

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL

ILANA CARNEIRO LIMA DA SILVA

**PANORAMA DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES EM ALAGOAS E NO BRASIL:
ASPECTOS HISTÓRICOS, DE PROCESSOS, DE CONTROLE DE QUALIDADE E
AMBIENTAIS**

Maceió – AL
2019

ILANA CARNEIRO LIMA DA SILVA

**PANORAMA DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES EM ALAGOAS E NO BRASIL:
ASPECTOS HISTÓRICOS, DE PROCESSOS, DE CONTROLE DE QUALIDADE E
AMBIENTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Pró-reitoria de Graduação da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção da graduação em Química Tecnológica e Industrial.
Orientadora: Profa. Dra. Simoni Margareti Plentz Meneghetti



Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Instituto de Química e Biotecnologia (IQB)

Av. Lourival de Melo Mota, s/n, Campus A.C. Simões,
Maceió-AL, 57072-970, Brasil.

www.iqb.ufal.br // Tel: (82) 3214-1384/1189



ATA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DE TCC - IQB

1. Data da apresentação do TCC: 26 de agosto de 2019

2. Aluno / matrícula: Ilana Carneiro Lima da Silva

3. Orientador(es) / Unidade Acadêmica:

Simoni Margareti Plenz Meneghetti / IQB

4. Banca Examinadora (nome / Unidade Acadêmica):

Simoni M. Plenz Meneghetti	(Presidente)	Nota: 9,0
André Gustavo Ribeiro Mendonça	(1º avaliador)	Nota: 9,0
Bruna Ezequiel Bernardes Costa	(2º avaliador)	Nota: 9,0
	(3º avaliador)	Nota: —

5. Título do Trabalho: Panorama da Indústria de fertilizantes em Alagoas e no Brasil: aspectos históricos, de processos, de controle de qualidade e ambientais.

6. Local: Sala de aulas do PPGQB / Bloco 13 / IQB

7. Apresentação: Horário início: 9h35	Horário final: 10h05
Arguição: Horário início: 10h05	Horário final: 11h00

8. Nota final: 9,0 (nove inteiros)

9. Justificativa da nota. Em caso de APROVAÇÃO COM RESTRIÇÕES, indicar as principais alterações que devem ser efetuadas no trabalho para que o mesmo venha a ser aprovado.

Em sessão pública, após exposição do seu trabalho de TCC por cerca de 30 minutos, o candidato foi arguido oralmente pelos membros da banca por 55 minutos, tendo como resultado:

☒ APROVADO

() APROVADO COM RESTRIÇÕES – mediante modificações no trabalho que foram sugeridas pela banca como condicional para aprovação.

() NÃO APROVADO.



Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Instituto de Química e Biotecnologia (IQB)

Av. Lourival de Melo Mota, s/n, Campus A.C. Simões,
Maceió-AL, 57072-970, Brasil.

www.iqb.ufal.br // Tel: (82) 3214-1384/1189



Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima determinada, e pelo candidato:

Maceió, 26 de agosto de 2019

Presidente:

Shaffner Peleli

1º Avaliador:

Lucy

2º Avaliador:

Quirino E. B. Costa

3º Avaliador:

Candidato:

Flana Carneiro Lima da Silva

*“Mas Deus prova seu amor para conosco, em que Cristo Jesus morreu por nós, sendo nós
ainda pecadores.”*
Rm 5:8

AGRADECIMENTOS

Não poderia deixar de expressar minha gratidão à Deus por tudo que Ele tem feito, sem Ele, nada seria, nada faria, nem existiria. Obrigada, Jesus!

À minha mãe, por todo amor, apoio e incentivo, por ter sido minha maior motivadora em todo momento.

À minha avó, que não está mais conosco, mas tenho certeza que todas as suas orações e amor contribuíram muito para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu pai, ao meu irmão, sobrinhos, namorado e cunhada por toda compreensão, contribuição e incentivo.

À minha orientadora, Prof. Dra. Simoni, por toda paciência e aprendizado, Deus a recompense muito.

Aos meus amigos, que oraram por mim, me incentivaram, me apoiaram em todos os momentos.

RESUMO

Uma das principais e primeiras atividades conhecidas no mundo é a agricultura, é por meio dela que os primeiros povos puderam aprender formas de sobrevivência, explorando assim, primeiramente a terra em que viviam e, posteriormente terras vizinhas. Com o passar dos anos, fez-se necessário o aperfeiçoamento dessas técnicas e com o alto crescimento populacional, os recursos que antes eram suficientes, se tornaram escassos. Para atender a crescente demanda desses recursos, em especial dos alimentos, fez-se necessário a utilização de substâncias que suprissem essa escassez, como é o exemplo do uso dos fertilizantes. Eles são aplicados ao solo para fornecer um ou mais nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Sua produção se origina na mineração e de alguns derivados do petróleo e alguns subprodutos. Em suas composições podemos ter o nitrogênio, fósforo e potássio, sendo estes os principais, podem apresentar ainda, cálcio, enxofre, zinco, manganês, cobre, entre outros.

Apesar do grande avanço nessa área, estudos recentes observam que ainda há oportunidades de melhoria, devido a perdas na aplicação, matérias-primas, composição ou no processo produtivo. É muito importante a redução do impacto ambiental e também a participação no mercado internacional e nacional da indústria de fertilizantes, devido às importações e oscilações econômicas, pois seu preço depende diretamente do mercado internacional.

Por tudo isso, este trabalho tem por objetivo apresentar o panorama geral da indústria de fertilizantes no estado de Alagoas e no Brasil, abordando pontos relativos à história da agricultura, os processos químicos e controle de qualidade, evolução e influência na economia brasileira e impactos no meio ambiente.

Palavras-chaves: fertilizantes, processo, nutrientes, indústria, controle de qualidade.

ABSTRACT

One of the main and first known activities in the world is agriculture, it is through it that the first people could learn ways of survival, exploring firstly the land in which they lived and later neighboring lands. Over the years, it was necessary to improve these techniques and with the high population growth, the resources that were enough before became scarce. In order to meet the growing demand for these resources, especially of food, it was necessary to use substances that would supply this shortage, such as the use of fertilizers. They are applied to the soil to provide one or more nutrients essential for plant growth. Its production begins in mining and some oil derivatives and some byproducts. In its composition the main are nitrogen, phosphor, and potash, besides secondary elements like calcium, sulfur, zinc, manganese, copper among others.

Even though the good results of researchers, recent studies observe that there are still opportunities for improvement, because of losses in application, composition, raw materials, or productive process. It is very important reduction of the environmental impact, and also the participation in the international and national Market of fertilizers, due to imports and economic fluctuations, because the fertilizer's price depends directly on the price of the international market.

Therefore, this academic work aims to present the overview of the fertilizer industry in the state of Alagoas and Brazil, addressing points related to the history of agriculture, chemical processes and quality control, evolution and influence on the Brazilian economy and impacts on the environment.

Keywords: fertilizers, process, nutrients, industry, quality control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do processo de produção de ácido fosfórico pela tecnologia dihidrato ..	25
Figura 2 - Gráfico da entrega de fertilizantes por estado no Brasil - participação percentual em 2017	37
Figura 3 - Cadeia produtiva da indústria de fertilizantes.....	40
Figura 4 - Formas de P_2O_5 presentes na rocha	42
Figura 5 - Processo de produção de SSP	43
Figura 6 - Lavadora de gases do tipo Venturi	44
Figura 7 - Processo de granulação de fertilizantes	45
Figura 8 - Etapas de formação do grânulo	46
Figura 9 - Demonstração de um secador	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de fertilizantes potássicos	28
Tabela 2 - Principais funções dos micronutrientes para as plantas	30
Tabela 3 - Faturamento líquido da indústria química brasileira por segmento	31
Tabela 4 - Mercado brasileiro de fertilizantes	35
Tabela 5 - Consumo de fertilizantes por nutrientes por estado/região	38
Tabela 6 - Exportações de nutrientes por estado/região	39

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	DAP
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Sulfato de amônio
a.C.	Antes de Cristo
Abiquim	Associação Brasileira da Indústria Química
AFRMM	Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante
AL	Alagoas
Al_2O_3	Óxido de Alumínio
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
B	Boro
BA	Bahia
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNDESPar	BNDES Participações S.A.
BPF	Óleo Combustível Derivado do Petróleo de Baixo Ponto de Fluidez
C	Carbono
Ca	Cálcio
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	SSP
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$	Flúor-apatita
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2\text{CaCO}_3$	Flúor-apatita carbonatada
$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$	Flúor-apatita
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Fosfato de cálcio
CaO	Óxido de Cálcio
$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Óxido silicato de cálcio
CaSiF_6	Fluorsilicato de silício
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de cálcio dihidratado
CE	Ceará
Cepea	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
Cl	Cloro
CNA	Citrato Neutro de Amônio
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
Co	Cobalto
CO	Monóxido de Carbono

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Ureia
CO_2	Dióxido de Carbono
CRA	Companhia Riograndense de Adubos
Cu	Cobre
DAP	Fosfato de Diamônio
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral Econômico de Alagoas
EDTA	Ácido etilenodiaminotetracético
Esalq	Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
Fe	Ferro
Fe_2O_3	Óxido de Ferro III
g	grama
GO	Goiás
H_2	Hidrogênio
H_2O	Monóxido de Hidrogênio ou Água
H_2PO_4^-	Dihidrogenofosfato
H_2SiF_6	Ácido fluossilícico
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
H_3PO_4	Ácido Fosfórico
HF	Ácido fluorídrico
HNO_3	Ácido Nítrico
HPO_4^{2-}	Hidrogenofosfato
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICC	Indústria Carboquímica Catarinense
IFA	International Fertilizer Association
IMA	Instituto do Meio Ambiente
IPNI	International Plant Nutrition Institute
K	Potássio
K_2O	Óxido de Potássio
K_2SO_4	Sulfato de potássio
$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$	Sulfato de potássio e magnésio

KCl	Cloreto de potássio
kg	Quilo
KNO ₃	Nitrato de potássio
KOH	Hidróxido de potássio
MA	Maranhão
MAP	Fosfato de Monoamônio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MG	Minas Gerais
Mg	Magnésio
mL	Mililitros
mm	Milímetro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
mol.L ⁻¹	Concentração molar
MOP	Muriato de potássio
MPMFs	Melhores Práticas de Manejo de Fertilizantes
MPs	Matérias-primas
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NaCl	Cloreto de sódio
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Cátion Amônio
NH ₄ H ₂ PO ₄	MAP
NH ₄ NO ₃	Nitrato de amônio
Ni	Níquel
NO ₃ ⁻	Ânion Nitrato
NPK	Nitrogênio-Fósforo-Potássio
O ₂	Oxigênio
P	Fósforo
P.A.	Padrão Analítico
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
P ₄	Fósforo elementar
P ₄ O ₁₀	Anidrido fosfórico (pentóxido de fósforo)

PE	Pernambuco
pH	Potencial hidrogeniônico
PI	Piauí
PIB	Produto Interno Bruto
PNFCA	Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola
R ₂ O ₃	Óxido de Alumínio e Ferro
RN	Rio Grande do Norte
RS	Rio Grande do Sul
S	Enxofre
S/A	Solúvel em água
SC	Santa Catarina
Se	Selênio
SE	Sergipe
SEPLAN	Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento
Si	Silício
SiF ₄	Fluorsilícico
SiO ₂	Sílica
SO ₄ ²⁻	Ânion Sulfato
SOP	Sulfato de potássio
SP	São Paulo
SSP	Superfosfato Simples
t	Tonelada
TSP	Superfosfato Triplo
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
USP	Universidade de São Paulo
UV/Vis	Ultravioleta visível
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA.....	17
3. COMPOSIÇÃO DOS FERTILIZANTES.....	19
3.1. Nitrogênio	21
3.2. Fósforo	24
3.3. Potássio	27
3.4. Enxofre	29
3.5. Cálcio.....	29
3.6. Magnésio.....	29
3.7. Micronutrientes.. ..	30
4. INDÚSTRIA QUÍMICA E O SEGMENTO DE FERTILIZANTES	30
4.1. Projeções e perspectivas de consumo de fertilizantes no Brasil e em Alagoas ..	34
5. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	40
5.1. Cadeia produtiva	40
5.2. Processo de produção do SSP e NPK	41
5.3. Controle de qualidade na indústria de fertilizantes.....	48
6. ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES	52
CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios é reconhecida a importância da agricultura para os seres humanos. Foi por meio dela que se desenvolveu as primeiras formas de organização em sociedade, a própria economia e a luta pela sobrevivência. Com o passar dos anos, com o crescimento da população e o solo desgastado, faz-se surgir a necessidade de algo que ajudasse a suprir a demanda alimentar crescente (MAZOYER, M.; ROUDART, L., 2010).

Com isso, um dos pilares da agricultura é a indústria de fertilizantes que é de grande relevância para o mundo inteiro. Fertilizantes são materiais utilizados para suprir a necessidade de nutrientes no solo. Sem eles, o mundo poderia produzir somente cerca da metade dos alimentos básicos (MAZOYER, M.; ROUDART, L., 2010).

Esses nutrientes são chamados de macronutrientes e micronutrientes, sendo os macronutrientes divididos em primários e secundários. Todos são essenciais às plantas de modo que a planta não pode completar seu ciclo de vida na ausência desses. São importantes no seu crescimento e desenvolvimento na dosagem correta e sendo específico para determinado tipos de plantações, ou seja, não é obrigatório o uso de todos os nutrientes em uma mesma planta, isso pode ser definido através de estudos do solo e da plantação unindo com as técnicas de manejo. São de extrema importância para indústria, sendo indicado pela garantia dos macronutrientes primários, NPK, que se refere ao nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, por exemplo, um fertilizante 2-8-8, implica dizer que ele possui 2% de N, 8% de P e 8% de K, sendo também chamados de nitrogenados, fosfatados e potássicos (REETZ, 2017).

Há dois importantes processos de fabricação que ocorrem dentro da indústria de fertilizantes, como a fabricação do superfosfato simples que é um dos produtos mais utilizados na indústria de fertilizantes fosfatados apesar do seu baixo teor de fósforo comparado ao superfosfato triplo, e a da granulação do fertilizante. Dentro da indústria, é de muita importância a sistemática de um laboratório de Controle de Qualidade, a partir dele, pode-se determinar através de análises físico-químicas os teores dos nutrientes, granulometria, dureza do grão, entre outras análises.

De acordo com a projeção da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), estima-se que a população mundial irá atingir 9 bilhões de pessoas no ano de 2050, e em relação à agricultura mundial, a produção agrícola global em 2050 deverá ser 60% maior do que em 2005/2007. Mais de 48% dos 7,7 bilhões de pessoas hoje estão vivendo

devido ao aumento da produção das culturas obtido pela aplicação de fertilizantes nitrogenados, por exemplo (FONTANARI, G.; PEREIRA, L., 2019).

De acordo com o cenário da indústria química no Brasil do século XXI, a indústria de fertilizantes apresenta forte influência no mercado nacional, tanto através do consumo quanto entrega. Embora tenha muitos desafios a serem superados como, as elevadas importações principalmente de fosfatados e os impactos ambientais, é um setor de tendência ao crescimento devido ao alto consumo de alimentos, em especial com o aumento da população (AMARAL, G. F., GUIMARÃES, D. D., 2018).

Portanto, este trabalho tem por objetivo apresentar o panorama geral da indústria de fertilizantes no estado de Alagoas e no Brasil, abordando pontos relativos à história da agricultura, os processos químicos e controle de qualidade, evolução e influência na economia brasileira e impactos no meio ambiente.

2. DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA

Durante a maior parte de sua existência, o ser humano retirou da natureza os produtos necessários à sua alimentação, garantindo assim, a sua reprodução biológica. A caça, a pesca e a coleta de frutos, raízes, cereais, entre outros, foram as principais atividades humanas até que a agricultura se consolidasse. Há diversas versões sobre o surgimento da agricultura, pois seu período antecede a escrita. Porém, se pode admitir que ela surgiu em diversos locais do mundo possivelmente em várzeas fluviais e nos vales onde habitavam civilizações muito antigas. A agricultura surge, portanto, quando uma determinada sociedade reúne uma série de condições historicamente suficientes para tirar proveito das potencialidades de um meio natural determinado. Há menos de 12 mil anos a.C. os povos do período neolítico, conhecido como caçadores-coletores, perceberam que determinados grãos utilizados na alimentação podiam ser novamente enterrados, semeados e voltariam a reproduzir plantas idênticas às que lhe originaram. Porém, quando se esgotavam os recursos da região, os ancestrais caçadores mudaram para locais de conservação, tanto em produtos vegetais quanto animais e devido à riqueza da região escolhida, eles permaneciam por várias estações (MAZOYER, M.; ROUDART, L., 2010).

As primeiras formas de agricultura eram praticadas próximas aos rios, onde a terra era fértil e não era exigida uma técnica aprimorada para o cultivo. Há registros históricos que afirmam que as áreas agrícolas eram localizadas em vales nos rios Nilo do Egito, nos rios Eufrates e Tigre na Mesopotâmia que hoje é o Iraque e nos rios Azul e Amarelo na China (OLIVEIRA, 1989).

A necessidade fez com que houvesse uma organização no plantio, as plantas passaram a ser cultivadas próximas umas das outras, facilitando a sua colheita assim que os frutos estivessem maduros permitindo desta forma uma produtividade maior de cultivo de plantas do que em seu habitat original, ocorrendo o aprimoramento das técnicas de cultivo e criação de animais, fazendo com que desenvolvessem as primeiras aldeias e comunidades. O crescimento populacional e o uso contínuo do solo trouxeram dificuldades para agricultura da época, a quantidade de alimento não estava sendo suficiente e o solo estava carente de nutrientes, e mesmo que mudassem de local, com o tempo o problema se repetia (MAZOYER, M.; ROUDART, L., 2010).

Houve então a necessidade de melhorar a terra com o uso de excrementos animais, o uso de ferramentas, começando, portanto, a se instalarem permanentemente nos locais. A passagem de uma economia baseada sobre a caça e a coleta para uma economia agrícola foi uma transformação de longa duração, em que as condições para aquela mudança surgiram

anteriormente a mesma e com uma ordem não pré-definida. Aquela transformação durou milhares de anos e possibilitou a formação de todo um acervo de conhecimentos culturais que foi acumulado e transmitido de geração a geração e apropriado por todos os membros da família e/ou do bando (MAZOYER, M.; ROUDART, L., 2010).

Outro marco para a agricultura foi a considerada segunda revolução agrícola ocorrida a partir da revolução industrial. A partir daí, ocorreu mais um grande avanço para agricultura, foi adotado o sistema rotativo de culturas e mantendo o solo sempre fértil, evitando desgaste do terreno. Houve a substituição do sistema extensivo para o intensivo, o que possibilitou a produção em larga escala e mais produtividade. E ainda, possibilitou a mecanização agrícola, a máquina, portanto, facilitou a distribuição de sementes mais eficiente. (OLIVEIRA, 1989)

Com o processo de industrialização das sociedades possibilitou-se a transformação do espaço geográfico no meio rural, a partir da inserção de maiores aparatos tecnológicos na produção agrícola permitindo uma maior mecanização do campo. Essa transformação materializou-se a partir do fornecimento de insumos da indústria para a agricultura, tais como maquinários, fertilizantes e objetos técnicos em geral. Essa revolução agrícola contemporânea que ocorre na metade do século XX, em que há elevada motorização e mecanização, seleção de variedades de plantas e de raças de animais com forte potencial de rendimento, ampla utilização de fertilizantes e de alimentos concentrados para o gado. Paralela à essa revolução, ocorre a Revolução Verde, mais precisamente após a Segunda Guerra Mundial e essa revolução consistia em um conjunto de medidas e promoção de técnicas baseado na introdução de melhorias genéticas nas plantas e na evolução dos aparatos de produção agrícola para ampliar, sobretudo, a produção de alimentos, ou seja, era contrária à ideia de motorização e mecanização, mas se baseava na seleção de variedades de bom rendimento potencial de arroz, trigo, milho, soja, entre outras culturas de exportação; como também da ampla utilização de fertilizantes, produtos de tratamento e um melhor controle de água para irrigação e drenagens (MAZOYER, M.; ROUDART, L., 2010).

Esse desenvolvimento da grande indústria química e mecânica no século XX fizeram com que as condições de produção em massa dos insumos agrícolas estivessem presentes. As indústrias investiram cada vez mais intensamente nos meios de produção da agricultura: tratores, arados, grades, colheitadeiras, adubos químicos, ração animal, venenos, energia, etc. Ao mesmo tempo que produziu insumos para agricultura, a indústria transformou os alimentos, condicionando e distribuindo uma parte crescente da produção agrícola. Houve avanço também dos meios de transporte de armazenagem e conservação dos produtos agrícolas. Um mercado nacional e internacional relativamente unificado se formou, possibilitando a concorrência de

produtos oriundos de regiões distantes e diferentes (AMARAL, G. F., GUIMARÃES, D. D., 2018).

A agricultura brasileira tem uma trajetória longa e crescente de relação com o comércio internacional. A competição com o mercado internacional tem sido um dos determinantes do padrão de crescimento do setor, impondo uma necessidade de ganhos de produtividade e eficiência no processo produtivo. Em função disso, os principais desafios colocados para o setor atualmente dizem respeito à diminuição da assimetria das relações comerciais, ao apoio à reestruturação e modernização e à melhoria da logística e da infraestrutura (AMARAL, G. F., GUIMARÃES, D. D., 2018).

3. COMPOSIÇÃO DOS FERTILIZANTES

Assim como os seres humanos, mas de uma maneira mais simples, as plantas necessitam de água e sais minerais para sua manutenção celular e seu crescimento. Como são seres que produzem o seu próprio alimento, elas por meio do processo de fotossíntese transformam a energia luminosa em energia química a partir do dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e minerais em compostos orgânicos liberando oxigênio (O_2) (RAVEN, 1996).

A nutrição de plantas envolve a absorção de todos os materiais brutos do ambiente necessários para seus processos bioquímicos essenciais à distribuição desses materiais dentro da planta e à sua utilização no metabolismo e crescimento.

Inicialmente, químicos e botânicos não sabiam se determinadas substâncias absorvidas pelas plantas eram apenas impurezas ou constituintes necessários para funções essenciais. Ao longo dos anos, estudos comprovaram que desses elementos químicos que são absorvidos do ambiente, alguns são considerados essenciais para as plantas. Assim, a planta não completará seu ciclo de vida na ausência desse elemento químico e o mesmo não pode ser substituído por nenhum outro elemento. Estes precisam ser fornecidos pelo solo ou por resíduos de plantas e de animais e/ou outras fontes orgânicas ou por fertilizantes minerais (RAVEN, 1996).

Três desses nutrientes importantes, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) são usados em maior quantidade e são fornecidos pelo ar e pela água. Os outros 14 nutrientes são elementos minerais obtidos do solo pelas raízes das plantas, são eles: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), cloro (Cl), boro (B), ferro (Fe) e níquel (Ni) (REETZ, 2017).

As análises químicas dos nutrientes inorgânicos essenciais são de grande importância para a agricultura, pois verifica o estado nutricional das plantas e a necessidade de aplicação de fertilizantes. São por meio delas que são determinadas as quantidades relativas desses

elementos necessários para o crescimento normal das mais variadas espécies vegetais. É possível ainda verificar possíveis deficiências nutricionais potenciais em rebanhos que consomem plantas específicas (REETZ, 2017).

As quantidades dos nutrientes que são necessárias e que podem ser adicionadas pelos fertilizantes e esterco dependem de dois fatores:

- Da exigência de o nutriente para uma cultura atingir uma meta desejada de produtividade;
- Do suprimento do nutriente pelo solo, o qual pode ser estimado por métodos de diagnose.

Com base numa faixa usual nas plantas, os nutrientes essenciais podem ser divididos em macronutrientes que ainda podem ser primários ou secundários, e micronutrientes. Os macronutrientes primários, que são três, são requeridos em grandes quantidades: nitrogênio (N), fósforo (P) expresso na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5) e potássio (K) expresso na forma de óxido de potássio (K_2O). Os macronutrientes secundários, também são três, são exigidos em menor quantidade que os macronutrientes, porém, não são menos importantes, são eles, enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Os outros nutrientes importantes para as plantas, são os micronutrientes: ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cloro (Cl), boro (B), e níquel (Ni). Cobalto (Co) e silício (Si) são requeridos apenas para algumas espécies de plantas (RAVEN, 1996).

O nitrogênio, como ocorre na forma de gás não reativo precisa ser convertido em formas quimicamente ativas, como amônio e nitrato, através de microrganismos no solo para então ser absorvido pelas plantas. O fósforo também não se encontra em forma disponível para as plantas, e apesar de ocorrer em grandes quantidades nos minerais do solo e em matérias orgânicas, é necessária sua conversão em íons de fosfato inorgânicos ($H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-}). O potássio (K) é absorvido na sua forma iônica (K^+) nas partículas do solo e da matéria orgânica e ele exerce papel muito importante no transporte de água e outros íons através das membranas das células. O enxofre é absorvido na sua forma de sulfato (SO_4^{2-}), ele é encontrado em matérias orgânicas e em alguns minerais de argila. O cálcio e o magnésio são absorvidos como cátions e são disponíveis no solo. O Ca é importante como componente estrutural da parede celular e dos tecidos de plantas enquanto o Mg tem uma função maior na fotossíntese. Os micronutrientes são importantes para as plantas em pequenas quantidades (FAQUIN, 2005).

Como a nutrição das plantas é de extrema importância, os fertilizantes minerais foram desenvolvidos para complementar os nutrientes já disponíveis no solo e para suprir altas exigências das culturas. Eles são classificados quanto ao seu modo de produção, podendo ser:

natural (encontrado na natureza ou apenas processado) ou sintético (manufaturado por processos industriais); quanto ao número de nutrientes, podendo ser simples (seja para macronutrientes primários, secundários ou micronutrientes) ou composto (com dois ou três nutrientes); quanto ao tipo de combinação, podendo ser mistos (mistura física de dois ou mais nutrientes simples ou fertilizantes compostos) ou complexos (dois ou mais nutrientes combinados quimicamente); quanto à forma física, podendo ser sólido (pó, granulado, farelado ou perolado), líquido (soluções ou suspensões) e gasoso (líquido sob pressão); quanto ao modo de ação, sendo rápida (disponível em forma solúvel em água e ação imediata) ou lenta (necessária transformação em forma solúvel) (REETZ, 2017).

A fórmula do fertilizante sempre é baseada na concentração dos três macronutrientes primários, podendo ser expressa nas formas do óxido (P_2O_5 e K_2O) ou na forma elementar (N, P e K). Por exemplo, se uma fórmula de fertilizante é 2-28-8, significa que possui 2% de N, 28% de P_2O_5 e 8% de K_2O (REETZ, 2017).

3.1 Nitrogênio

O nitrogênio é um nutriente essencial para a planta e ele é responsável por seu crescimento e desenvolvimento dos tecidos vivos. Pode ser absorvido na forma de nitrato, amônia e ureia, sendo a forma nitrato a mais manifesta na agricultura. Sob condições climáticas favoráveis, apresenta efeitos rápidos e evidentes resultando em alta produtividade (REETZ, 2017).

A amônia (NH_3) é a principal matéria-prima dos fertilizantes nitrogenados. Aproximadamente 90% do consumo de amônia no Brasil é destinada a indústria de fertilizantes. É um gás em condições normais de temperatura e pressão e, quando submetido à baixa temperatura, transforma-se em líquido. Cerca de 95% dos fertilizantes nitrogenados são derivados da amônia, já que apresenta 82% de N. Eles podem ser reformulados dando aos agricultores uma ampla gama de nitrogenados e melhor atendendo as necessidades logísticas, alguns deles são:

- Amônia + oxigênio → ácido nítrico + amônia → nitrato de amônio
→ ácido nítrico + carbonato de cálcio → nitrato de cálcio
→ ácido nítrico + rocha fosfática → nitrofosfato
- Amônia + ácido sulfúrico → sulfato de amônio
- Amônia + ácido fosfórico → fosfato de monoamônio (MAP) ou fosfato de diamônio (DAP)

- Amônia + dióxido de carbono $\rightarrow$ ureia $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$
- Amônia + nitrato de amônio + ureia + outros produtos + água $\rightarrow$ fertilizantes nitrogenados líquidos (FERREIRA, 2002).

Seguem as características destes e outros fertilizantes nitrogenados (REETZ, 2017):

- Aquamônia (20 a 24% de N): é produzida através da mistura de amônia com água. Esta forma pode ser adicionada à água de irrigação como uma forma alternativa de aplicação.
- Sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ (21% de N): é obtido da fabricação do aço, nylon e outros processos que utilizam o ácido sulfúrico. Ele é frequentemente usado como um carreador para a aplicação de herbicidas, aumentando a eficácia destes. Ele também contém 24% de S, tornando-o uma alternativa de uso quando se necessita fornecer este nutriente.
- Nitrofosfato (pode apresentar diferentes concentrações): é obtido através do tratamento de fosfato de rocha com ácido nítrico ao invés de ácido sulfúrico. Tem a vantagem de não produzir o sulfato de cálcio (gesso) como subproduto que se constitui algumas vezes em um problema de descarte. Gera dois produtos adicionais no processo, nitrato de cálcio e nitrato de cálcio e amônio. Os nitrofosfatos podem ser misturados com outros nutrientes para formar grânulos uniformes de fertilizantes contendo múltiplos nutrientes.
- Nitrato de amônio (NH_4NO_3) (33 a 34% de N): foi inicialmente produzido nos anos 1940 como produto de munição. Ele é produzido a partir de uma reação do gás amônia com ácido nítrico. A solução de concentração elevada (95 a 99% de NH_4NO_3) é despejada de uma torre e solidifica na forma de pérolas, que pode ser usado como fertilizante ou transformada em nitrato de amônio granulado pela pulverização da solução concentrada em pequenos grânulos em um tambor rotativo. Uma vez que metade do nitrogênio está na forma de amônio, ele pode ser absorvido diretamente pelas raízes, ou gradualmente convertido à forma de nitrato e é imediatamente disponível para as plantas.
- Amônia anidra (NH_3) (82% de N): é o fertilizante nitrogenado mais concentrado. Como a fonte mais comum para se fabricar amônia seja o gás natural, suas fábricas geralmente ocorrem próximas ao suprimento de gás natural. Seu transporte pelo mundo pode ser através de dutos, caminhões, ferrovias e navios, como um líquido sobre pressão e/ou refrigeração para mantê-la abaixo do ponto de ebulição (-33°C , -27°F).

A amônia foi sintetizada em laboratório pelo químico Fritz Haber (1869-1934) que combinou o nitrogênio (N) do ar com o hidrogênio (H) à altíssimas pressões e calor incandescente. Era um processo que apresentava muitos problemas para indústria química, pois só era possível produzir um copo de amônia a cada duas horas, porém para o governo alemão

era crucial sua produção, pois a partir dela obtinha-se o ácido nítrico e como derivado os nitratos explosivos, o que proporcionava a redução de custos na obtenção de explosivos utilizados em grande escala durante as batalhas da Primeira Guerra Mundial. O químico foi colocado à serviço do governo alemão, porém em segredo mesmo após a guerra e em 1918 seus estudos lhe renderiam um Prêmio Nobel de Química. O engenheiro Karl Bosch (1874-1940) tornou o processo de síntese da amônia mais viável economicamente e industrialmente, solucionando problemas referentes às altas temperaturas, pressões e catalisador requeridos pela reação, sendo este processo adotado pela BASF em 1913. Também recebeu o Prêmio Nobel em Química em 1931. Este experimento se tornou um marco na indústria de fertilizantes nitrogenados, sendo algumas vezes considerado o desenvolvimento tecnológico mais importante do século XX. (FERREIRA, 2002)

De acordo com a IFA (International Fertilizer Association), a produção global de fertilizantes ligados à amônia foi de 137 milhões de toneladas em 2014. Estudiosos afirmam que sem os fertilizantes nitrogenados seria produzido 48% a menos dos alimentos (REETZ, 2017).

Outro fertilizante nitrogenado de grande importância é a ureia, sendo o mais utilizado entre os nitrogenados nos anos 2000, pois com 46% de N é considerado o mais comum e barato, tornando-o mais econômico em transportes em grandes distâncias. Sua produção envolve reação controlada do gás amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2) com temperatura e pressão elevados. A ureia liquefeita é transformada em esferas com equipamento de granulação especializado ou endurecida em uma pérola sólida enquanto cai de uma torre. Por ser prontamente dissolvida em água, quando aplicada à superfície do solo se movimenta com a água de chuva ou irrigação para dentro do solo, o que a torna excelente fonte de N para atender as necessidades das plantas. Dentro do solo, a ureia movimenta-se livremente com a água do solo até ser hidrolisada para formar NH_4^+ (REETZ, 2017).

Um marco importante para essa classificação de nutriente ocorreu em meados de 1970, quando a crise de petróleo atingiu a indústria de fertilizantes e, vários produtores de amônia e ureia fecharam suas fábricas e passaram a adotar o gás natural ou nafta como fonte de petroquímicos mais rentáveis que os fertilizantes. Porém, felizmente a decomposição dos hidrocarbonetos no gás natural tornou o processo economicamente mais viável, gerando um salto em termos de produção agrícola minimizando os efeitos da falta de alimentos em alguns países (FERREIRA, 2002).

3.2 Fósforo

O fósforo apresenta um papel essencial na planta, pois age na captura e transferência de energia para as ligações químicas na fotossíntese, age ainda no crescimento das raízes, é necessário na divisão celular e aumenta a qualidade dos grãos acelerando o processo de maturação. É ainda importantíssimo no processo de utilização de energia pelas plantas (CUNHA, 2017).

Os primeiros fertilizantes fosfatados tinham como matérias-primas ossos de animais, sendo posteriormente fabricados a partir de rocha fosfática moída que ao receber ácido sulfúrico convertia o fósforo em material solúvel em água, o produto gerado era chamado de superfosfato simples (SSP) com concentração de 16 a 20%. Esse fósforo é usualmente expresso na forma de óxido (P_2O_5). Apesar dessa forma em realidade não existir no material fertilizante, ela tem sido adotada como uma forma padrão para comparação entre fertilizantes fosfatados. O excesso leva a um crescimento excessivo da planta e como consequência sua morte e decomposição dos microrganismos, criando uma zona hipóxida. Por isso a importância de melhores práticas de manejo, tendo como objetivo minimizar as perdas para o meio ambiente e aumentar a eficiência de uso para o crescimento das culturas (REETZ, 2017).

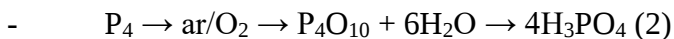
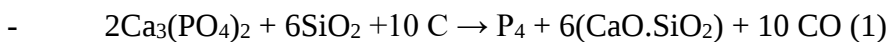
A primeira planta industrial de fosfatados surgiu na Inglaterra, em 1843 e nos 30 anos seguintes se espalhou pela Europa e Estados Unidos. Porém, devido ao baixo teor de fósforo do superfosfato simples, começou-se a utilizar ácido fosfórico na Europa em 1870, chegando a concentrações de duas a três vezes maior, sendo chamados de superfosfatos triplos (TSP) (CUNHA, 2017).

Por serem de mais fácil produção e de menor custo de investimento, os superfosfatos simples continuaram dominando o mercado mundial de fertilizantes fosfatados até 1950. A importância do superfosfato triplo como matéria-prima teve importância a partir de 1930, porém, seu desenvolvimento em maior escala se deu a partir de 1950 (CUNHA, 2017).

A rocha fosfática é matéria-prima essencial na fabricação de fosfatados, cerca de 85% dos fertilizantes fosfatados são obtidos pela reação de rocha fosfática com ácido sulfúrico ou indiretamente a partir do ácido fosfórico produzido utilizando-se ácido sulfúrico. A solubilização também pode ser obtida a partir da utilização de outros ácidos, como ácido nítrico, muito utilizado na Europa na produção de fertilizantes multinutrientes, a partir do nitrofosfato, ou ácido clorídrico, apesar de não ser economicamente viável sendo seu uso excepcional (CUNHA, 2017).

Essa reação é necessária devido as rochas fosfáticas não apresentarem fósforo na forma assimilável para as plantas, por meio desse processo é gerado compostos que são disponíveis

para absorção das plantas. Aproximadamente $\frac{3}{4}$ da produção de P_2O_5 é baseada no ácido fosfórico que pode ser produzido por via úmida e por via térmica. Na via térmica, acontece o aquecimento direto da rocha, ustulação do fósforo e hidratação do óxido obtido, segundo as reações 1 e 2:



A via úmida é obtida pela digestão ácida da rocha e posterior filtração. Além do ácido sulfúrico, pode-se utilizar o ácido cítrico ou o ácido clorídrico, porém o ácido sulfúrico ainda é o mais utilizado devido ao baixo custo de produção e o baixo efeito de corrosão. A concentração do H_2SO_4 utilizado é de 98%. A rocha fosfática empregada é a ígnea, mais utilizada no Brasil. Na maior parte das jazidas nacionais predomina o minério tipo flúor-apatita ($Ca_{10}F_2(PO_4)_6$). As rochas são moídas e concentradas através dos processos de flotação para aumentar a concentração de P_2O_5 (FERREIRA, 2002).

O esquema do processo de produção está representado na Figura 1:

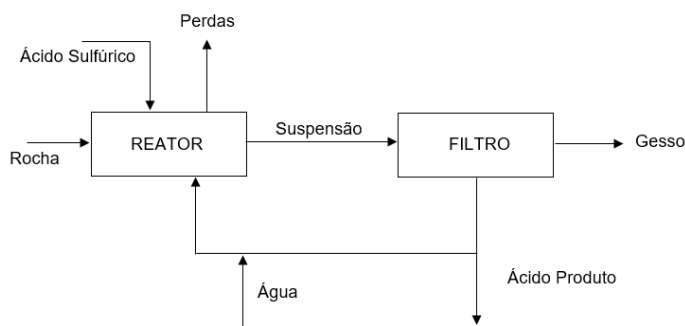
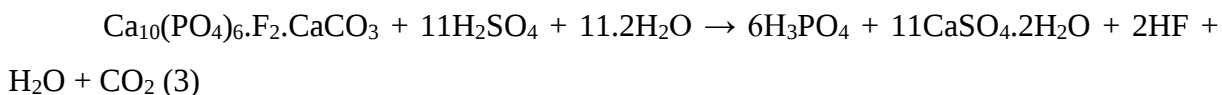
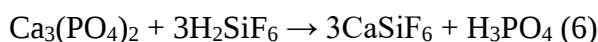
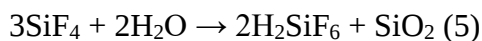
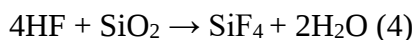


Figura 1 - Etapas do processo de produção de ácido fosfórico pela tecnologia dihidrato (FERREIRA, 2002)

De acordo com a Figura 1, a rocha fosfática em forma de polpa sofre um ataque de uma mistura de ácido sulfúrico e ácido fosfórico reciclado no reator. O cálcio liberado reage com o íon sulfato formando fosfogesso, sendo uma reação exotérmica, é necessário o controle de temperatura removendo o calor. Para separação do gesso do ácido fosfórico, o efluente do reator é enviado a um filtro tipo rotativo que possui dois setores de lavagem torta onde ocorre a separação. Parte do ácido fosfórico volta para o reator e a outra parte é enviada para clarificação onde são decantados os cristais que passam pelo filtro. Após a clarificação, o ácido fosfórico é evaporado para os parâmetros de P_2O_5 desejado. A reação está representada em 3 (FERREIRA, 2002):



As reações secundárias estão representadas em 4, 5 e 6:



Pesquisadores afirmam que quem produz ácido fosfórico é antes de tudo, um produtor de gesso. Na média, para cada t de ácido produzido, tem-se cerca de 4,5 a 5 t de gesso (CUNHA, 2017).

O suprimento mundial de rocha fosfática é praticamente de responsabilidade de três países: os Estados Unidos, o Marrocos e a China, que são responsáveis por cerca de dois terços do suprimento mundial de rocha fosfática. O Marrocos, isoladamente, participa com um terço do comércio mundial de rocha fosfática. Os três países mencionados respondem pela metade da produção mundial de fertilizantes fosfatados. Os maiores consumidores são China e Estados Unidos, acompanhado de Índia e Brasil, somando 68% do consumo mundial de rocha fosfática (CUNHA, 2017).

Em geral, os fertilizantes fosfatados variam em concentração e processo de fabricação, os principais são (REETZ, 2017):

- Superfosfato simples (SSP) ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$): além de ser fonte de 14 a 18% de fósforo na forma de óxido (P_2O_5) solúvel em água, também é fonte de outros dois nutrientes essenciais para as plantas, de cálcio que varia de 18 a 21% e de enxofre que varia de 11 a 12%. Seu principal componente é o fosfato monocálcico. Sua utilização diminuiu com o passar dos anos, devido ao surgimento de outros fertilizantes com um teor de fósforo superior;
- Superfosfato triplo (TSP) ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$): ou fosfato monocálcico assim como o SSP vem sendo substituído por outros fertilizantes em anos recentes. Sua concentração varia de 38 a 40% de P_2O_5 . Ele apresenta a maior concentração de P nos fertilizantes secos que não contém N, e o P é mais de 90% solúvel em água. É muito utilizado em culturas leguminosas onde fertilizantes nitrogenados não são necessários;
- Fosfato de monoamônio (MAP) ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$): fonte de maior concentração de fósforo entre os fertilizantes sólidos, apresentando 48 a 61% de P_2O_5 , é fonte ainda de nitrogênio, com variação de 10 a 12%, o mais comumente fabricado é o 11-52-0. Ele é fabricado através da neutralização parcial do ácido fosfórico pela amônia. O MAP é altamente solúvel e rapidamente torna-se disponível para as plantas como NH_4^+ e H_2PO_4^- na solução do solo. O

MAP também pode ser encontrado na forma de pó, chegando a ter concentração de 61% de P_2O_5 quando fabricado com formas mais puras de ácido fosfórico. É usado em suspensões ou fertilizantes líquidos claros, ou aplicado via adubação foliar ou adicionado à água de irrigação;

- Fosfato de diamônio (DAP) $((NH_4)_2HPO_4)$: é o fosfatado mais amplamente utilizado no mundo, pois tem concentração relativamente alta dos dois nutrientes comumente necessários, apresentando forma 18-46-0. É também de fácil manuseio e armazenamento devido às suas propriedades. Também é produzido pela reação da amônia com o ácido fosfórico, porém em maior proporção do que aquela no MAP, do ácido fosfórico pela amônia;

3.3 Potássio

Por ser um elemento presente em todas as células vivas, o potássio é um elemento muito importante no cultivo das plantas. Tem como funções na planta, regular o fluxo de água e outros materiais através das membranas celulares e ajuda a regular uma grande variedade de processos químicos e enzimáticos, mantendo o equilíbrio elétrico dentro da célula da planta e promovendo sua resistência ao excesso de água, pestes e doenças. Muito desse elemento usado por uma cultura em crescimento não é acumulado no grão, mas permanece nos resíduos das culturas (colmo, folhas e palha). O fertilizante potássico é usualmente descrito na forma de óxido (K_2O). Assim como o fósforo, esta forma é a padrão na comparação de fertilizantes contendo K, mas em realidade não é encontrada em fertilizantes potássicos. O potássio está constantemente mudando entre as várias partes dos componentes solo-planta-animal-meio ambiente, uma vez que funciona nos seus sistemas físicos, químicos e biológicos (REETZ, 2017).

Os fertilizantes potássicos são formados de depósitos geológicos salinos. Apesar de conterem baixos teores de K_2O , materiais não refinados podem ser usados diretamente, e a maioria dos fertilizantes atualmente utilizados é material de alta concentração, solúvel em água e de ação rápida.

Em 1859, foi descoberto o primeiro depósito de sais de potássio, em Stassfurt, na Alemanha, logo iniciou-se a evolução da indústria de potássio. Em 1862, a primeira mina foi aberta e, este e outros depósitos situados também na Alemanha dominaram o mercado de potássio por 75 anos. O avanço em outros países deu-se de forma gradativa, na França teve início em 1910, em 1925 na Ex-União Soviética, nos Estados Unidos por volta de 1930, no Canadá em 1960, em 1964 na Itália e na Grã-Bretanha em 1974. Porém, a Itália encerrou sua produção e as reservas atuais na França e Espanha são pequenas, a Rússia é considerada um dos maiores produtores. Em 1960, foi realizada uma grande recuperação de potássio a partir dos sais do Mar Morto por Israel, e em 1982 foi seguida pela Jordânia, onde seus sais são

recuperados da água salgada pela evaporação solar, isso ocorre também no Grande Lago Salgado, em Utah, Estados Unidos. Na América Latina, apenas o Brasil e o Chile possuem pequenas indústrias de potássio (FERREIRA, 2002).

Em 1966, a produção de K_2O aumentou de 14,4 milhões de t para 24,7 milhões de t em 1976 e, 28,8 milhões de t em 1986, declinando cerca de 23,5 milhões de t em 1997 devido ao incremento de fertilizantes nitrogenados e uma redução de potássicos (FERREIRA, 2002).

Em virtude de sua baixa solubilidade, os minerais de potássio, em sua maioria, não apresentam importância. A silvinita (KCl) é o principal material para a fabricação de fertilizantes potássicos. Os que se destacam são: cloreto de potássio, sulfato de potássio e sulfato de potássio e magnésio. As composições desses e outros produtos é apresentada na Tabela 1 (FERREIRA, 2002).

Tabela 1 - Composição de fertilizantes potássicos (fonte: FERREIRA, 2002)

Produto	Concentração (%)	K_2O (%)	Cl (%)	S (%)	Mg (%)	N (%)
Cloreto de potássio	00-00-60 a 00-00-63	60 – 63	46 – 47			
Sulfato de potássio	00-00-50	50 – 53	2 – 3	18		
Sulfato de potássio e magnésio	00-00-22	22		22	11	
Nitrato de potássio	13-00-44	44				13
Hidróxido de potássio	00-00-75	75				

A seguir, características desses tipos de fertilizantes:

- Cloreto de potássio (KCl) (0-0-60) ou Muriato de potássio (MOP): como já foi dito anteriormente, a maioria dos depósitos de potássio ocorre como KCl (silvita) misturado com NaCl (halita) no mineral silvinita, geralmente em antigos depósitos marinhos enterrados profundamente. No processamento, o mineral é moído e o KCl e o NaCl são separados. Em poucas regiões, o minério pode ser dissolvido com água quente e bombeado para a superfície como silvinita solúvel e a água é evaporada.

- Sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) é também chamado de Langbeinita, sulfato de potássio e magnésia, ou comercialmente Sulpomag: é o único mineral encontrado em somente poucos locais no mundo. Comercialmente ele vem de minas abaixo do solo próximo a Carlsbad na Alemanha e, Novo México, nos EUA. É muito utilizado quando os três nutrientes são necessários, pois tem como garantia K, S e Mg (ver Tabela 1) (REETZ, 2017).

- Sulfato de potássio (K_2SO_4), também chamado de sulfato de potassa (SOP): é encontrado em depósitos minerais misturado com outros minerais. Esses componentes são separados através de lavagem com água. O potássio funciona de modo semelhante ao KCl, mas é também uma fonte importante de enxofre onde o solo é deficiente nesse nutriente. O sulfato de potássio é menos solúvel do que o cloreto de potássio, e, assim, não é comumente usado na água de irrigação. É fornecedor para as plantas sensíveis ao Cl como o fumo e batata inglesa.

3.4 Enxofre

O enxofre é considerado um nutriente secundário para as plantas. A forma que é encontrado no solo (sulfatos inorgânicos e compostos orgânicos) não pode ser absorvido pelas plantas, logo, ele precisa ser mineralizado para ânion sulfato (SO_4^{2-}). O enxofre da atmosfera (SO_2) fornece grandes quantidades de enxofre (20 kg/ha ou mais) em áreas onde são queimados combustíveis fósseis, porém, com a limpeza ambiental pela diminuição do uso dessas fontes tem levado a uma maior necessidade de fertilização com enxofre em anos recentes. De modo similar, poucas décadas atrás, fertilizantes como o superfosfato simples e alguns pesticidas supriam algum enxofre para as culturas, mas mudanças nos processos de fabricação reduziram o uso dessas fontes. O enxofre pode ser suprido para as culturas no campo através dos seguintes materiais: enxofre elementar (90% de S), sulfato de amônio (24% de S), sulfato de cálcio (24% de S), superfosfato simples (8 a 10% de S), polisulfato de amônio (45% de S) e tiosulfato de amônio (26% de S) (REETZ, 2017).

3.5 Cálcio

O cálcio é um componente muito importante das paredes celulares das plantas. Ele ocupa de 0,1 a 25% do solo, dependendo da mineralogia do mesmo. A Calagem é utilizada para manter o pH na amplitude adequada para o crescimento das plantas e, usualmente fornece quantidades suficientes do Ca para suprir a necessidade das culturas. A deficiência da Ca nas plantas é em geral mascarada pelos efeitos de toxidez de outros nutrientes (tais como alumínio, manganês e cobre) sob condições de pH baixo. Quando a deficiência do Ca precisa ser corrigida, mas o pH é alto, pode-se utilizar gesso para suprir o cálcio (REETZ, 2017).

3.6 Magnésio

O magnésio é um importante componente da molécula da clorofila. Os fertilizantes magnesianos ou são sais solúveis de ação rápida, como os sulfatos ou de ação lenta, como o calcário dolomítico. O carbonato de magnésio ou calcário dolomítico é utilizado em solos que

necessitam receber calagem, pois é a fonte mais barata de Mg. A aplicação de uma alta dose de calcário dolomítico pode assegurar um bom suprimento de Mg por vários anos sem nenhum efeito detrimental. O sulfato de magnésio, na forma de sal de Epsom (10% de Mg) ou keiserita (16% de Mg), são formas comuns de fertilizantes com Mg para suprir as culturas. A Keiserita ou sulfato de magnésio monohidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) é um mineral natural explorado em depósitos geológicos marinhos profundos na Alemanha. Ele fornece uma fonte solúvel de ambos, Mg e S, para a nutrição de plantas. O sulfato de potássio e magnésio também se constitui uma fonte importante de Mg em situações em que K é deficiente (REETZ, 2017).

3.7 Micronutrientes

Os micronutrientes são necessários em quantidades muito pequenas, mas ainda são essenciais para o crescimento das plantas. Deficiências de micronutrientes variam com as regiões, com base na mineralogia e no clima, e frequentemente podem ser corrigidas pelo ajuste do pH. A Tabela 2 apresenta os principais nutrientes e suas principais funções para as plantas (KIRKBY, E. A.; ROMHELD, V., 2007).

Tabela 2 - Principais funções dos micronutrientes para as plantas (Fonte: KIRKBY, et al., 2007 - adaptada)

Micronutriente	Função
Fe, Mn, Cu, Ni	Constituinte de enzimas (metaloproteínas)
Mn, Zn	Ativação de enzimas
Fe, Cu, Mn, (Cl)	Envolvimento no transporte de elétrons na fotossíntese
Mn, Zn, Mo	Envolvimento na tolerância ao estresse
Cu, Mn, Zn, B	Envolvimento no crescimento reprodutivo (indução ao florescimento, polinização, estabelecimento do fruto)
B, Zn	Constituinte de paredes celulares e membranas

4. INDÚSTRIA QUÍMICA E O SEGMENTO DE FERTILIZANTES

A Indústria Química teve sua origem datada no início do século XIX, fase em que muitos dos princípios químicos já eram utilizados para a produção de bálsamos, colas, sabões e perfumes. Estão inclusas as empresas que fabricam produtos industriais, como agroquímicos, polímeros, farmacêuticos, tintas etc. Com o avanço da Revolução Industrial, muitos dos produtos naturais já conhecidos se tornaram insuficientes, fazendo com que surgissem novos processos industriais para que algumas dessas matérias-primas pudessem ser produzidas. Esse

período foi de muitas descobertas e elaboração de métodos utilizáveis em vários domínios, como a agricultura. A indústria química engloba todo o processamento de matérias-primas, obtidas muitas vezes por meio de mineração ou agricultura, podendo formar materiais de utilização imediata ou para uso futuro em outras indústrias. É composta por diversos tipos de empresas em diferentes setores e é importante fornecedora de insumos que englobam uma ampla gama de aplicações, tais como produtos químicos de uso industrial; produtos químicos de uso no setor agropecuário, como fertilizantes e defensivos químicos; e produtos químicos para uso do consumidor final, como produtos de higiene pessoal ou de limpeza (WILLIAM, 2014).

No Brasil, a evolução da indústria química foi constante e desde então, muitas multinacionais foram instaladas com foco principalmente no desenvolvimento petroquímico, agroquímico e farmacêutico. Isso fez com que a indústria química obtivesse alta relevância na estrutura produtiva brasileira, sendo o terceiro maior produto interno bruto (PIB) industrial. A Tabela 3 mostra o faturamento líquido da indústria química brasileira por segmento (AMARAL, G. F.; GUIMARÃES, D. D., 2018).

Tabela 3 - Faturamento líquido da indústria química brasileira por segmento (fonte: AMARAL, G. F.; GUIMARÃES, D. D., 2018)

Segmento da indústria química	Faturamento do setor (US\$ - bilhões)
Produtos químicos de uso industrial	65,2
Produtos farmacêuticos	17,4
Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos	11,2
Fertilizantes	10,2
Defensivos agrícolas	9,9
Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos	7,3
Tintas, esmaltes e vernizes	3,8
Fibras artificiais e sintéticas	0,8
Outros	2,1
Total	127,9

Entre 2000 e 2015, o uso de fertilizantes no país cresceu 87% contribuindo em parte, para o significativo aumento da produção de grãos no país no mesmo período, de 150%. Em 2018, o PIB do Agronegócio brasileiro apresentou estabilidade com leve baixa de 0,01% no

fechamento do ano, segundo pesquisas do Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), da Esalq/USP em parceria com a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil). Em dezembro, especificamente, houve queda de 0,10%. Pesquisadores do Cepea indicam que esse desempenho da renda gerada no agronegócio em 2018 está ligado à elevação dos custos de produção nos segmentos primários agrícola e pecuário e à fraca demanda verificada em diversos segmentos e atividades do ramo pecuário. No ramo agrícola, em dezembro de 2018, houve elevação apenas para o segmento de insumos. No acumulado do ano, no entanto, o segmento primário apresentou leve queda (BARROS, 2019).

No ramo agrícola, em dezembro de 2018, houve elevação apenas para o segmento de insumos. No acumulado do ano, no entanto, o segmento primário apresentou leve queda. Ainda segundo os pesquisadores do Cepea, apesar da recuperação dos preços agrícolas ao longo de 2018 e da elevação na produção verificada, o incremento nos custos de produção com destaque para os preços dos fertilizantes e do diesel, ainda manteve o segmento em baixa no que se refere à renda. Já a agroindústria teve resultado satisfatório na média do segmento, com destaque para os bons desempenhos das atividades de biocombustíveis, celulose e papel e óleos vegetais (AMARAL, G. F.; GUIMARÃES, D. D., 2018).

Nesse mesmo ramo, o Brasil ocupa importante posição, sendo o primeiro nas exportações de café, cana-de-açúcar e suco de laranja e o segundo lugar no complexo de soja. A utilização de fertilizantes químicos é um dos maiores contribuintes para a elevação da produtividade agrícola no Brasil e no mundo (AMARAL, G. F.; GUIMARÃES, D. D., 2018).

As primeiras fábricas de fertilizantes no Brasil surgiram em 1940, acompanhando o processo de industrialização no país, foram instaladas próximas a portos marítimos, como em Cubatão (SP) e Rio Grande (RS). Inicialmente, era formulado apenas fertilizante NPK, baseados em importados simples, o que fez com que a mistura NPK se adequasse bem às condições do solo brasileiro. Nesta época, o parque produtivo nacional era constituído pela mina de fosfato da Quimbrasil/Serrana, em Cajatí - SP, esta unidade era integrada à refinaria de Cubatão produtora de amônia, ácido nítrico, nitrato de amônio e nitrocálcio e cinco outras empresas produtoras de superfosfato simples (SSP), eram elas: Elekeiroz (1949), Fosfanil (1952), Quimbrasil (1954), Companhia Riograndense de Adubos (CRA) (1958) e Fertinil (1959). Na segunda metade dos anos 60, novas empresas surgem produzindo SSP (Ferticap, Copebrás e IAP) e implanta-se o complexo de fertilizantes da Ultrafertil, com a produção de amônia, ácidos nítrico, sulfúrico e fosfórico, nitrato e fosfato de amônia. Após o fim da segunda guerra mundial, motivo de grande avanço industrial no mundo, no início da década de 50 o mercado já dispunha de empresas como Trevo (1930), Copas (1945), Fertisul (1948), entre

outras. Até a década de 60 as importações atendiam a demanda interna de matérias-primas para os fertilizantes, pois a produção local era limitada (CUNHA, 2017).

Dando continuidade ao desenvolvimento da indústria de fertilizantes no Brasil, em que um passo importante para o país foi o surgimento da ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos), fundada em 13 de abril de 1967. Ela abrange desde grandes produtoras até pequenas empresas, e tem por objetivo apoiar o setor de fertilizantes dentro do agronegócio com estratégias que difundam o seu uso e promovam todas as etapas de seu processo produtivo. Uma nova etapa na indústria no país ocorreu com a utilização do gás natural como matéria-prima na produção de amônia e ureia, em Camaçari (BA). Ocorreu então a consolidação dos fertilizantes nitrogenados que contava com outra unidade em Laranjeiras (SE). No final de 1974, o consumo aparente de fertilizantes era de cerca de 1.700.000 t de nutrientes, dos quais 23% referiam-se ao consumo de N, 46% de P e 31% de K. A produção nacional de nutrientes correspondia a 29% do consumo aparente global (38,5% do consumo aparente de nitrogênio e 44% de fósforo), com todo o potássio importado (CUNHA, 2017).

No período de 1974 a 1976, a demanda por fertilizantes cresceu em cerca de 50%, devido a ampliação do consumo em virtude da incorporação de novas fronteiras agrícolas necessárias ao atendimento alimentar de uma sociedade cada vez mais demandante de produtos, além da necessidade de aumentar a produtividade para o incremento de uma política de produção voltada à exportação uma vez que os preços internacionais de *commodities* estavam valorizados. A despeito de um aumento de aproximadamente 121% na capacidade produtiva nacional fertilizantes, o volume de importações cresceu 21%, o que aliado a um aumento nos preços internacionais, decorrente da crise do petróleo de 1973, pressionou fortemente a balança comercial do país. E, apesar de ainda haver necessidade de importações, no mesmo ano já se revela uma enorme demanda, o que gera o 1º PNFCa (Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola), plano do governo que tinha como objetivo aumentar o grau de auto-suficiência do país na produção de nitrogenados e fosfatados, o que marca o início do segundo ciclo de desenvolvimento da indústria de fertilizantes no Brasil. Ainda em 1974, o governo inicia um programa de assistência ao setor de insumos com a criação da Fibase (subsidiária do BNDES, mais tarde BNDESPAR), que seria de apoio financeiro para a iniciativa privada. Junto com o 1º PNFCa, iniciaram-se novas implantações como, a unidade de mineração e concentração de rocha fosfática da Fosfertil em Tapira-MG (1976); o complexo industrial da Fosfertil em Uberaba-MG (1976); a unidade de mineração e concentração de rocha fosfática da Goiasfertil em Catalão-GO (1978); as unidades de produção de ácido sulfúrico e ácido fosfórico da ICC em Imbituba-SC (1980); e algumas unidades de produção de fertilizantes básicos. De

1974 a 1980, o PNFECA estimulou novas implantações de complexos industriais, incentivando a produção interna de matéria-prima e fertilizantes, o que inicia um declínio nas importações (CUNHA, 2017).

Nesse mesmo período, a produção brasileira de nitrogênio e fósforo aumentou de 487 mil toneladas de nutrientes para 1,959 milhões de toneladas anuais, 302% de acréscimo. Comparado a 1950, onde na época a produção nacional representava cerca de 8% do consumo total, em 1980 o setor de fertilizantes já conseguia atender quase 50% da necessidade de consumo interno em nutrientes. Depois dessas medidas, houve ainda um segundo Plano Nacional de Fertilizantes, de 1987 a 1995, com novas instalações e ampliações. Com esse novo plano, a produção nacional em 1990 já atendia 59% do consumo interno. Algumas empresas tiveram de ser leiloadas de 1992 a 1994, devido a uma reestruturação econômica na época, o que gerou grandes complexos como a Fosfertil (Vale Fertilizantes e recentemente Mosaic).

4.1 Projeções e perspectivas da indústria de fertilizantes no Brasil e em Alagoas

Mesmo com os avanços, ainda é necessário aumentar a produção no Brasil, pois ela não supre toda a demanda interna, devido ao crescente desenvolvimento da agricultura nacional. Países como China e Índia estão se tornando autossustentáveis, de modo que a flutuação dos preços internacionais dos produtos agrícolas já não os sensibilize tanto, e faz com que o próprio país subsidie os preços ao produtor. No caso do Brasil, é esperado um avanço, pois o país conta com reservas, tecnologias, recursos humanos e bens de capital para ampliar sua capacidade produtiva, e se assim o fizer, ser menos dependente da importação, em especial de fosfatados (AMARAL, G. F.; GUIMARÃES, D. D., 2018).

O Brasil conta com grandes indústrias no setor de produção de fertilizantes, porém, em 2018, o mercado interno observou diversos anúncios de unidades produtivas entrando em ociosidade temporária e outras paralisando as atividades definitivamente, corroborando para uma preocupação dos produtores com o nível de disponibilidade dos adubos. A Petrobrás iniciou seu processo de paralisação da unidade produtiva de Sergipe com capacidade de produzir 594.000 t/ano de ureia, 412.500 t/ano de amônia e 303.000 de sulfato de amônio. O mesmo acontecendo com a unidade de Camaçari na Bahia. Esta última, detém capacidade produtiva de 429.000 t/ano de ureia e o mesmo montante de amônia. O que gerou instabilidade no segmento. Além disso, uma importante misturadora brasileira (Heringer) encerrou atividades em 9 unidades, localizadas no Centro-Oeste, Sudeste, Sul e Nordeste. Mesmo que no curto prazo, o fechamento possa aparentar uma menor oferta doméstica de produtos formulados e uma maior disponibilidade de produtos intermediários, outras empresas do setor já haviam

iniciado um movimento de aumentar seu *market-share* no âmbito interno, suprimindo essa demanda não atendida pela Heringer. Outras fábricas de fertilizantes de grande importância para o país são: Mosaic Fertilizantes do Brasil; Nitrobrás Indústria e Comércio de Fertilizantes; Yara Brasil Fertilizantes; Unifertil Universal de Fertilizantes; Paranaíba Fertilizantes Indústria e Comércio, Copebras, Vale Fertilizantes, Timac Agro Indústria e Comércio de Fertilizantes (Profertil) entre outras (FONTANARI, G.; PEREIRA, L., 2019).

De acordo com a Tabela 4, analisando a quantidade em toneladas de fertilizantes entregues, mesmo apresentando uma queda em relação a março de 2018, o acumulado do ano superou o mesmo período registrado em 2019. No caso de produção de intermediários, apresentou uma leve queda em relação ao mesmo período do ano passado. Já em relação às principais exportações, os números vêm decrescendo desde 2016 (PESQUISA SETORIAL..., 2019).

Tabela 4 - Mercado brasileiro de fertilizantes (fonte: PESQUISA SETORIAL..., 2019)

Fertilizantes Entregues ao Mercado (em toneladas de produto)					
	2016	2017	2018	2019	2019/2018
Março	1.823.711	1.764.616	1.773.530	1.610.886	-9,2%
Janeiro a março	6.198.994	6.417.983	6.335.450	6.537.529	3,2%
Total do Ano	34.083.417	34.438.840	35.506.299	6.537.529	
Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2016	2017	2018	2019	2019/2018
Março	666.942	671.138	563.014	594.024	5,5%
Janeiro a março	2.055.716	1.936.347	1.860.406	1.830.206	-1,6%
Total do Ano	9.040.747	8.184.616	8.169.544	1.830.206	
Importação de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2016	2017	2018	2019	2019/2018
Março	1.135.881	1.347.235	1.311.750	1.324.711	1,0%
Janeiro a março	4.190.498	5.516.504	4.754.936	5.049.230	6,2%
Total do Ano	24.481.089	26.324.627	27.496.622	5.049.230	
Principais Exportações de Fertilizantes e Formulações NPK (em toneladas de produto)					
	2016	2017	2018	2019	2019/2018

Março	13.605	14.716	15.737	9.368	-40,5%
Janeiro a março	66.496	64.737	58.853	31.041	-47,3%
Total do Ano	549.441	331.623	336.071	31.041	
Estoques de Produtos Intermediários para Fertilizantes e Formulações NPK (em toneladas de produto)					
	2015	2016	2017	2018	2018/2017
31 de dezembro	5.404.242	5.070.505	5.533.690	6.057.250	9,5%
Obs: Estoques disponíveis na Indústria (SSP e TSP na forma granulada)					

Como os fertilizantes são *commodities*, seu preço é determinado pelo mercado internacional. Logo, o custo da matéria-prima, o custo do transporte marítimo, custos portuários, tributos externos e internos, e custo de transporte até os centros produtores são variáveis relevantes na formação de preço nacional dos fertilizantes. Os custos com fertilizantes representam cerca de 20% dos gastos totais do produtor rural na lavoura, porém esse número pode variar com a cultura e estado. Por o Brasil ser um grande importador de fertilizantes, a formação do preço interno também sofre influência do frete marítimo (o frete custa em média US\$ 40, cerca de 10% a 15% do preço do fertilizante); além disso, há incidência de custos portuários sobre o preço final de fertilizantes, como Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM), que representa tarifa de 25% cobrada sobre o valor do frete, *demurrage* e outras despesas portuárias. Adicionalmente, o setor paga alíquota de 2% de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), que incide sobre o valor final da receita total depois da venda do produto, cobrado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) pela lavra de recursos minerais nos municípios brasileiros, do qual parcela de arrecadação destina-se às prefeituras. Isso tudo implica na facilidade ainda maior quanto à importação de fertilizantes e intermediários e é visto como uma barreira ao investimento nacional pelos representantes do segmento (BARROS, 2019).

Em termos de tipo de fertilizantes, o Brasil importou em 2018, 24,96 milhões de toneladas de fertilizantes N, P e K, volume 4% maior comparado ao ano de 2017. Os fertilizantes nitrogenados representaram 35% do total, o equivalente a 8,77 milhões de toneladas, aumento de 1% frente ao ano anterior. Os fertilizantes fosfatados corresponderam a 23% das importações, 5,69 milhões de toneladas, com aumento de 2% no comparativo com

2017. Já os potássicos, 42%, equivalente a 10,5 milhões de toneladas, aumento de 9% em relação a 2017 (BARROS, 2019).

Esse volume de entrega de fertilizantes à nível nacional pode ser observado na Figura 2, em que o estado de Mato Grosso é o estado com maior participação em porcentagem, seguido de São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná. Em comparação apenas aos estados do norte-nordeste, a Bahia se destaca com participação de 5,3% à nível nacional, seguido de Maranhão e Piauí. Alagoas apresenta uma pequena participação em comparação aos outros estados, apenas com 0,4% em 2017.

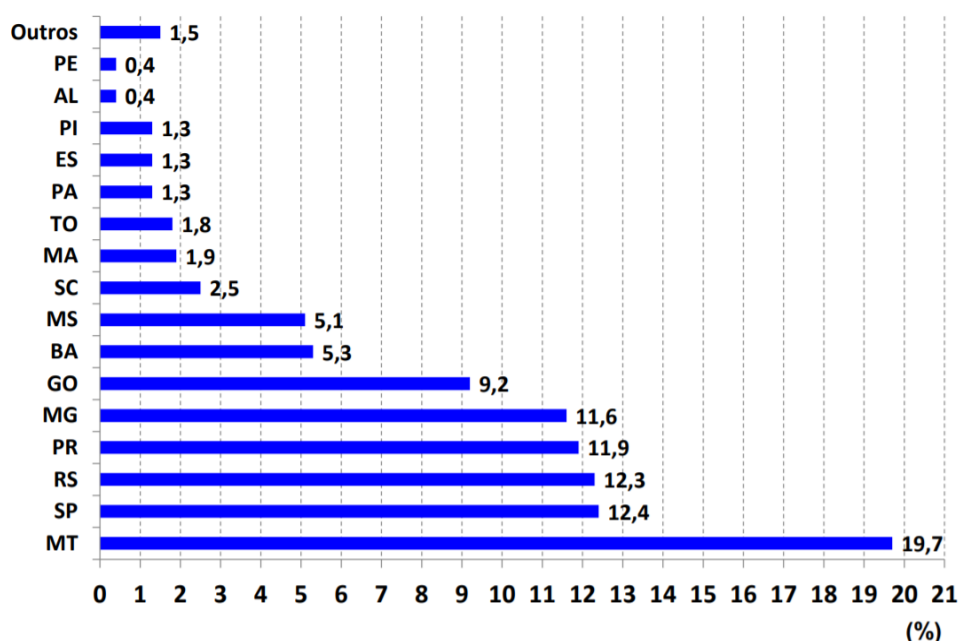


Figura 2 - Gráfico da entrega de fertilizantes por estado no Brasil - participação percentual em 2017
(fonte: ANDA, 2018)

O PIB de Alagoas é o 20º do país, totalizando aproximadamente R\$ 35 bilhões, menos de 1% do nacional. As receitas são provenientes de serviços (~56%), indústria (~37%) e agropecuária (~7%). De acordo com dados da Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico de Alagoas (SEPLAN), o PIB Alagoano cresceu substancialmente mais que a média nacional no início da segunda década dos anos 2000. Por isso, o estado encontra-se num momento de fortes investimentos em infraestrutura e logística, gargalos da produção no país, que englobam desde saneamento básico e canais de irrigação, até aeroportos, ferrovias, portos. Os principais produtos de exportação são, respectivamente, açúcar de cana, álcool etílico, outros açúcares e cloreto de etileno. As principais importações são: adubos e fertilizantes, trigo, produtos das indústrias químicas, componentes de fertilizantes, plástico, borracha e minério de molibdênio (ATRAÇÃO DE INVESTIMENTOS, 2019).

A agropecuária é uma atividade desenvolvida em várias regiões do estado, que se estende do litoral à Zona da Mata, sendo um componente essencial para a economia estadual. É considerado o quinto maior produtor nacional de cana-de-açúcar, além de possuir outros importantes cultivos que são o arroz, feijão, mandioca, milho, banana, abacaxi, coco-da-baía, laranja, algodão e fumo. O estado também possui rebanhos bovinos, equinos, caprinos e ovinos. Alagoas conta com importantes fábricas no setor de fertilizantes, algumas delas são: Yara Brasil Fertilizantes, instalada em 2014, Timac Agro, que adquiriu a Profertil nos anos 2000 e Fertil.

Apesar da agricultura ser uma das principais atividades do estado, há uma participação tímida à nível Brasil, apenas 0,4% da entrega total de fertilizantes dos estados do Brasil, segundo a Figura 2. De acordo com a Tabela 5, Alagoas fica numa posição de 6º lugar em consumo de fertilizantes em 2017, ficando atrás da Bahia, Maranhão, Tocantins, Pará e Piauí, com consumo de 147.765 em toneladas métricas, apresentando um crescimento de ~4,6% em relação ao ano anterior, de acordo com a ANDA.

Complementando estes dados, a Tabela 5 também apresenta o consumo de fertilizantes em relação aos nutrientes macro primários, N, P e K, em que os nutrientes potássicos se destacam, dentre os estados do nordeste, Alagoas fica na 5º posição de maior consumidor (INFORMAÇÕES..., 2018).

A Tabela 6 apresenta dados de exportações de nutrientes por estado/região, no caso de Alagoas, assim como no consumo, seu maior dado é em relação à nutrientes potássicos (INFORMAÇÕES..., 2018).

Tabela 5 - Consumo de fertilizantes por nutrientes por estado/região (fonte: IPNI, 2018)

Estado/região	Produto	Nutrientes			
		N	P2O5	K2O	Total
		(t)			
AL	592.196	87.906	36.233	89.330	213.469
BA	7.518.605	653.936	966.076	1.246.090	2.866.102
CE	107.067	21.135	10.394	13.240	44.769
MA	2.290.553	162.825	406.012	408.532	977.369
PB	229.627	35.788	15.159	37.375	88.322
PE	697.150	107.283	46.373	113.817	267.473
PI	1.531.009	101.092	271.293	263.145	635.530
RN	158.873	24.312	17.031	21.506	62.849
SE	367.239	72.215	53.590	28.762	154.567
Total Nordeste	13.492.319	1.266.492	1.822.161	2.221.797	5.310.450

Tabela 6 - Exportações de nutrientes por estado/região (fonte: IPNI, 2018)

Estado/ região	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	(t)											
AL	89.167	27.132	100.067	40.485	32.070	24.303	122	256	1.432	961	2	334
BA	1.384.186	351.913	676.960	88.950	102.278	90.857	698	393	5.520	1.214	88	1.130
CE	40.022	13.270	37.228	4.803	4.702	4.770	24	20	202	81	1	61
MA	574.066	144.279	238.913	33.416	33.002	35.002	252	155	1.658	453	41	506
PB	27.937	8.475	33.411	11.353	8.853	6.925	36	71	409	267	0	95
PE	64.111	19.373	78.859	25.708	20.067	15.860	81	160	930	605	1	215
PI	428.208	106.122	167.378	20.847	21.418	24.824	178	99	1.037	274	32	336
RN	16.521	5.052	22.531	6.649	5.165	3.918	21	41	241	155	0	55
SE	49.934	18.252	30.577	7.266	7.010	5.810	33	40	261	139	1	92
Total NE	2.674.152	693.868	1.385.924	239.477	234.566	212.269	1.444	1.234	11.690	4.149	167	2.823

O ramo do agronegócio já evoluiu muito com o passar dos anos e a tendência é evoluir ainda mais, mesmo com algumas oscilações no mercado. Além dos fertilizantes minerais, outras alternativas estão sendo estudadas e descobertas ao longo dos anos, como é o caso dos fertilizantes orgânicos.

Como inovação, o Brasil tem hoje 307 AgTechs (startups voltadas para o setor de agropecuária). Só em 2017, foram gastos cerca US\$ 437 milhões em investimento no setor agro – ano recorde de iniciativas na área. Isso potencializa ainda mais a evolução dos setores da agropecuária.

Uma pesquisa da professora do Laboratório de Ficologia do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da UFAL, Élica Guedes, desenvolveu uma técnica que transforma o sargaço inutilizável pela natureza em um adubo orgânico para usar em plantações (SARGAÇO..., 2016).

O avanço da tecnologia e muitos estudos tem proporcionado o crescimento do setor de fertilizantes. Porém, Alagoas necessita de mais investimentos, apesar das grandes indústrias presentes no estado. Seu maior problema, assim como no Brasil são as importações. Mas, a nível mundial, o Brasil se mostra com forte potencial de crescimento tanto em consumo quanto em exportação, pois a tendência é a demanda interna aumentar devido principalmente ao crescimento populacional. Por isso também, é de extrema importância a observação dos processos de fabricação de uma indústria de fertilizantes, visando otimizá-lo de forma que haja economia de recursos e mão de obra obtendo um produto de alto nível de qualidade.

5. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

5.1. Cadeia Produtiva

A cadeia produtiva de fertilizantes compõe-se de seis elos:

- O segmento extrativo mineral, fornecedor da rocha fosfática, do enxofre, do gás natural e das rochas potássicas;
- O setor produtor de matérias-primas intermediárias, como o ácido sulfúrico, o ácido fosfórico e a amônia anidra;
- O elo produtor de fertilizantes simples;
- A indústria de fertilizantes mistos e granulados complexos;
- O setor de distribuição (atacado, varejo e logística);
- O produtor rural.

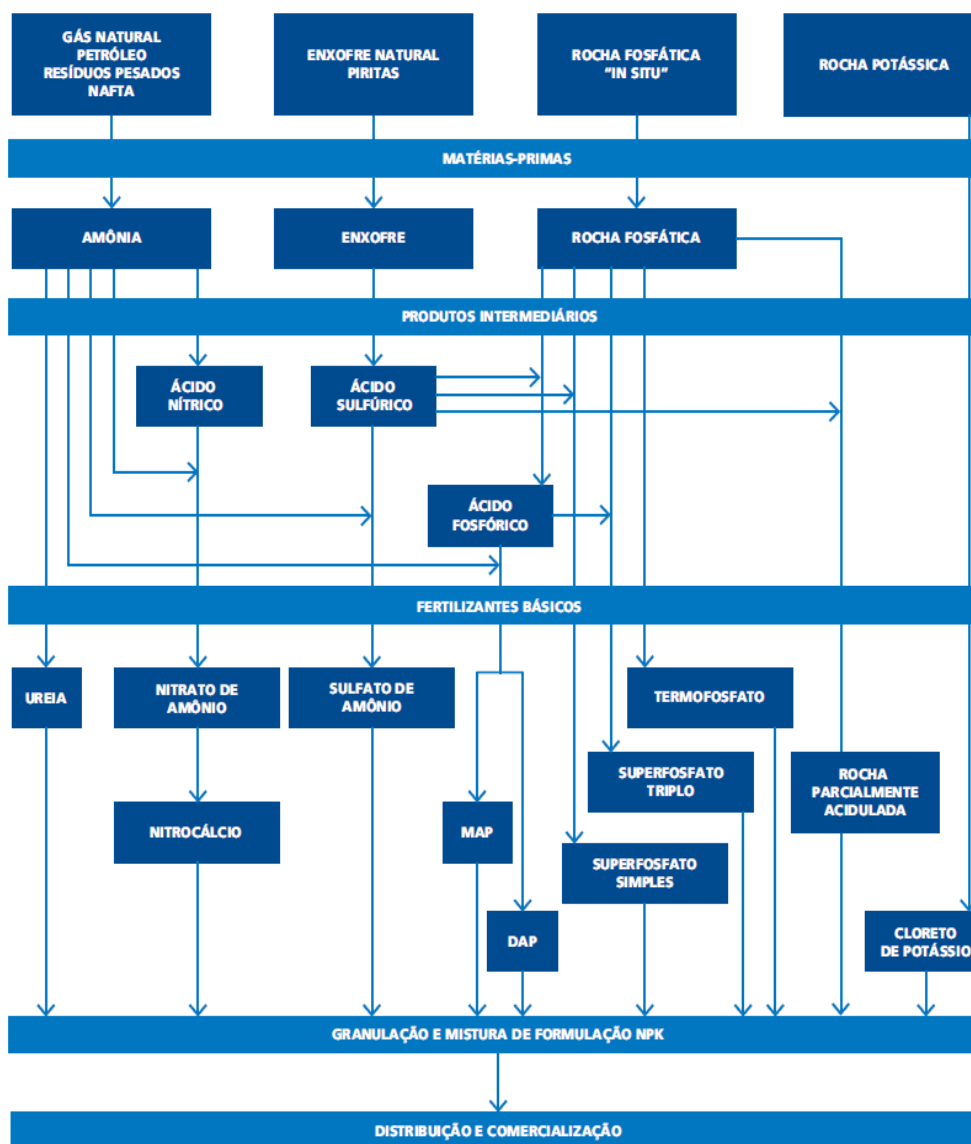


Figura 3 - Cadeia produtiva da indústria de fertilizantes (fonte: Dias e Fernandes, 2006)

Conforme na Figura 3, o primeiro elo da cadeia é o da indústria extrativa mineral, fornece as matérias-primas básicas (rocha fosfática, rocha potássica, enxofre e gás natural ou nafta) para a produção de fertilizantes. Em seguida, é a indústria de fabricação de produtos químicos inorgânicos, que, a partir dos insumos obtidos da indústria extrativa e devido tratamento, produzem as matérias-primas básicas e intermediárias, como o ácido sulfúrico, ácido fosfórico e amônia anidra. O terceiro elo da cadeia é a indústria de fabricação de fertilizantes simples e intermediários, do qual resultam: superfosfato simples (SSP); superfosfato triplo (TSP); fosfato de amônio (MAP – monofosfato de amônio e DAP – difosfato de amônio); nitrato de amônio; sulfato de amônio; ureia; cloreto de potássio; termofosfatos; e rocha fosfática parcialmente articulada. O quarto elo contempla o processo de granulação e mistura dos fertilizantes, que origina os fertilizantes finais, mais conhecidos como NPK. Estes são distribuídos e comercializados no quinto elo, sendo utilizados pelo sexto elo que é o produtor rural na agricultura (COSTA, L. M.; SILVA, M. F. O., 2016).

5.2 Processo de produção do SSP e NPK

As indústrias de fabricação de fertilizantes vêm evoluindo ao longo dos anos, tanto em variedades de produtos como em processos de fabricação, cada fábrica possui seu gerenciamento de processos envolvendo o melhor tipo de processamento de produto, o uso das matérias-primas mais viáveis, logística eficiente, entre outras características, mas sempre com objetivo de um produto de qualidade, baixo custo e sem danos ou o mínimo possível.

A seguir, serão apresentados dois processos de fabricação que ocorrem numa indústria de fertilizantes específica de Alagoas. A empresa possui duas plantas de processo, a primeira a ser citada é a de produção de produto intermediário já mencionado neste trabalho, o superfosfato simples, ou SSP. Como matéria-prima, são utilizados basicamente, a rocha fosfática importada da Argélia ou Marrocos e ácido sulfúrico 98%.

Para avaliação da rocha fosfática, é necessário avaliar as formas de P_2O_5 presentes na rocha, como esquematizado na Figura 4, podendo ser:

- P_2O_5 total: apesar de não indicar a forma química e/ou eficiência, demonstra o teor potencial da fonte de fósforo. É analisado através de ácidos fortes, como ácido nítrico e ácido clorídrico;
- P_2O_5 solúvel em água (S/A): fósforo prontamente disponível para as plantas. Está presente no SSP e TSP e MAP e DAP;

- P_2O_5 CNA (citrato neutro de amônio): solução neutra e é feita no resíduo da extração do P_2O_5 S/A. Inclui os fosfatos de ferro e alumínio;
- P_2O_5 ácido cítrico: demonstra os fosfatos insolúveis em água, como fosfato bi e tricálcico e as apatitas. É uma solução ácida com pH em torno de 2;

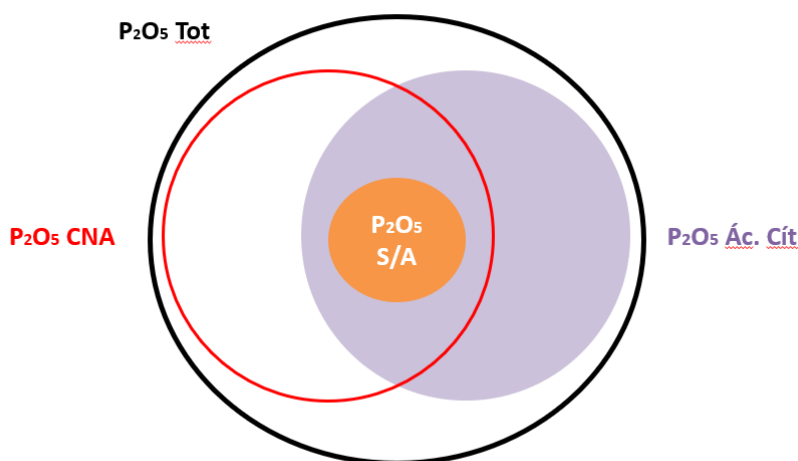
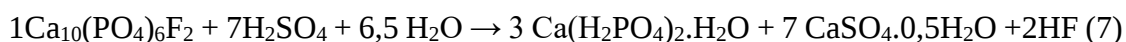


Figura 4 - Formas de P_2O_5 presentes na rocha (fonte: materiais próprios)

O SSP ou super é resultado da reação do ácido sulfúrico com a rocha fosfática moída liberando ácido fluorídrico. Segundo a reação 7:



Alguns fatores influenciam diretamente nessa reação, são eles:

- A natureza da rocha fosfática: se a garantia de P_2O_5 da rocha for muito baixa, a conversão do P_2O_5 Total em P_2O_5 CNA (citrato neutro de amônio) também será baixa e irá requerer uma maior quantidade de MAP ou TSP no NPK;
- Possíveis contaminantes: como o $R_2O_3 + Fe_2O_3$ e Al_2O_3 , compostos trivalentes são consumidores de ácido. Quando presentes em proporções acima de 3% na rocha fosfática, inibe a penetração da acidez durante o tempo de cura;
- Concentração do ácido: se a concentração do ácido for menor, não resultará numa conversão eficiente;
- Diluição do ácido: o H_2SO_4 deve ser diluído à concentração em torno de 63% (que é onde a sua corrosão é máxima), portanto a mistura de água acidulada (água originada na lavadora de gases) e H_2SO_4 deve ser controlada;

- Temperatura da reação: a reação é eficiente até uma determinada temperatura, por ser exotérmica, precisa de uma determinada energia de ativação;
- Granulometria da rocha fosfática: quanto maior a granulometria da rocha, maior o consumo de energia dos moinhos.

A figura 5 mostra o processo de produção do SSP, inicialmente ocorre a moagem da rocha fosfática no moinho, até chegar a granulometria padrão, 80 a 90% passante em malha 200 (#200 = 75µm). A rocha é puxada para o separador, onde a rocha mais leve segue para o ciclone e segue para a balança dosadora e a rocha mais pesada volta para a moagem. No reator, ocorre a entrada de água acidulada com objetivo de reduzir a formação de sulfato de cálcio que é um produto secundário e diminuir a concentração do ácido sulfúrico 98% para que o ataque à rocha seja mais eficiente. É usual misturadores do tipo turbinas verticais, com pequeno tempo de residência, podendo ser também um misturador horizontal com pás, podendo ter em seu eixo uma ou duas pás acopladas. O tempo em que a rocha permanece no misturador chega a no máximo seis segundos.

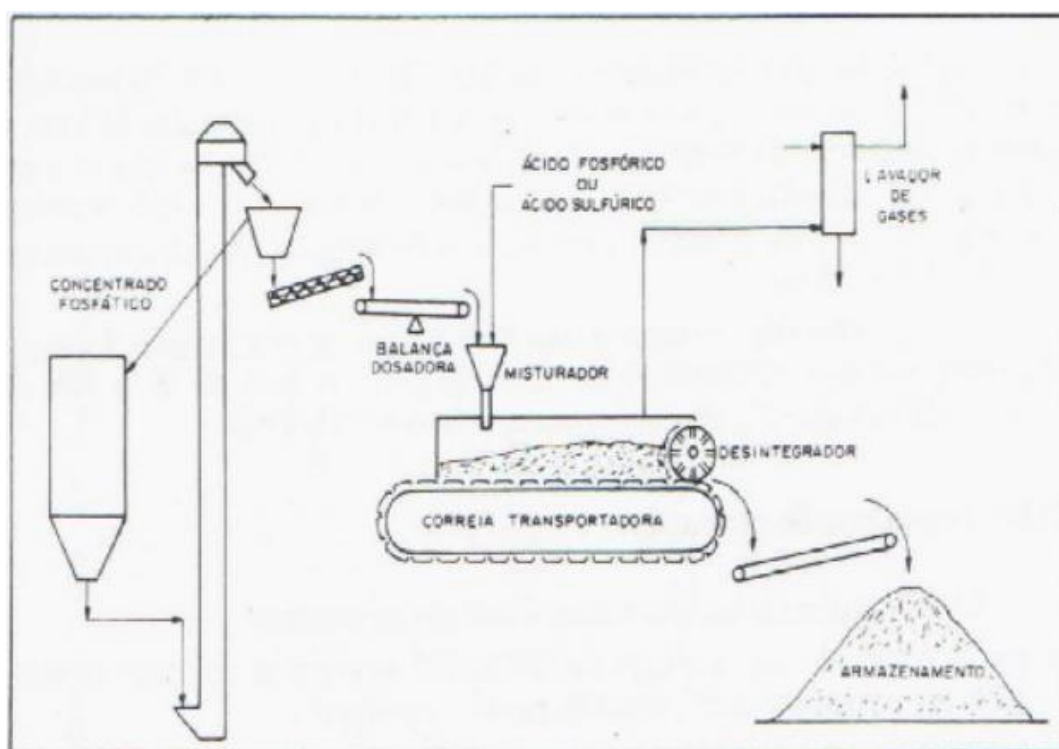


Figura 5 - Processo de produção de SSP (fonte: CUNHA, 2017)

O processo de acidulação da rocha é dividido em três momentos: o produto é um fluido, pegajoso e de alta acidez, após, ele começa a ficar sólido e, por último, obtêm-se o produto com a umidade ideal e porosa. Estes momentos acontecem pela correia transportadora, chamada de

“DEN”, e ao final segue para o armazenamento em que é necessário que ocorra o tempo de cura de 10 a 15 dias, este processo é importante para que ocorra o restante da reação rocha + ácido, visando atingir a máxima conversão. Depois de completado o procedimento, o produto pode ser granulado através de granulação a vapor, ou moído e peneirado para ser comercializado na forma de pó. O sistema deverá contar com um sistema de exaustão em todo o processo até a cura devido à emissão de gases ácidos. Um sistema muito utilizado com essa finalidade é a lavadora de gases do tipo Venturi, que pode ter 1 ou mais estágios de lavagem e que tem por objetivo controlar a poluição do ar. Seu processo de funcionamento conta com um mecanismo de água pulverizada e bicos pressurizados, atuando por meio da colisão das partículas de gases com um sistema de lavagem com água ou outro tipo de fluido. Ele normalmente emprega água pulverizada e conta com uma câmara, a água entra através dos bicos de spray. No ato das coletas das partículas, acontece uma colisão das gotas e dos resíduos. Ocorre então o contato de água suja e água limpa ocasionando na separação, a água suja desce e o ar limpo segue para emissão ou para o próximo Venturi e posterior emissão na atmosfera. A Figura 6 mostra uma lavadora de gases de apenas um estágio.

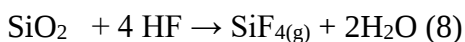


Figura 6 - Lavadora de gases do tipo Venturi (fonte: Eco system)

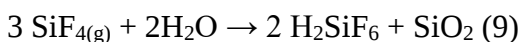
Como o gás liberado na reação entre rocha e ácido sulfúrico é o HF e ele é tóxico, faz-se necessário a utilização de um sistema de exaustão, pois existem leis que limitam sua emissão na atmosfera. O gás limpo é liberado para atmosfera, e o líquido gerado é ácido fluorsilícico e

volta para o sistema com a água acidulada. As reações que ocorrem estão representadas em 8 e 9:

- Reação da sílica presente na rocha fosfática, formando gás tetrafluoreto de sílica:



- Reação da lavagem dos gases formando o ácido fluorsilícico e a sílica:



O segundo processo de fabricação a ser apresentado é de granulação dos fertilizantes, chamada de planta NPK. O processo de granulação é importante por acarretar melhorias nas propriedades físicas do material como fluidez e facilitando na dosagem e aplicação em campo, evitando entupimento na adubadeira; no aspecto físico, diminuindo o empedramento e compactação; e diminuindo os níveis de poeiras. A empresa apresenta uma inovação, chamada de NPK no grão, ou seja, todos os nutrientes estão em todos os grãos. O que difere da maioria das outras fábricas de fertilizantes que são misturadoras dos fertilizantes. O processo de produção está representado na Figura 7.

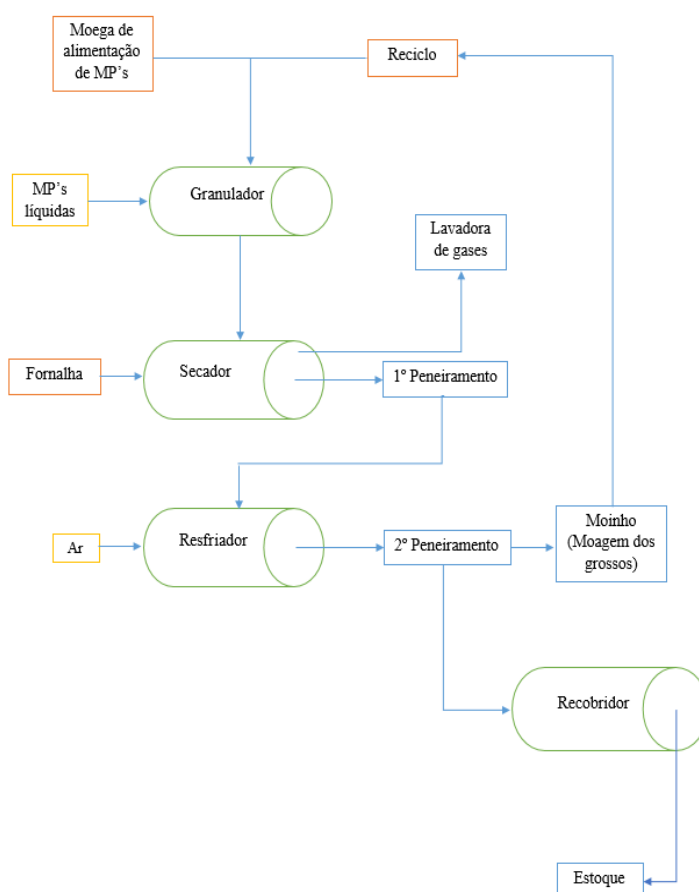


Figura 7 - Processo de granulação de fertilizantes (fonte: materiais próprios)

A partir do produto escolhido, determina-se quantidade das matérias-primas específicas para aquele produto e através de correias transportadoras elas chegam ao granulador, um tambor rotativo com suspensores em que ocorre a homogeneização das MPs e do reciclo, e através da inserção de vapor, água acidulada ou ácido sulfúrico 98%, o grão começa a ser formado e a cada passo do grânulo pelo granulador as matérias-primas vão se agregando, conforme Figura 8. O vapor utilizado no processo de granulação é gerado por duas caldeiras, uma alimentada pelo calor da fornalha e a outra alimentada com gás natural.

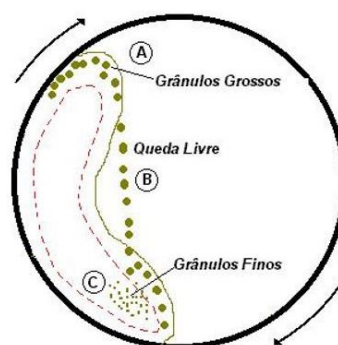


Figura 8 - Etapas de formação do grânulo (fonte: materiais próprios)

Após a granulação, os grãos recém-formados são transferidos para secador, também sendo um tambor rotativo com suspensores, porém de menor diâmetro e maior comprimento e está a uma determinada inclinação e velocidade de rotação, o mesmo está demonstrado na Figura 9, ele possui 3m de diâmetro e 24m de comprimento. É um sistema fechado para não haver perda de calor. Há também a entrada de gases quentes gerados pela fornalha, sua temperatura depende do tipo de produto a ser obtido, se nitrogenado, fosfatado ou potássico. Os suspensores têm função de forçar o cascadeamento dos grânulos, evitando incrustações e promovendo o contato gás-grânulo, eles também são chamados de aletas ou pás, e quanto mais fechados, mais tempo o produto permanece neles, melhor, portanto o cascadeamento (CUNHA, 2017).

Ao final do secador, o cascadeamento é facilitado, pois o produto já se encontra mais leve e seco, sendo assim, são utilizados suspensores menores e dentados, de modo que as partículas escoem pela parede do secador, sem a necessidade do arraste até o topo do mesmo (FERNANDES, 2008).

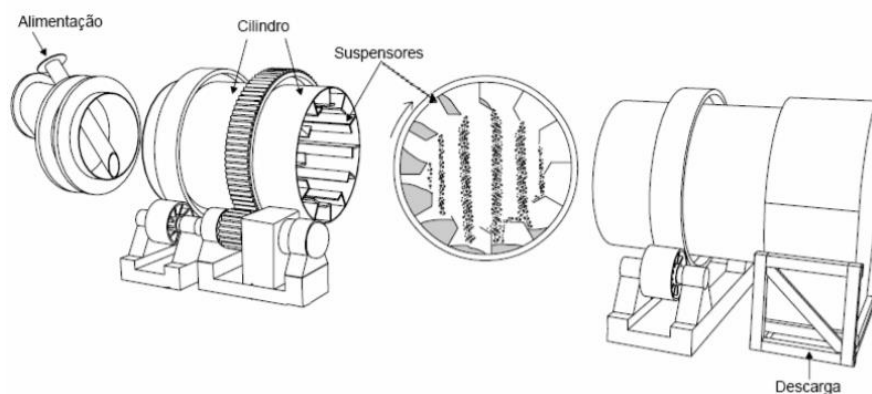


Figura 9 - Demonstração de um secador (fonte: FERNANDES, 2008)

Em seguida, os grânulos irão passar pelo primeiro peneiramento, para retirada de finos que retornarão ao início do processo através do reciclo. O reciclo chega com temperatura elevada ao granulador e influencia tanto no processo de granulação quanto ao processo de secagem, devido ao vapor requerido para granular e ao gás para secar. Um aumento na vazão de ar do secador irá aumentar a temperatura do reciclo no granulador, o que influencia na quantia requerida de água. Após o primeiro peneiramento, os grânulos seguem para o resfriador, sendo também um tubo rotativo menor que o secador, em que o produto recebe uma carga de ar frio de modo que a área seja ocupada por 75% de ar e apenas 25% de produto, o ar é absorvido por filtros mangas impedindo que cheguem à atmosfera.

Os grânulos seguem, então, para um segundo peneiramento, em que há remoção de grossos e finos, desta vez os grãos grossos seguem para um moinho para diminuir o tamanho do grão e seguem para a moega de reciclo onde se juntam com os grãos finos que são separados no primeiro e segundo peneiramento. Os grãos “bons” são encaminhados para o recobridor, em que é dosado óleo BPF (óleo de baixo ponto de fluidez) + Aditivo (anti-empedante) e talco (antiaglutinante), contribuindo para que o grão não agregue, nem compacte no armazenamento.

Após passar por todas estas etapas os grãos são levados para os boxes de armazenamento. Em todas as etapas são feitas verificações de temperatura e aspecto visual do grão, para garantirem que o processo está sendo eficiente. As plantas NPK e SSP contam com correias transportadoras e elevadores para transporte do produto em todas as etapas. Assim como na planta de SSP, a planta NPK também conta com um sistema de lavadora de gases a partir do secador, conforme indicado na Figura 8.

5.3 Controle de qualidade dos fertilizantes

Uma etapa muito importante em uma indústria, é a do Controle de qualidade, pois é o conjunto de técnicas e atividades operacionais utilizadas para atender os requisitos pré-determinados de qualidade. Esta etapa ocorre no laboratório de Controle de Qualidade e nele são identificadas todas as características físico-químicas, tanto do produto final, quanto de matérias-primas ou produtos intermediários através de procedimentos de análises estabelecidos, no caso da indústria de fertilizantes, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Para cada tipo de nutriente é realizado um tipo de análise e são utilizados vários tipos de equipamentos para as análises como balanças, estufas, muflas, destiladores de nitrogênio, baterias de extração, pHmetro, agitador de Wagner, chapas de aquecimento, agitadores magnéticos, quarteador tipo Johnes, agitador de peneiras, termômetros, durômetro, destilador de água, espectrofotômetro UV/Vis, fotômetro de chama e espectrofotômetro de absorção atômica.

No caso da indústria de fertilizantes específica em Alagoas utilizada como exemplo, durante a produção do fertilizante, o profissional do laboratório é responsável por analisar a amostra geralmente a cada 4 horas de produção. Na planta NPK, entre o segundo peneiramento e o recobridor, existe uma espécie de válvula coletora automática, ela abre a cada 15 minutos durante 6 segundos e, os grãos segregados são recolhidos em um balde coletor, então, é feito então um quarteamento do produto recolhido para uma melhor representatividade nos resultados das análises naquele período. A amostra é então levada para o laboratório para serem realizadas as análises. Como cada produto tem sua garantia, por exemplo, um produto 10-10-0, garante 10% de N, 10% de P e não garante K, logo, as análises a serem realizadas serão de acordo com o que ele tem em sua formulação, neste caso, não necessitará realizar análise de potássio, uma vez que ele não possui esse nutriente. Além das análises químicas dos nutrientes macro primários, são realizadas as análises dos nutrientes macro secundários e micronutrientes, sempre de acordo com a garantia do produto. São realizadas também as análises físicas, que são granulometria, dureza, densidade líquida e compactada, umidade, pH e acidez.

A amostra no laboratório passa basicamente por cinco etapas, porém, elas não são obrigatórias, irá depender ainda da garantia do produto: a preparação da amostra, medida de massa, ataque, avolumação e titulação ou leitura em equipamento. Nas análises físicas, algumas são realizadas com a amostra ainda granulada, como, densidade, granulometria e dureza do grão, as demais, pH e umidade, são realizadas após a preparação da amostra que é a trituração dos grãos até a malha passante #40. Feita as análises, os resultados são passados para a setor da produção, e a partir deles, serão realizados os ajustes necessários ou não para dar

prosseguimento a produção daquele produto. A seguir, as principais análises realizadas em um laboratório de Controle de Qualidade de uma indústria de fertilizantes descritas sucintamente.

Para análise de nitrogênio, identifica-se qual tipo de N pode ter na amostra, podendo ser nitrogênio amoniacal, amídico ou nítrico. A partir disso, as análises são realizadas através da medida de massa da amostra em um balão Kjeldahl e posterior digestão do produto (realizada dentro de uma capela de exaustão) através da adição de ácido sulfúrico 1:1 para o N amídico e uma solução forte de sulfato de potássio + ácido sulfúrico para o N nítrico, também chamado de nitrogênio total, sendo a esta última também é adicionado um catalisador, sulfato de cobre. Após a digestão do N amídico e N nítrico, ocorre a adição de água e hidróxido de sódio a 50% no balão e posterior destilação da amostra no destilador de nitrogênio, recolhida em solução de ácido bórico 2% e em seguida titulada com ácido clorídrico 0,5 mol.L⁻¹. Para o N amoniacal não há aquecimento, são adicionados água e hidróxido de sódio a 50% e levado para o destilador de nitrogênio e segue o mesmo procedimento das outras análises. Através do volume obtido são realizados os cálculos e determina-se então o teor de nitrogênio da amostra. (MANUAL..., 2017)

Para as análises de fósforo, a depender da amostra, a análise pode ser para fósforo total, CNA (Citrato Neutro de Amônio), S/A (Solúvel em água) e/ou cítrico. Esses são os reagentes utilizados para identificação do fósforo. Para o P₂O₅ CNA, utiliza-se a solução de CNA e posterior agitação/aquecimento, seguido de avolumação e filtração; para o P₂O₅ total, o ataque forte é feito com ácido clorídrico e ácido nítrico em aquecimento, seguido de esfriamento, avolumação e filtração; para o P₂O₅ S/A e ácido cítrico são realizadas através do agitador de Wagner. Para o S/A é adicionado apenas água à amostra e para o P₂O₅ ácido cítrico é adicionado água e ácido cítrico, ambos são seguidos de agitação e filtração. A partir da filtração das análises, seguem o mesmo procedimento, é retirada a alíquota para um balão volumétrico adicionada de uma solução complexante e posterior leitura em espectrofotômetro UV/Vis. A partir da leitura de um padrão e através de cálculos, são determinados os teores dos fósforos analisados. (MANUAL..., 2017)

A análise de potássio ocorre a partir da solubilização da amostra com água sob agitação sem aquecimento. Em seguida, ocorre a filtração e a alíquota é recolhida em balão volumétrico e avolumada com água para então ser lida em um fotômetro de chama a partir da leitura de um padrão de 80% de K₂O. Com o valor obtido, é calculado o teor de potássio presente na amostra. (MANUAL..., 2017)

Para análise dos macronutrientes secundários, cálcio e magnésio, ocorre o mesmo ataque, avolumação e filtração do P₂O₅ total. Porém, após a filtração, a alíquota é recolhida e

adicionada solução de sulfato de ferro III e amônio 13,6%, então seu pH é ajustado em 5 para que ocorra a complexometria com EDTA no final da análise. Após o ajuste do pH, há uma nova avolumação e filtração. Para o cálcio: à alíquota, é adicionado água, solução de cianeto de potássio + hidróxido de potássio (chamada de solução veneno), solução de trietanolamina 50%, solução de ferrocianeto de potássio 4% e indicador calcon. Para o magnésio, é adicionado também uma solução tampão de pH 5, e, substitui a solução veneno por solução cianeto de potássio 2% e o indicador utilizado é o preto de eriocromo. Em ambas análises, são tituladas com solução EDTA 0,4% e, através dos volumes gastos e cálculos os teores de Ca e Mg são obtidos. (MANUAL..., 2017)

Para análise do macro secundário, enxofre, o ataque da amostra é realizado com solução de ácido clorídrico 1:1 em aquecimento. Após redução de volume, segue-se a filtração, lavagem do filtrado e precipitação através da solução de cloreto de bário 10%. A amostra é então filtrada em cadinhos de porcelana de placa porosa através de bomba à vácuo e levado para a mufla a 250°C. Após esfriamento em dessecador, é pesado em balança semi-analítica, através da diferença do peso do cadinho vazio e cálculos é obtido o teor de enxofre na amostra. (MANUAL..., 2017)

Para análise dos micronutrientes, zinco, manganês e cobre, a amostra sofre um ataque com ácido clorídrico P.A. em aquecimento, e após secagem, ácido clorídrico 1:5 também em aquecimento. Após esfriamento, ocorre a avolumação e filtração, a alíquota e diluições são previamente calculados a depender da garantia no produto. A alíquota calculada é avolumada em um balão volumétrico de 50mL com ácido clorídrico 0,5 mol.L⁻¹ e em seguida é realizada a leitura no espectro de absorção atômica a partir da construção das curvas de calibração e leitura de padrões de Zn, Mn e Cu respectivamente. Com esses valores, os teores desses micronutrientes podem ser calculados e obtidos. (MANUAL..., 2017)

Na análise do micronutriente Boro, o ataque é feito com água e ácido clorídrico em aquecimento e agitação. Após, é adicionado bicarbonato de sódio e nitrato de chumbo 10% para eliminação de impurezas e indicador vermelho de metila. Após o repouso de 30 minutos, é filtrada e titulada com ácido clorídrico P.A. e colocada novamente para aquecimento e posterior esfriamento. Sob agitação, seu pH é ajustado em 6,30 através de soluções de HCl e NaOH ambos de concentração 0,5 mol.L⁻¹. É então adicionado manitol e em seguida titulado com solução hidróxido de sódio 0,025mol.L⁻¹ até atingir o pH 6,30 novamente. A partir do volume gasto e cálculos, o teor de boro é obtido. (MANUAL..., 2017)

As análises de pH, acidez e umidade também são realizadas com a amostra triturada. A análise de pH é feita sob agitação sem aquecimento em que a amostra é solubilizada com água

e é inserido o eletrodo do pHmetro em que é feita a verificação. A análise de acidez é realizada através da agitação sem aquecimento da amostra com acetona P.A. e posterior filtração, após é titulado com hidróxido de sódio $0,1\text{mol.L}^{-1}$, e com o volume obtido e através dos cálculos é encontrado a porcentagem de acidez do produto. A umidade é realizada em uma estufa à vácuo à uma temperatura de 65°C durante uma hora, onde o cadinho de alumínio é previamente pesado seco e vazio e após a o tempo na estufa e posterior esfriamento em dessecador é pesado novamente, a partir desses dados é obtido a umidade em porcentagem. (MANUAL..., 2017)

Para a granulometria a amostra ainda granulada precisa ser previamente quarteada para que haja homogeneização de toda a amostra, uma vez que serão utilizados apenas aproximadamente 250g da mesma, é utilizado o quarteador de Johnes para esse tipo de processo. Para a análise granulométrica, é utilizado um conjunto de seis peneiras, de malhas 4,8mm; 4,0mm; 3,0mm; 2,5mm; 2,0mm; 1,0mm e o fundo, arranjadas uma sobre a outra, começando da de maior abertura (#4,8) à de menor (#1,0), sendo o fundo a base, e colocadas em um agitador de peneiras com vibração e tempo determinados. Em seguida, são pesadas separadamente em balança analítica. Através dos cálculos são obtidos a porcentagem dos grãos em cada malha. Há um limite pré-determinado pelo MAPA na comercialização dos fertilizantes granulados, passível de multa caso o fabricante não cumpra com as exigências. (MANUAL..., 2017)

A partir da análise granulométrica, é realizada a análise de dureza, em que é verificada a dureza do grão formado. Através das massas dos grãos em cada malha, após a agitação, é determinada a quantidade de grãos a serem selecionados (através de fórmula), no total são dez. Cada grão é inserido no durômetro em que é aplicado uma força até a quebra do grão. Com os valores obtidos em kgf é realizada uma média, sendo esta a dureza dos grãos daquela amostra. (MANUAL..., 2017)

As análises de densidade líquida e compactada também são realizadas com a amostra ainda granulada onde são utilizados uma proveta de 500mL e balança analítica. Essas análises são de grande importância principalmente no armazenamento dos produtos, pois são esses dados que determina a quantidade em kg ou t em uma pilha de produto.

Todas essas análises estão descritas no manual de fertilizantes do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, estão especificadas também os limites toleráveis dos teores dos produtos, e, para isso, são realizadas auditorias aleatórias pelo órgão para a comprovação dos dados fornecidos pelo fabricante tanto na fábrica quanto nos clientes (no campo). Qualquer divergência, poderá acarretar em multas e até fechamento da unidade de fabricação a depender da irregularidade. Por tudo isso também, fica claro a importância de se

ter um laboratório de controle de qualidade que atue rigorosamente em seus procedimentos de análise garantido total conformidade do produto acabado.

6. ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

A indústria de fertilizantes é frequentemente considerada agressiva ao meio ambiente, devida sua dependência direta com a exploração mineral, seja na obtenção de matérias-primas, como escavações, desmatamento, explosões de modo a sedimentar a rocha interferindo no relevo da região, no clima e no ecossistema local até suas emissões quando são produzidos. Particularmente, com relação aos níveis elevados de nitratos nos suprimentos de água, níveis de nitrato e fósforo nos corpos de água levando à eutrofização, além de gerar emissão de óxidos de nitrogênio e de enxofre, flúor, particulados e vapores ácidos ao ar. Além disso, há produção de efluentes líquidos como amoniacais e ácidos, que demandam cuidado para que não ocorra contaminação no solo, no ar e em corpos hídricos, quanto ao descarte (CUNHA, 2017).

A grande maioria das más consequências ambientais no manejo de nutrientes resulta do excesso de nutrientes no solo acima da quantidade usada pela cultura em um tempo certo. Esse excesso, conduz a perdas potenciais, resultando em poluição da água e do ar. A adoção das MPMFs (Melhores Práticas de Manejo de Fertilizantes) pode reduzir os impactos ambientais. Diminuir o uso de fertilizantes não é a melhor solução, mudanças precisam ser realizadas em todo o sistema de produção das culturas para alcançar os benefícios ambientais através da mudança das práticas de manejo dos nutrientes. De fato, um programa de uso de fertilizantes bem balanceados, juntamente com uma estratégia de manejo para altas produtividades, em geral, irá manter a maior parte dos nutrientes disponível para as culturas (REETZ, 2017).

Conforme a necessidade, há leis que regulamentam cada área da produção, visando diminuir o máximo possível dos impactos no meio ambiente. A empresa produtora deve conhecer e mensurar cada parte do processo para que alcance os limites permitidos, dando prioridade a essas questões, sendo ainda acompanhadas pelo órgão ambiental do estado, no caso de Alagoas, o IMA, e por meio também do Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas do Ministério da Agricultura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o acelerado crescimento populacional e os constantes desgastes dos solos, aumentou-se muito a demanda de alimentos, e assim a necessidade de maior produtividade. Para isso, é de extrema importância os estudos do solo e estudos das plantações, tendo o objetivo de aumentar essa produtividade e corrigir as perdas. Sendo assim, aplica-se então o uso de fertilizantes minerais para suprir essa escassez. É uma técnica que está em constante desenvolvimento, sua indústria tornou-se uma das principais e de suma importância a nível mundial uma vez que a demanda sempre aumenta.

Mesmo com tantas dificuldades ao longo do caminho, principalmente de preço, a indústria de fertilizantes se sobressai no contexto econômico, mesmo com altos e baixos do mercado internacional, porém, ainda é preciso aumentar a produção no Brasil, pois as importações ainda são muito elevadas, o que impacta no preço do fertilizante, uma vez que é definido pelo mercado internacional. Em Alagoas, apesar de ser um estado em que a agricultura tem grande participação, o mercado de fertilizantes ainda se apresenta tímido, mas com potencial de crescimento, pois o estado abriga importantes indústrias do segmento.

Seus processos de produção precisam ser constantemente avaliados para que haja melhoria contínua, desde o recebimento de matéria-prima, enquanto produzido, a logística para atender a demanda até os possíveis impactos que podem ser gerados, afim de minimiza-los.

É um setor promissor, em que constantes estudos e pesquisas estão sendo desenvolvidos para resolver seus principais problemas, como as importações, o preço do fertilizante, por meio da substituição de novas matérias-primas, por exemplo, dando prioridade as nacionais, e ainda a redução dos impactos ambientais causados pelo setor de fertilizantes.

REFERÊNCIAS

AMARAL, G. F., GUIMARÃES, D. D. **Panorama 2030: Agropecuária**. BNDES. p. 36-42. Rio de Janeiro. 2018.

ATRAÇÃO DE INVESTIMENTOS - BRAZIL 4 BUSINESS. 2018. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/brazil-4-business/estados/pt-al/>. Acesso em: 06/08/2019.

BARROS, G.; RENNÓ, N.; GILIO, L. **PIB do agronegócio brasileiro**. 2019. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 06/08/2019.

BERC, J. L. **Sustainable soil and land management**. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00304-0>. Acesso em: 13/08/2019.

COSTA, L. M.; SILVA, M. F. O. A indústria Química e o setor de fertilizantes. **BNDES 60 anos**. Rio de Janeiro. 50 p. 2016.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. S.; FIGUEIREDO, V. S. **Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro**. BNDES 2 Setorial 45. p. 137-187. 2012.

CUNHA, L. G. S. **Cenário e desafios da indústria de fertilizantes**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20598>. Acesso em: 06/08/2019.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, n. 24, p. 97-138. Rio de Janeiro. 2006.

ENTENDA PORQUE INVESTIMOS EM FERTILIZANTES. Fatos e dados - Petrobras. 2014. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/entenda-por-que-investimos-em-fertilizantes.htm>. Acesso em: 20/03/2019.

EVOLUÇÃO DO CONSUMO APARENTE DE FERTILIZANTES E MATÉRIAS-PRIMAS. International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2018. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>. Acesso em: 12/08/2019.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. Disponível em: http://www.dcs.ufra.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acesso em 26/03/2019.

FERNANDES, N. J. **Estudo da fluidodinâmica e da secagem de um secador rotatório da indústria de fertilizantes**. 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15275/1/nilson.pdf>. Acesso em 14/08/2019

FERREIRA, Y. **A indústria nacional de fertilizantes e a agricultura**. Unicamp. São Paulo. p. 124. 2002.

FERTILIZER INDUSTRY HANDBOOK. Yara. 2018. Disponível em: <https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2018/fertilizer-industry-handbook-2018.pdf/>. Acesso em: 11/08/2019.

FONTANARI, G.; PEREIRA, L. **Relatório Semanal de Fertilizantes.** 2019. Disponível em: https://www.mercadosagricolas.com.br/relatorio/FERTILIZANTES_TENDENCIAS_SEMANAL.pdf. Acesso em 27/06/2019.

IMPORTAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS, FOSFATADOS E POTÁSSICOS NO BRASIL. Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal/ Globalfert. 2019. Disponível em: <https://abisolo.com.br/2019/04/24/importacao-de-fertilizantes-nitrogenados-fosfatados-e-potassicos-no-brasil/>. Acesso em: 10/08/2019.

INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS. International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2018. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/C9420017450E71B5832582C90061A14F/\\$FILE/Page1-14-162.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/C9420017450E71B5832582C90061A14F/$FILE/Page1-14-162.pdf). Acesso em: 12/08/2019.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade** funções, absorção e mobilidade. 2007. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A79657EA91F52F483257AA10060FACB/\\$FILE/Encarte-118.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A79657EA91F52F483257AA10060FACB/$FILE/Encarte-118.pdf). Acesso em: 06/08/2019.

LAVADOR DE GASES VENTURI. Eco Tech System. 2019. Disponível em: <http://ecotechsystem.com.br/site/equipamentos/lavador-de-gases-venturi/>. Acesso em: 09/08/2019.

Livreto: **Desempenho da Indústria Química Brasileira.** Abiquim. São Paulo. 20p. 2018. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. p. 4-76. 2017.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **Histórias das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea.** São Paulo: ed. UNESP. DF. p. 53-93. 2010.

OLIVEIRA JR., P. H. B. **Notas sobre a história da agricultura através do tempo.** Projetos Tecnologias Alternativas – FASE. RJ. 73p. 1989.

PESQUISA SETORIAL - MACRO INDICADORES. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). São Paulo. 2019. Disponível em: <http://anda.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 06/08/2019.

RAVEN, H.P.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal.** 5ª ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan. 728 p. 1996.

REETZ, H. F. **“Fertilizantes e seu uso eficiente”.** 2017. Disponível em: <http://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em 17/03/2019.

ROQUETTI, D. **Câmara temática de insumos agropecuários**. 2018. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/insumos-agropecuarios/2018/94aro/94a_ctia_19_02_2018.pdf. Acesso em: 07/08/2019.

SARGAÇO PODE SER USADO COMO ADUBO DE QUALIDADE COMPROVADA. Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal/ Gazeta Web. 2016. Disponível em: <https://abisolo.com.br/2016/07/02/sargaco-pode-ser-usado-como-adubo-de-qualidade-comprovada/>. Acesso em 12/08/2019.

SILVÉRIO, B. C. **Estudos fluidodinâmicos e de secagem de fertilizantes em secadores rotatórios concorrentes**. 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/1514>. Acesso em: 13/08/2019.

WILLIAM, F. **A indústria Química e seu desenvolvimento no âmbito da engenharia**. Revista brasileira de Engenharia Química. v. 30. 36p. 2014.