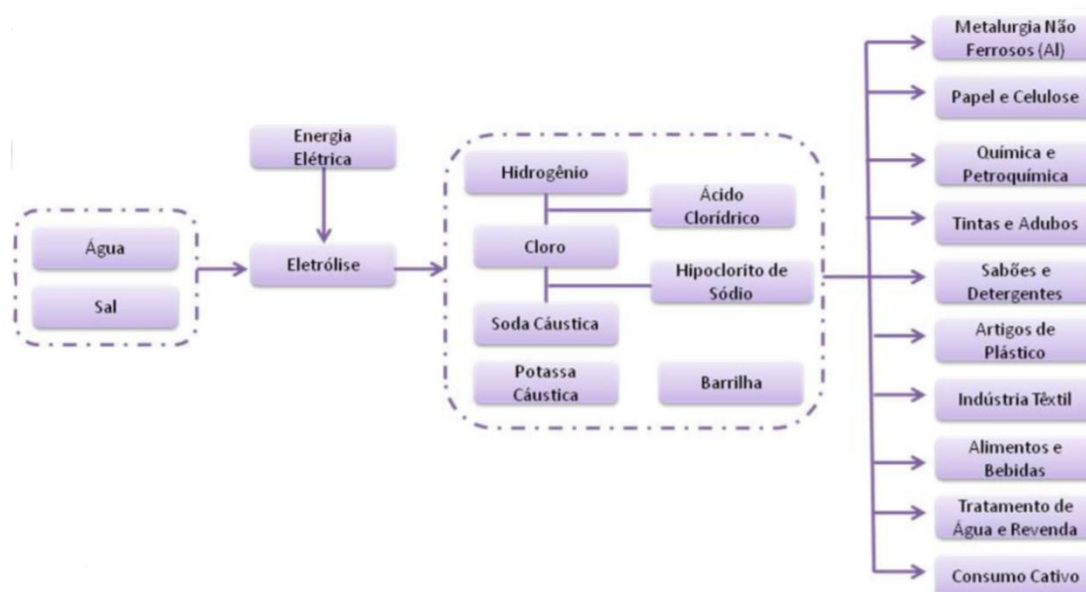


Fonte: Magiclор, c2020. <https://magiclор.com/technology/>

Segundo Abiclor (c2020) no processo da eletrólise, a soda cáustica é co-produzida numa proporção fixa de 1 tonelada de cloro e 1,13 toneladas de soda cáustica.

Como podemos observar, o processo de eletrólise da salmoura de cloreto de sódio é um processo que possui uma cadeia produtiva muito rica e muito importante para o setor industrial. Na figura 5 podemos ver essa cadeia produtiva completa, começando com a salmoura (água e cloreto de sódio), passando pelos produtos e indo para as aplicações. (SILVA, 2012)

Figura 5. Cadeia Produtiva do Cloro e da Soda via eletrolítica.



Fonte: SILVA, I. M. C. B., 2012.

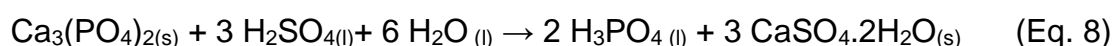
3.5 Análise de um Setor Industrial

Usaremos como exemplo o ácido sulfúrico para explicar o processo de pesquisa de mercado e o setor industrial de fertilizantes.

Por definição, o fertilizante é considerado toda substância mineral ou orgânica, obtido de forma natural ou industrial que forneça as plantas os nutrientes básicos necessários ao seu desenvolvimento. Existem vários tipos de fertilizantes como os fosfatados, potássicos e os nitrogenados. (CUNHA, 2017)

Vamos tomar como exemplo os fosfatados. O processo para produção dos fertilizantes fosfatados consiste na extração mineral, o mineral é então moído, separado da ganga (parte indesejada do minério) e beneficiado até a concentração desejada. (CUNHA, 2017)

Depois dessa fase entra a parte das indústrias de fabricação de produtos químicos. O ácido sulfúrico é essencial para a produção do ácido fosfórico e o ácido fosfórico é indispensável para a produção de fertilizantes fosfatados. No processo, o concentrado fosfórico reage com ácido sulfúrico, formando o ácido fosfórico como produto e subproduto chamado de fosfogesso, segundo a equação 8 abaixo. (CUNHA, 2017)



A mistura no final da reação é filtrada, e o fosfogesso e o ácido fosfórico diluído são separados. O ácido é então encaminhado para a etapa de clarificação e o fosfogesso é descartado. (LOUREIRO *et al*, 2005)

Segundo Habashi, Awadalla e Yao (1986), para a produção do fertilizante através de ácido sulfúrico ocorre a formação de fosfogesso e isso é um problema devido ao danos que ele causa ao solo. Junto ao fosfogesso se apresentam radionuclídeos naturais e metais que podem contaminar solos, plantas e o lençol freático, apesar de seu uso na agricultura não atingir concentrações impactantes.

Devida sua pequena demanda em virtude de sua grande produção, é necessária a formação de “pilhas de gesso”, as quais devem ser devidamente avaliadas para que não haja contaminação com o terreno, e não alcance os lençóis freáticos. Para serem feitas as pilhas, o terreno deve ser afastado e bem tratado, com projetos especiais de fundação, reforço estrutural e revestimento com mantas impermeáveis. (CUNHA, 2017)

Eis então um problema: uma empresa que produz fertilizante quer aumentar a sua produção de ácido fosfórico para fabricar mais fertilizantes fosfatados, mas será que vai ter consumidor para esse material? O que fazer com o subproduto da reação, o fosfogesso? Para responder essas perguntas, a empresa deverá realizar uma pesquisa de mercado.

Primeiramente, a empresa vai procurar conhecer o tamanho do mercado de fertilizantes que se encontra, ou seja, tem que descobrir qual é a demanda de fertilizantes. Além disso, é recomendado ver a tendência do mercado: se está tendendo a crescer, está estagnado ou está decaindo.

O mercado de fertilizantes no ano de 2019 foi avaliado em 155,80 bilhões de dólares, estima-se que registre uma taxa de crescimento anual composta de 3,8%, durante o período de 2020 até 2025 e no Brasil foi registrado um crescimento de 2,1% em relação a 2018, ou seja o mercado está crescendo. Para o ano de 2020 a produção de fertilizantes tem estimativas de chegar a 36,6 milhões de toneladas entregues ao mercado. (MORDOR INTELLIGENCE, 2020) (ANDA, 2020)

Como o mercado de fertilizantes tem uma tendência de crescimento e a empresa terá demanda, é necessário começar a pensar no fosfogesso que irá se formar. Como dito Cunha (2017), a demanda de fosfogesso é pequena então é necessário que a empresa pense o que irá fazer com o resíduo adicional que ela

produzirá. Para isso, pode-se realizar uma pesquisa mais tecnológica, como pesquisas que envolvam agregar valor a esse subproduto da indústria para diminuir o descarte em “pilhas de gesso”, ou rotas alternativas de processo de produção do ácido fosfórico para que a formação desse fosfogesso seja evitada.

Para o fosfogesso é possível encontrar algumas aplicações como por exemplo produzir sulfato de sódio a partir dele, utilizar como base para fertilizantes e adicionar aditivos a ele e utilizá-lo na fabricação de tinta ecológica. (KHALESS e DHIBA, 2017) (FERREIRA, 2019) (DOMINGOS, 2012)

Recomenda-se que somente após reunir todas essas informações, o pesquisador organizará um relatório desta pesquisa de mercado e a empresa poderá analisar os dados obtidos e tomar a decisão se ela deve ou não deve aumentar a produção de fertilizantes fosfatados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo, foi possível observar a importância da pesquisa de mercado e entender um pouco mais da cadeia produtiva do ácido sulfúrico e do ácido clorídrico. Ainda foi possível conhecer um pouco sobre o setor dos fertilizantes, sua tendência de mercado e seus problemas de resíduos/subprodutos que devem ser devidamente descartados ou destinados a aplicações que agregam valor a ele.

O conteúdo abordado neste trabalho permite a possibilidade posterior em aprofundar os estudos para outras aplicações de ácidos ou realizar uma pesquisa de mercado sobre ácido clorídrico ou sobre o ácido sulfúrico.

REFERÊNCIAS

- Abiclor, (c2020). **Soda Cáustica**. Disponível em: <http://www.abiclor.com.br/> Acesso em: Junho/2020.
- ANDA. **Macro Indicadores**. Disponível em: <http://anda.org.br/estatisticas/>. Acesso em: Junho/2020.
- AZEVEDO, G. C. I., (2015). **Pesquisa de Mercado**. Disponível em: <https://bibliotecas.sebrae.com.br/>. Acesso em: Junho/2020.
- CAMPOS, V. R. (2011). **Ácido Sulfúrico**. (CAS No. 7664-93-9). Revista Virtual de Química; Vol 3, nº 3, 210 - 214. DOI: 10.5935/1984-6835.20110024
- CUNHA, Luiza Gonzaga Sreeldin. **Cenários e desafios da indústria de fertilizantes**. 2017. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- DIÓRIO, Alexandre e ALMEIDA, Ramon Kenned de Sousa. **Processos Industriais Inorgânicos**. Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
- DOMINGOS, Gabriel Estevam. **Tinta ecológica a base de fosfogesso**. Depositante: Ged - Inovação, Engenharia & Tecnologia Ltda Me (br/sp). Procurador: PEZZUOL & ASSOCIADOS MARCAS E PATENTES. BR n. BR 10 2012 012961 2 A2. Depósito: 30 maio 2012. Concessão: 15 set. 2015.
- FERREIRA, Manoel Duarte. **Composição fertilizante à base de fosfogesso**. Depositante: Sulgesso Indústria e Comércio S.a. (br/sc). Procurador: MÁRIO DE ALMEIDA MARCAS E PATENTES SOCIEDADE SIMPLES. BR n. BR 10 2019 013348 1 A2. Depósito: 27 jun. 2019. Concessão: 14 jan. 2019.
- FERREIRA, Manoel Duarte. **Processo de obtenção de fertilizantes granulado a seco à base de fosfogesso**. Depositante: Sulgesso Indústria e Comércio S.a. (br/sc). Procurador: MÁRIO DE ALMEIDA MARCAS E PATENTES SOCIEDADE SIMPLES. BR n. BR 10 2019 013347 3 A2. Depósito: 27 jun. 2019. Concessão: 14 jan. 2020.
- FOGAÇA, J. R. V. **Ácido Sulfúrico**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/>. Acesso em: Junho/2020
- GABETTA, R., (2011). **O caminho entre a pesquisa na bancada e a produção em escala industrial**. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/>. Acesso em: Junho/2020.
- HARMSSEN, Jam. **Industrial Process Scale-Up: A Practical Innovation Guide from Idea to Commercial Implementation**. 2º edição. Elsevier, 2019.
- KHALESS, Khaoula; DHIBA, Driss. **Processo para a produção de sulfato de sódio a partir de fosfogesso**. Depositante: Ocp Sa (ma). Procurador: LEONOR MAGALHÃES PERES GALVÃO. BR n. BR 11 2019 001579 5 A2. Depósito: 27 jul. 2017. Concessão: 01 fev. 2018.
- LEONHARDT, C. (2017). **Qual A Diferença Entre Testes De Bancada, Planta-piloto E Industrial?**. Disponível em: <https://srainovadeira.com.br/>. Acesso em: Junho/2020.
- LNBR. **Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos**. Disponível em: <https://lnbr.cnpem.br/>. Acesso em: Junho/2020.

LOUREIRO, F. E. L. *et al.* **Agrominerais/fosfato. In: Rochas & minerais industriais: usos e especificações.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. Parte II. Cap.7. p.141-172.

MANKIW, N. G. **Introdução à Economia.** São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MARTINS, Viviane Galvão e AFONSO, Júlio Carlos. **A odisséia da síntese do ácido sulfúrico.** RQI - Edição Eletrônica nº 6. p 41-54. 3º semestre de 2015. Disponível em: <http://www.abq.org.br/>. Acesso em: Junho/2020

MB CONSULTORES, 1999. **Processos de Obtenção do Ácido Sulfúrico.** Disponível em: <http://h2so4.com.br/>. Acesso em: Junho/2020.

MORDOR INTELLIGENCE. **Mercado de fertilizantes - Participação, crescimento e previsão (2020-2025).** Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/> Acesso em: Junho/ 2020.

MORENO, E. L.; *et al.* **Basicidade e Acidez, da Pré-História aos Dias Atuais.** Rev. Virtual Quim. v.7 n.3. p 893-902. DOI: 10.5935/1984-6835.20150046.

O'BRIEN T.F., *et al.*, **Handbook of Chlor-Alkali Technology.** Springer US (2005). Vol. 1 Fundamentals.

PATEL, N. K., (2013). **Hydrochloric Acid** (p. 121–128). Disponível em: <http://eacharya.inflibnet.ac.in/> Acesso em: Junho/2020

Propeq. (2019). **Como Aumentar A Escala Da Sua Produção Em 3 Etapas.** Disponível em: <https://propeq.com/>. Acesso em: Junho/2020

SANTOMAURO, A. C., (2011). **Ácidos - Demanda cresce e incentiva produção local a investir.** Disponível em: <https://www.quimica.com.br/>. Acesso em junho/2020.

SANTOS, A. G. **Simulação E Avaliação Econômica Da Produção De Ácido Sulfúrico Via Processo De Contato.** Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://clyde.dr.ufu.br/>. Acesso em: Junho/2020

SANTOS, L. R. dos, (c2020). **Química Industrial.** Disponível em: <https://www.infoescola.com/>. Acesso em: Junho/2020.

Sebrae Nacional, (2015). **Entenda o que é uma pesquisa de mercado.** Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/>. Acesso em: Junho/2020.

SHREVE, R. N. & BRINK, JR., J. A. **Indústrias De Processos Químicos.** Tradução de Horacio Macedo. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

SILVA, I. M. C. B. (2012). **Hidróxido de Sódio.** (CAS No. 1310-73-2). Revista Virtual de Química; Vol 4, nº 1, 73 - 82. DOI: 10.5935/1984-6835.20120005

TOLENTINO, N. M. C. e FOREZI, L. S. M. (2014). **Ácido Clorídrico.** (CAS No. 7647-01-0). Revista Virtual de Química; Vol 6, nº 4, p. 1130-1138. DOI: 10.5935/1984-6835.20140072

TWIN, Alexandra, (2019). **Market Research.** Disponível em: <https://www.investopedia.com/>. Acesso em: Junho/2019.