



UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



CENÁRIOS E DESAFIOS DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

LUIZA GONZAGA SREELDIN CUNHA

UBERLÂNDIA-MG

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

CENÁRIOS E DESAFIOS DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

LUIZA GONZAGA SREELDIN CUNHA

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Química.

UBERLÂNDIA-MG

2017

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE LUIZA GONZAGA SREELDIN
CUNHA APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA,
EM 18/12/2017.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^ª. Marina Seixas Pereira
Orientadora – FEQUI/UFU

Msc. Gustavo Paiva Ribeiro
PPGEQ FEQUI/UFU

Prof. Marcos Antônio de Souza Barrozo
FEQUI/UFU

DEDICATÓRIA

*Ao meu pai, Silvair
e meu namorado, Matheus.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua graça infinda, seu amor e cuidado, me guiando e por conceder a oportunidade de finalizar mais esta etapa da vida.

Agradeço ao meu pai por sempre me apoiar e fazer o possível para me oferecer sempre o melhor, sempre orando por mim.

Ao amado Matheus que sempre esteve ao meu lado me amparando e motivando, e com quem pretendo continuar meus sonhos.

À minha orientadora Marina Seixas Pereira pela oportunidade, incentivo e paciência, me proporcionando crescimento pessoal e profissional.

Aos professores Marcos Antônio de Souza Barrozo e Humberto Molinar Henrique pelo apoio e atenção, me enriquecendo com seus conhecimentos.

Ao amigo Gustavo Ribeiro pela colaboração, disponibilidade e paciência.

À minha amiga Letícia que sempre me ajudou e se tornou uma companheira de curso.

À minha amiga Raphaela que mesmo longe sempre ora por mim e se preocupa comigo.

Ao amigo Cláudio Filho que sempre me ajuda.

E aos demais familiares e amigos que contribuíram no meu crescimento profissional.

“Confia no Senhor de todo o teu coração e não te estribes no teu próprio entendimento. Reconhece-o em todos os teus caminhos, e Ele endireitará as tuas veredas.”

Provérbios 3: 5-6

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	História da Agricultura.....	1
1.2	A Necessidade das Plantas	2
1.3	A Fertilidade do Solo	6
2	Fertilizantes.....	8
2.1	O Que São Fertilizantes.....	8
2.2	O Mercado.....	14
2.2.1	Cenário Mundial.....	14
2.2.2	Cenário Brasileiro	16
3	Produção	20
3.1	Cadeia Produtiva	20
3.2	Fosfatados.....	21
3.3	Potássicos	23
3.4	Nitrogenados	24
4	Processo produtivo.....	26
4.1	Superfosfato Simples (SSP)	32
4.2	Superfosfato Triplo (TSP).....	33
4.3	Fosfatos de Amônio (MAP e DAP)	34
4.4	Termofosfatos.....	35
4.5	Aspectos Ambientais.....	36
5	Secagem.....	38
5.1	Secagem de Fertilizantes	39
5.2	Outros Meios de Secagem.....	41
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

Lista de figuras

Figura 2.1 - Fórmula de fertilizante.....	12
Figura 3.1 - Cadeia Produtiva dos Fertilizantes.....	20
Figura 3.2 - Rota de Produção dos Principais Fertilizantes Fosfatados no Brasil.....	22
Figura 3.3 - Rota de Produção de Fertilizantes Nitrogenados.	25
Figura 4.1 - Ciclo produtivo dos fertilizantes minerais.	26
Figura 4.2 - Etapas de beneficiamento do minério.	27
Figura 4.3 - Cadeia Produtiva Fosfatados.....	28
Figura 4.4 - Fluxograma simplificado do processo contínuo de produção de superfosfato.	32
Figura 4.5 - Esquema de Produção de Fosfatos de Amônio.....	34
Figura 4.6 - Fluxograma simplificado do processo de fabricação de MAP pó.	35
Figura 5.1 - Esquema de um secador rotatório com cascadeamento.....	40

Listas de Tabelas

Tabela 1.1 - Os elementos e sua importância para as plantas.....	4
Tabela 2.1 - Demanda Global de Fertilizantes (Mt).	15
Tabela 2.2 - Mercado Brasileiro de Fertilizantes.....	19
Tabela 3.1 - Produção e reservas mundiais de fosfato.....	21
Tabela 3.2 - Características químicas dos Principais fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil.....	23
Tabela 3.3 - Produção e reservas mundiais de potássio.....	23
Tabela 3.4 - Composição química dos principais fertilizantes potássicos comercializados no Brasil.....	24
Tabela 3.5 - Produção e reservas mundiais de amônia..	24
Tabela 3.6 - Características químicas dos principais fertilizantes nitrogenados no Brasil.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS

$B(OH)_4^-$	Ânion Tetrahidróxido de Boro
MoO_4^{2-}	Ânion Molibdato
NH_4^+	Cátion Amônio
NO_3^-	Ânion Nitrato
SO_4^{2-}	Ânion Sulfato
<i>a.C.</i>	Antes de Cristo
<i>ADP</i>	Difosfato de Adenosina
<i>AND</i>	Associação Nacional para Difusão de Adubos
<i>ATP</i>	Trifosfato de Adenosina
$B(OH)_3$	Hidróxido de Boro
<i>BA</i>	Bahia
<i>BNDES</i>	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
<i>BPF</i>	Óleo Combustível Derivado do Petróleo de Baixo Ponto de Fluidez
<i>Ca</i>	Cálcio
<i>CaO</i>	Óxido de Cálcio
CH_4	Metano
<i>Cl</i>	Cloro
<i>CNA</i>	Citrato Neutro de Amônio
<i>Co</i>	Cobalto
<i>CO</i>	Monóxido de Carbono
CO_2	Dióxido de Carbono
<i>Cu</i>	Cobre
<i>DAP</i>	Fosfato de Diamônio
<i>DNA</i>	Ácido Desoxirribonucleico
<i>Fe</i>	Ferro
<i>FeS</i>	Pirrotita
FeS_2	Pirita
<i>GO</i>	Goiás
H_2	Hidrogênio
H_2O	Monóxido de Hidrogênio ou Água
H_2PO_4	Ácido Fosfórico

H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
H_3PO_4	Ácido Fosfórico
<i>HAP</i>	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
HNO_3	Ácido Nítrico
<i>K</i>	Potássio
K_2O	Óxido de Potássio
<i>MAP</i>	Fosfato de Monoamônio
<i>Mg</i>	Magnésio
<i>MG</i>	Minas Gerais
MgO	Óxido de Magnésio
<i>Mn</i>	Manganês
<i>Mt</i>	Mega Tonelada
<i>N</i>	Nitrogênio
<i>Na</i>	Sódio
<i>NADP</i>	Fosfato de Dinucleotídeo de Adenina
<i>Ni</i>	Níquel
O_2	Oxigênio
<i>P</i>	Fósforo
P_2O_5	Pentóxido de Fósforo
<i>PNFCA</i>	Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola
<i>RNA</i>	Ácido Ribonucleico
<i>RS</i>	Rio Grande do Sul
<i>S</i>	Enxofre
<i>Se</i>	Selênio
<i>SE</i>	Sergipe
<i>Si</i>	Silício
<i>SOP</i>	Superóxido Dismutase
<i>SP</i>	São Paulo
<i>SSP</i>	Superfosfato Simples
<i>TSP</i>	Superfosfato Triplo
<i>Zn</i>	Zinco

RESUMO

A base de qualquer cultura está enraizada em sua agricultura. Dentre os diferentes povos no planeta, todos buscam melhorias na produção de alimentos. Os diversos biomas apresentam variedades de climas, terras e nutrientes para se realizar o cultivo. Para suportar a produtividade, é imprescindível o cuidado com as condições do solo, e para tal se utilizam dos fertilizantes. Sua produção se origina na mineração e na produção de derivados do petróleo e seus subprodutos. Sua composição constitui principalmente de nitrogênio, fósforo e potássio, além de elementos secundários como molibdênio, zinco, manganês, entre outros.

No processo industrial de sua produção, a etapa de secagem é ponto crucial para um bom desempenho, afetando a granulometria, dureza, e revestimentos dos fertilizantes, além de ser uma das etapas mais dispendiosas, devido seu consumo energético. Tais propriedades é que garantirão a distribuição dos nutrientes de maneira correta ao solo. Sabe-se que sua produção ainda necessita de pesquisas e avanços. No Brasil, tal ramo industrial é novo, tendo início após a 2ª Guerra Mundial. Suas tecnologias foram importadas de países mais desenvolvidos na época, e adaptadas para a região.

Apesar de apresentarem bons resultados na época, estudos recentes observam que ainda há oportunidades de melhoria, devido a perdas na aplicação, composição, ou no processo produtivo. As técnicas oriundas de regiões com climas temperados e solo de diferentes formações, devem ser adequadas devidamente ao clima tropical brasileiro e seu solo sedimentar e argiloso. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é expor a importância da utilização dos fertilizantes na agricultura, apresentar seus meios de produção e propor técnicas alternativas para o processo de secagem.

Palavras-chave: fertilizantes, fosfatados, microondas, nutrientes, secagem, solo.

ABSTRACT

Agriculture is a long-standing tradition where any culture starts, among the world population, each one of them seeks improvements in food production. The variety of biomes existing on earth presents different kinds of climates, soils and nutrients to ensure cultivation. To support this productivity it is undeniable the attention to soil conditions, and for that there are fertilizers. Its production begins in mining, in oil derivatives, and by-products production. Its composition is principally of nitrogen, phosphorus, and potash, besides secondary elements like molybdenum, zinc, manganese and others.

In fertilizers industrial process the drying step is a crucial point to ensure good performance, affecting the grain size, hardness, and lining of fertilizers; besides it is one of the most burdensome steps, due to its power consumption. Such properties will secure the right distribution of nutrients into the soil. However, fertilizers production still needs research and advances. In Brazil, the industrial field is new, beginnings after the World War 2nd, its technologies were imported from more developed countries at the time and suited to the region.

Even with the good results of researchers, recent studies observe the need for improvement, due to the application, composition, or productive process lost. The techniques arising in temperate climates and soil different formation must be properly suitable for Brazilian tropical climate and its sedimentary, clayey soil. In this context, the objective of this work is to expose the importance of fertilizers used in agriculture, present its means of productions and suggest alternative techniques to the drying process.

Keywords: Drying, fertilizer, microwave, nutrients, phosphates, soil.

1 INTRODUÇÃO

1.1 História da Agricultura

Desde os primórdios é reconhecida a importância da agricultura para o ser humano. No período neolítico, menos de 12 mil anos a.C., há medida que se esgotavam os recursos da região, os ancestrais caçadores, pescadores e colhedores se mudavam. Encontrando locais de conservação, tanto em produtos vegetais (grãos e frutos secos, por exemplo) quanto animal (pontos de passagem obrigatória de migrações, ou em beira mar ou rios ricos em peixes), era montado acampamento e devido à riqueza da região podiam permanecer por estações. O homem então inicia suas atividades de cultivo e criação de animais, onde as primeiras formas de agricultura eram praticadas próximas a rios, onde a terra era fértil e não se exigia muito desenvolvimento (MAZOYER; ROUDART,1997).

O aprimoramento das práticas de cultivo e criação de animais, sendo dos tais, não apenas de uma espécie, mas se adequando a uma variedade, de acordo com o ecossistema da região, permitiu o desenvolvimento das primeiras aldeias e comunidades. Com o crescimento populacional, começou a necessidade de um aumento na produção de alimentos. O uso contínuo do solo começou a causar sua carência por nutrientes, e mesmo que se mudasse de região, com o tempo o problema se repetia. Começa-se então a aprimorar os cultivos com o uso de ferramentas, antes pedras e ossos talhados, e excrementos animais, como uma forma de melhorar a terra, de forma a se instalar acampamentos fixos e sedentários (MAZOYER; ROUDART,1997).

A revolução agrícola introduz o cultivo de cereais pluviais com alqueive, prática em que se lavra a terra e deixa descansar, associado a pastagens e criação. Um exemplo se dá pelos sistemas agrários hidráulicos do vale do Nilo, onde utiliza-se de culturas de inverno e sistemas de cultivo irrigado para as diversas estações. Ferramentas manuais, como pás e enxada, e tração são adicionadas à agricultura, promovendo o arado e preparo da terra. Nas regiões da Europa se utilizam de sistemas de cultivo de derrubada-queimada, o uso de tração leve e pesada com e sem alqueive (MAZOYER; ROUDART,1997). Em meados do século XVII inicia-se o emprego de sistemas de rotação de culturas, onde o sistema de cultivos era baseado na cerealicultura com forrageiras e sem alqueive. Este momento se consagra como a primeira revolução agrícola.

A revolução agrícola contemporânea surge na segunda metade do século XX, com 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 a ela, se origina a revolução verde, na década de 60, que era contrária à ideia de motorização e mecanização, mas se baseiava 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; ROUDART, 1997).

Se todos esses costumes adquiridos ao longo dos tempos fossem abandonados, se o homem deixasse de cultivar, a natureza retornaria ao seu estado inicial e selvagem semelhante a 10 mil anos atrás. Se isso acontecesse, este “jardim do Éden” sustentaria apenas meio milhão de pessoas, admitindo apenas a caça, pesca e colheita. Ou seja, os avanços tecnológicos na área agrícola são essenciais à sobrevivência (SOFA, 2015).

No contexto atual, com aproximadamente sete bilhões e meio de habitantes no mundo, as últimas estimativas sugerem que, globalmente, cerca de 815 milhões de pessoas ainda sofrem de subnutrição crônica, e a previsão sugere que, em 2030 mais de 650 milhões de pessoas ainda serão subnutridas (SOFA, 2015), o que significa que elas nem sempre dispõem de alimento suficiente para cobrir suas necessidades básicas. Uma alternativa que vem se mostrando eficiente é o desenvolvimento rural. O número de pessoas que vivem em áreas rurais tem aumentado o que influenciou diretamente no combate a fome e a pobreza. Nas últimas décadas aumentou o número de pessoas vivendo acima da pobreza moderada em mais de 1,6 bilhões de pessoas (SOFA, 2017).

Há uma previsão de que em 2050 o número de pessoas no planeta estará entre 9 e 11 bilhões (ONU, 2017). Admitindo não haver mais carências nem subnutrição no mundo, a quantidade de produtos vegetais destinados à alimentação dos homens e dos animais terá que dobrar no mundo inteiro. E para que esse aumento da produção agrícola tão significativo ocorra, a atividade agrícola deverá ser estendida e intensificada em todas as regiões do mundo em que isso for sustentavelmente possível.

1.2 A Necessidade das Plantas

Sabe-se que as plantas necessitam de água e sais minerais para sua manutenção celular e seu crescimento. Suas exigências são simples, comparadas a outros seres vivos. De forma resumida, ela precisa de energia luminosa para a fotossíntese, onde transforma CO₂ e água em compostos orgânicos, e alguns elementos químicos inorgânicos para sintetizar aminoácidos e vitaminas. Para que isso se cumpra, ela precisa absorver todo o material necessário do solo (RAVEN *et al*, 1996).

- Estrutura e metabolismo: O cálcio combina-se com ácido pécico na lamela média da parede celular vegetal. O fósforo se apresenta no DNA e RNA e nos fosfolipídios da membrana celular. O nitrogênio é o componente vital de aminoácidos, clorofilas e nucleotídeos. O enxofre é encontrado em dois aminoácidos, estando presente em proteínas.
- Osmose: A osmose é a troca de água feita pela membrana celular. Essa troca depende da concentração de solutos na célula e no meio vizinho. O equilíbrio é essencial para a vida celular, portanto, se entrar íons, a célula consequentemente absorve água. Esse aumento de pressão de turgor é responsável pela expansão de células imaturas, causando o crescimento celular e a manutenção da turgescência das células maduras. Como o cálcio tem efeito direto nas propriedades físicas da membrana celular, se houver deficiência, os solutos dentro delas poderão vazar.
- Catalisadores: Muitos nutrientes inorgânicos trabalham como catalisadores das reações enzimáticas das células, podendo ser ativadores ou reguladores. O potássio, por exemplo, atua em aproximadamente 60 enzimas.
- Transporte de elétrons: A base das atividades bioquímicas das células se dá por transferência de elétrons. O ferro está presente nos citocromos, por exemplo, trabalham transportando elétrons (RAVEN *et al*, 1996).

A Tabela 1.1 apresenta os inorgânicos mais comuns às plantas, sua forma de absorção, a faixa usual de concentração e algumas funções. Há elementos necessários por constituírem um composto ou molécula essencial; por estar presente na membrana celular; por fazer o controle de permeabilidade celular; por constituírem enzimas ou fazerem parte do sistema enzimático; para que ocorram reações bioquímicas, metabolismo; dentre outras funções.

Tantas atividades dependentes desses nutrientes comprovam sua real necessidade à planta. A ausência de algum dos elementos geralmente gera alguma anomalia, o que acarreta em problemas de crescimento e reprodução à planta. Cabe ao solo ofertar todos os nutrientes necessários à planta. Caso ele não seja fértil, a planta terá deficiências estruturais e funcionais.

Tabela 1.1 - Os elementos e sua importância para as plantas. Fonte: adaptado de RAVEN et al, 1996 - Modificado.

Elemento	Principal Forma na Qual o Elemento é Absorvido	Concentração Usual em Plantas Sadias (% ou ppm do Peso Seco)	Funções Importantes
Macronutrientes			
Carbono	CO_2	~44%	Componente de compostos orgânicos
Oxigênio	H_2O ou O_2	~44%	Componente de compostos orgânicos
Hidrogênio	H_2O	~6%	Componente de compostos orgânicos
Nitrogênio	NO_3^- ou NH_4^+	1-4%	Componente de aminoácidos, proteínas, nucleotídeos, ácidos nucléicos, clorofilas e coenzimas
Potássio	K^+	0,5-6%	Envolvido na osmose e balanço iônico e na abertura e fechamento de estômatos; ativador de muitas enzimas
Cálcio	Ca^{2+}	0,2-3,5%	Componente de parede celular; cofator de enzimas; envolvido na permeabilidade da membrana celular; componente da calmodulina, um regulador de membrana e atividade enzimática
Fósforo	H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}	0,1-0,8%	Componente de compostos fosfatados que encerram energia (ATP e ADP), ácidos nucléicos, várias coenzimas essenciais, fosfolipídios
Magnésio	Mg^{2+}	0,1-0,8%	Parte da molécula de clorofila; ativador de muitas enzimas
Enxofre	SO_4^{2-}	0,05-1%	Componente de alguns aminoácidos e proteínas e da coenzima A

Micronutrientes			
Ferro	Fe^{2+} ou Fe^{3+}	25-300 ppm	Necessário para a síntese de clorofila; componente dos citocromos e da nitrogenase
Cloro	Cl^-	100-10.000 ppm	Envolvido na osmose e balanço iônico; provavelmente essencial nas reações fotossintéticas que produzem oxigênio
Cobre	Cu^{2+}	4-30 ppm	Ativador ou componente de algumas enzimas
Manganês	Mn^{2+}	15-800 ppm	Ativador de algumas enzimas; necessário para integridade da membrana do cloroplasto e para liberação do oxigênio na fotossíntese
Zinco	Zn^{2+}	15-100 ppm	Ativador ou componente de muitas enzimas
Molibdênio	MoO_4^{2-}	0,1-0,5 ppm	Necessário para a fixação do nitrogênio e a redução do nitrato
Boro	B(OH)_3 ou B(OH)_4^-	5-75 ppm	Influencia a utilização do Ca^{2+} , a síntese de ácidos nucleicos e a integridade da membrana
Elementos Essenciais para Algumas Plantas ou Organismos			
Sódio	Na^+	Traço	Envolvido no balanço osmótico e iônico; provavelmente não essencial para muitas plantas; necessário para algumas espécies do deserto e mangues, podendo ser necessário para todas as plantas que utilizam a via C4 da fotossíntese
Cobalto	Co^{2+}	Traço	Necessário aos micro-organismos fixadores de nitrogênio

1.3 A Fertilidade do Solo

O solo se torna de extrema importância para as plantas, não somente para suporte físico, como também fornecedor de todos os nutrientes e água, incluindo um ambiente gasoso conveniente para o desenvolvimento das raízes. A terra é composta de 92 elementos de ocorrência natural, sendo sua maioria encontrada na forma mineral (RAVEN et al, 1996). A fertilidade de um terreno varia segundo características físicas, químicas e topográficas do seu fundamento geológico. O conceito de fertilidade se resume à capacidade de um ecossistema produzir de modo durável a biomassa vegetal. Essa biomassa possui a vantagem de compensar perdas de nutrientes, além de servir de alimento para animais e para o homem, porém sua presença aumenta a quantia de biomassa total a ser degradada pela natureza.

Solos virgens têm sua formação natural (rocha-mãe), por meio da decomposição de matéria orgânica morta, sob ação climática, química e biológica, e sua formação e evolução são lentas. Advindo intempéries às rochas, esses nutrientes se tornam acessíveis às plantas. Outro meio onde as plantas podem absorver alguns nutrientes é pela atmosfera.

Essas intempéries podem ser apresentadas como congelamento e degelo ou aquecimento e resfriamento, por conseguinte causando expansões e contrações às substâncias presentes nas rochas, de modo a rompê-las. Esses componentes minerais liberados de suas rochas-mãe podem estar solúveis ou não, e podem ser carregados pela água e ventos, sendo distribuídos ao solo, formando novos depósitos. Um exemplo são as rochas sedimentares formadas a partir deste processo. Ademais, sabe-se que o solo possui espaços porosos, oferecendo quantidades de oxigênio para as raízes.

Conjuntamente a isso, tem-se a presença de bactérias, fungos, algas, e demais micro-organismos que enriquecem o solo e degradam todo material orgânico morto, como folhas caídas ou corpos. Ao ser degradada, toda essa matéria devolve seus nutrientes ao solo, onde a planta poderá absorvê-lo. Esse processo representa o ciclo dos nutrientes, onde as plantas os retiram da terra, e ao final, a decomposição do material orgânico os retorna ao solo. Para cada elemento existe um ciclo mais específico, com organismos diferentes, apesar das semelhanças.

O processo de fertilização natural se dá pela presença do húmus. A matéria orgânica disposta no solo é decomposta por micro-organismos formando o húmus. Este é então oxidado, onde libera água, gás carbônico e sais minerais, que retornam ao solo. É a interação do húmus com a rocha-mãe que forma um complexo argilo-húmico, capaz de extrair sais minerais e água dos grandes reservatórios da rocha. A presença deste complexo no solo auxilia na circulação da água e do ar pelo solo. Em suma, o húmus favorece o

desenvolvimento de micro-organismos e plantas, sobretudo solubilizando a rocha-mãe, e viabilizando seus nutrientes (MAZOYER; ROUDART, 1997).

A liberação de todas essas substâncias é lenta, e os ciclos que cada material nutritivo sofre, infere em solos ricos ou pobres de soluções, sendo mais permeáveis ou erosivos. É de grande importância a presença de micro-organismos para que sejam fixados nutrientes ao solo e decomposta a biomassa. Sem eles, o solo se tornaria pouco fértil.

No caso do solo brasileiro, ele era reconhecido desde sua descoberta como de fertilidade sem fim, afirmativa que influenciou a agricultura até o início do século XIX (CAMARGO, 2010). Nessa época surgiram problemas na produção de cana-de-açúcar e café, que eram produtos importantes para a economia da época, o que impulsionou estudos e pesquisas relacionadas ao solo e sua fertilidade e o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas (DOMINGUES, 1995).

Sabe-se que a maior parte do Brasil é formada por rochas sedimentares, sendo em menor quantia rochas magmáticas e em menor caso rochas metamórficas. De acordo com o IBGE (2017) e a EMBRAPA (2014), o Brasil possui 13 diversificações de solo, sendo que desse há o predomínio de latossolo, argissolo, plintossolo e planossolo. Isso associa ao solo brasileiro um caráter argiloso, com acúmulo residual de óxidos, rico em ferro e alumínio.

No contexto atual já se desenvolvem diversos estudos voltados especificamente para as necessidades agrícolas, sendo que o Brasil já possui a maior e mais extensa agricultura tropical, em escala mundial. Dentre os desenvolvimentos pode-se citar a viabilidade de plantio no Cerrado, região de solo pobre, mas que pode ser adequado com auxílio de adaptação de genótipos, fixação de nitrogênio, semeadura direta, manejo de culturas, entre outros (CAMARGO, 2010).

Se um solo, por natureza se apresenta rico em nutrientes, e autorregulado, ele se diz com boa fertilidade. Seu condicionamento se dá pelo clima e geomorfologia, e se conserva pelo povoamento que lá se desenvolve. Caso contrário, é necessária a intervenção humana para adequá-lo ao cultivo. No cenário brasileiro, se observa que a maior parte de sua extensão territorial possui baixa produtividade agrícola devido seu condicionamento e formação rochosa. Dentre os meios possíveis de enriquecimento do solo e adequação ao plantio existe a utilização dos fertilizantes.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é expor a importância da utilização dos fertilizantes na agricultura, apresentar seus meios de produção e propor técnicas alternativas para o processo de secagem.

2 FERTILIZANTES

2.1 O Que São Fertilizantes

Como dito anteriormente, é o solo quem fornece alimento à planta, solos férteis possuem seus ciclos de nutrientes regulados, o que se extrai, retorna. Porém, para o caso dos solos nos quais a taxa de liberação de nutrientes é menor do que a taxa de reposição, o solo tende a se deteriorar e as plantas irão se tornar miúdas e debilitadas.

Iniciam-se então pesquisas para suprir a nutrição mineral das plantas. Tais pesquisas visam compostos químicos compatíveis às necessidades de cada espécie vegetal e que sejam de fácil aplicação e economicamente viáveis. Dentre outros, surgem então os fertilizantes minerais.

De acordo com a legislação brasileira (DECRETO Nº 4.954, 2004), fertilizantes são substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas. Cada cultura necessita de quantidades específicas de nutrientes, e, após a colheita, o solo diminui sua reserva de nutrientes, devido à absorção da planta, neste ciclo ocorreria um desgaste do solo. Os fertilizantes são adicionados exatamente para repor os elementos retirados do solo, seja para suprir a necessidade, ou ainda para ampliar o potencial produtivo. Em suma, eles aumentam a produtividade agrícola.

Os fertilizantes são compostos por elementos químicos necessários ao bom desenvolvimento da planta. Tais elementos são classificados em macronutrientes, que compõem moléculas essenciais do vegetal, onde é necessária grande quantia e tem função estrutural; e os micronutrientes, que compõem enzimas e tem função reguladora, sendo de menor demanda.

O decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, apresenta os macronutrientes primários e secundários além dos micronutrientes como sendo:

- Macronutrientes Primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), expressos nas formas de Nitrogênio (N), Pentóxido de Fósforo (P_2O_5) e Óxido de Potássio (K_2O);
- Macronutrientes Secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), expressos nas formas de Cálcio (Ca) ou Óxido de Cálcio (CaO), Magnésio (Mg) ou Óxido de Magnésio (MgO) e Enxofre (S);

- Micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Silício (Si) e outros elementos que a pesquisa científica vier a definir, expressos nas suas formas elementares;

As plantas apresentam indicativos para cada tipo de deficiência, sendo dependentes da função de cada elemento em tal, e geralmente independem da espécie. Outro fator é a mobilidade os íons na planta. Íons N, P, K, Mg e Cl apresentam maior mobilidade, já os íons Ca e B são imóveis, sendo os demais de pouca mobilidade. Vale ressaltar que causas ambientais também geram alterações nas plantas e podem apresentar alguma semelhança às características de deficiências nutricionais (DIAS; FERNANDES, 2006).

O nitrogênio (N) atua em todas as fases da planta, crescimento, floração e frutificação. Ele promove a formação das proteínas e faz parte dos tecidos vegetais, ele é o nutriente mais exigido pelas plantas. Compondo a clorofila, por exemplo, ele se torna indiretamente responsável pela fotossíntese, pois é o pigmento verde, clorofila, que garante uma boa absorção da luz solar, garantindo energia para o sustento da planta. Pode ser absorvido nas formas iônicas NO_3^- e NH_4^+ . Seu excesso provoca um crescimento acelerado, folhas de cor verde escuro, retardam a floração, diminui a resistência a doenças e o ciclo de vida do vegetal. Sua carência ocasiona o aumento do sistema radicular, amarelamento e queda das folhas, reduz o crescimento foliar, provoca clorose foliar e os ramos caulinares se tornam avermelhados (DIAS; FERNANDES, 2006).

A presença do fósforo (P) na planta é a garantia de uma boa formação de compostos orgânicos. Ele é responsável pela produção de energia, participa ativamente na respiração, divisão celular e influencia todo o metabolismo do vegetal. Ainda estimula o desenvolvimento das raízes e perfilhamento e contribui na formação dos grãos e melhora seu valor nutritivo. Um dos seus nomes mais comuns na planta é o ATP, adenosina trifosfato, que são reservatórios temporários de energia. Seu surgimento vem da respiração aeróbica, onde libera energia, é essa energia que liga o fosfato inorgânico ao ADP, adenosina difosfato, formando assim o ATP. Essa ligação é reversível, permitindo assim que a planta guarde energia, e a use em seu metabolismo. Suas formas iônicas absorvíveis são H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} . Os sintomas que a planta apresenta quando deficiente de fósforo são necroses nas folhas e pecíolos, devido a uma redução no crescimento do caule e radicular, as células também deixarão de fazer seu metabolismo e morrerão. As folhas mais velhas se avermelham e as mais jovens tendem a escurecer ou ficarem verde-azuladas (DIAS; FERNANDES, 2006).

Outro macronutriente imprescindível é o potássio (K), que favorece a formação de raízes, amadurecimento dos frutos, diminui a perda de água da planta nos períodos secos,

provoca o espessamento dos tecidos, conferindo maior resistência ao acamamento e à doenças, entre outras funções. Sua principal atividade é ativar funções enzimáticas e prover manutenção da turgidez celular. Sua presença nos estomas da planta influencia a troca de gases com a atmosfera e a transpiração do vegetal. Sua forma absorvível é K^+ . A carência de potássio reduz o crescimento do vegetal, com clorose matizada (produção insuficiente de clorofila) das folhas, o que as deixa verde pálido ou amareladas. As folhas ainda apresentam manchas necróticas, se tornam recurvadas ou enroladas sobre a face superior e os entrenós se encurtam (DIAS; FERNANDES, 2006).

O enxofre (S) que compõe proteínas, associado ao nitrogênio, participa na formação de alguns aminoácidos essenciais ao metabolismo energético, e influencia a síntese de vitaminas e enzimas. Participa também do metabolismo de lipídeos, assimilação de CO_2 e descarboxilação, assim como na descarboxilação do piruvato e oxidação de alfacetoácidos. Ele é componente da glutatona e de hormônios. Está presente em óleos glicosídicos e compostos voláteis. De grande importância na formação de grãos e nódulos das leguminosas; quando ligado ao cálcio, ele favorece a migração dos nutrientes (LOUREIRO et al, 2009).

O cálcio (Ca), na forma de pectato, funciona como um ligante entre as células. Sua presença afeta o crescimento das raízes e dos topos. No vacúolo, ele se apresenta regulando o nível dos ânions oxalato, fosfato, carbonato. No citoplasma, a Ca-calmodulina é uma ativadora de enzimas influenciando nucleotídeos, a atividade energética da membrana e outras. Contribui para o fortalecimento da planta, principalmente raízes e folhas, é componente da parede celular vegetal, o que o encarrega da manutenção da mesma. Seu movimento é sempre das raízes para as folhas. Sem cálcio as raízes deixam de crescer e de se aprofundar, afetando a absorção de nutrientes e água (LOUREIRO et al, 2009).

O magnésio (Mg) também compõe a molécula de clorofila, sendo o centro do núcleo tetrapirrólico, o que o liga diretamente ao metabolismo energético da planta, incluindo ser cofator enzimático, onde sua função inclui a transição de fósforo entre ATPs e ADPs, auxiliando na absorção. Suas atividades incluem ativação de carboxilases e a estabilização dos ribossomos, que atuam na síntese protéica (LOUREIRO et al, 2009).

O ferro (Fe) é um ativo participante dos processos de oxirredução e transferências eletrolíticas. Compõe proteínas e enzimas, atuando no citocromo, na redução do nitrato e do sulfato, na fixação do N_2 e armazenamento de energia (NADP). É necessário à síntese de clorofila e à divisão celular, participa no desenvolvimento de troncos e raízes, atuando no crescimento do meristema da ponta da raiz (LOUREIRO et al, 2009).

O cobre (Cu) é um componente enzimático, participando da fotossíntese no transporte eletrônico; está presente nos mitocôndrios (oxidases do citocromo) atuando na respiração, contribui na redução do O_2 a H_2O ou H_2O_2 , a redução e fixação do nitrogênio (desaminação de compostos de NH_3). Ele também colabora na síntese da lignina e na proteção da planta. Em caso de dano por superóxido (O_2^-), o cloroplasto ativa três isoenzimas que formam a proteína dismutase de superóxido (SOD) que o reduzem à H_2O (LOUREIRO et al, 2009).

O boro (B) atua no transporte de açúcares pelas membranas, no metabolismo de carboidratos, no movimento da seiva e na formação da parede celular. Ele está ligado ao crescimento do meristema (células capazes de se dividirem indefinidamente, produzindo as novas células necessárias ao crescimento da planta), diferenciação celular maturação, divisão e crescimento, ou seja, influencia os tecidos vegetais os conferindo maior força e resistência, além de participar no desenvolvimento das folhas e brotos (LOUREIRO et al, 2009).

O manganês (Mn) participa da fotossíntese e da síntese de clorofila, atuando no processo de decomposição da água e transferência de elétrons. Ademais, ele se apresenta como cofator enzimático, como na polimerase do RNA, e contribui na neutralização de radicais livres. Juntamente com o zinco (Zn), o manganês participa na síntese do hormônio do crescimento, consequentemente na germinação do pólen e crescimento do tubo polínico (LOUREIRO et al, 2009).

O molibdênio (Mo) participa na assimilação de nitratos. Enquanto o cloro (Cl) participa da fotossíntese, do metabolismo e da transpiração das plantas. Ele atua na reação de decomposição fotoquímica da água, aumentando a liberação de O_2 e na fotofosforilação, ou seja, na síntese de ATP(energia) que ocorre durante a fotossíntese (LOUREIRO et al, 2009).

O cobalto (Co) compõe a vitamina B12, sendo uma fixação simbiótica do nitrogênio. Além de ativar diversas enzimas como a mutase e a etanolamina. A absorção por via foliar do elemento se torna lenta, quase imóvel, formando quelados nas folhas. Alterações de concentração também podem causar má formação floral e perturbar a absorção de ferro e manganês (LOUREIRO et al, 2009).

Outros elementos também possuem suas participações em quantidades reduzidas, como o níquel (Ni), que compõe a uréase, uma enzima responsável pela saúde da planta, e resistência à doenças como ferrugens; o selênio (Se), que juntamente com o níquel, atuam na fixação biológica do nitrogênio, além de ser constituinte do RNA; e Zinco (Zn) que atua em enzimas, ativando ou inibindo (LOUREIRO et al, 2009).

Devido à tamanha importância e requerer maiores quantidades, os macronutrientes elementares, nitrogênio, fósforo e potássio, se tornam a forma básica dos fertilizantes NPK,

onde a ordem indica os teores percentuais de nitrogênio, fósforo, e potássio (CEFER, 1980), como apresentado na figura 2.1. Os demais nutrientes também são necessários a uma boa nutrição, em menores quantias, mas, pelo ponto de vista econômico, sua valorização comercial não é tão significativa, o que faz com que as indústrias de fertilizantes não invistam tanto em sua produção.

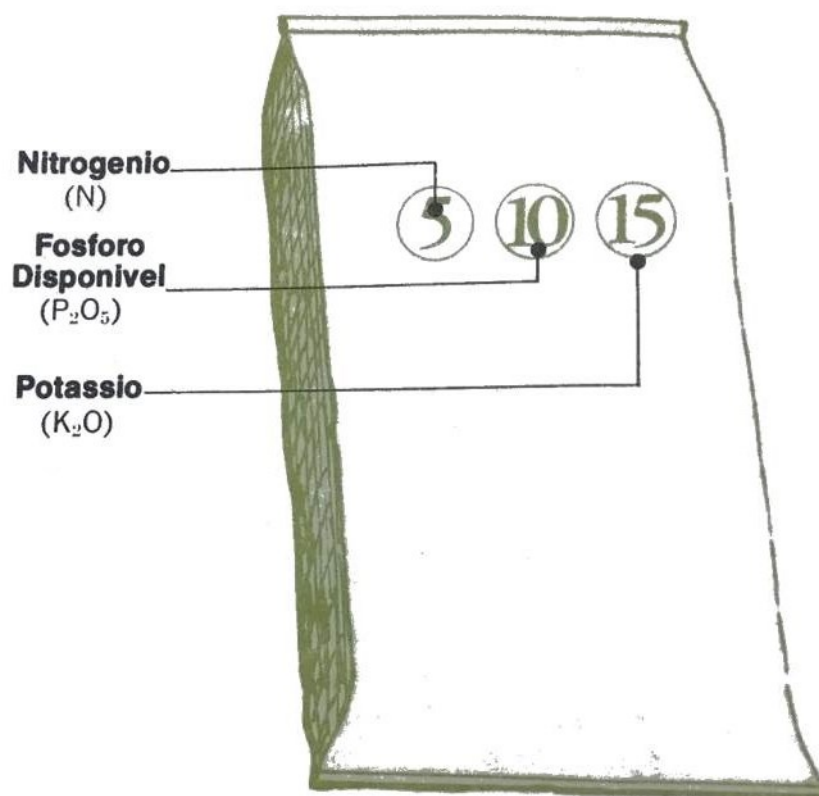


Figura 2.1 - Fórmula de fertilizante. Fonte: Cefer 1980.

Na legislação Brasileira (DECRETO Nº 4.954, 2004) os fertilizantes são classificados como sendo:

“a) Fertilizante Mineral: produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas;

b) Fertilizante Orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;

c) Fertilizante Mononutriente: produto que contém um só dos macronutrientes primários;

- d) Fertilizante Binário: produto que contém dois macronutrientes primários;
- e) Fertilizante Ternário: produto que contém os três macronutrientes primários;
- f) Fertilizante com Outros Macronutrientes: produto que contém os macronutrientes secundários, isoladamente ou em misturas destes, ou ainda com outros nutrientes;
- g) Fertilizante com Micronutrientes: produto que contém micronutrientes, isoladamente ou em misturas destes, ou com outros nutrientes;
- h) Fertilizante Mineral Simples: produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- i) Fertilizante Mineral Misto: produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes minerais; (Redação dada pelo Decreto nº 8.384, de 2014)
- j) Fertilizante Mineral Complexo: produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes;
- l) Fertilizante Orgânico Simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- m) Fertilizante Orgânico Misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- n) Fertilizante Orgânico Composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas; e
- o) Fertilizante Organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.”

Quanto à forma física, podem ser:

- Pó: sendo um produto com 95% das partículas menores que 2 mm de diâmetro e no mínimo 50% das partículas menores que 0,3 mm de diâmetro.
- Farelado: são fertilizantes com grânulos desuniformes, sendo partículas menores que 4,8 mm de diâmetro, e no mínimo 80% das partículas com diâmetro inferior a 2,8 mm. Há uma tolerância de 15% para partículas maiores que 4,8 mm de diâmetro.

- Granulado: devem apresentar grânulos uniformes com diâmetro inferior a 4 mm, podendo haver um máximo de 5% dos grânulos com diâmetro inferior a 05, mm.
- Líquido: fertilizante na forma líquida.

Usualmente, para se avaliar a qualidade do fertilizante se avalia sua:

- Granulometria: preferencialmente os grãos devem ser uniformes, próximos à esfera, e com tamanhos especificados por legislação. Grãos padronizados permitem boa regulação de equipamentos para aplicação, e influenciam na velocidade com que o fertilizante será dissolvido e distribuído.
- Consistência: Os grãos devem ter boa resistência física para que não esfarelem, gerando perdas, pois em sua armazenagem, os grãos inferiores suportam toda força peso da pilha acima deles.
- Fluidez: avalia a capacidade de livre escoamento do produto, que afeta à distribuição mecânica quando aplicado no plantio.
- Densidade: mais empregado para fertilizantes líquidos, o que afeta diretamente a fluidez dos mesmos.

Técnicas para enriquecer o solo vêm se tornando cada vez mais comuns com objetivo de melhorar a qualidade e aumentar a produtividade. Os fertilizantes estão sendo mais empregados, e quando associados a uma correção da acidez do solo. A acidez do solo prejudica a absorção de nutrientes pelas plantas, um solo não tratado, utilizaria uma maior quantia de fertilizante. Uma boa análise e correção melhoram o condicionamento da planta e economiza o uso de insumos, sua eficiência aumenta, gerando produtos de qualidade (CEFER, 1980; MALAVOLTA, 1967).

2.2 O Mercado

2.2.1 Cenário Mundial

O mercado dos fertilizantes é altamente dependente de flutuações nos preços das culturas, na situação de minas e tipos de produção, em sazonalidade, demanda, e outros fatores. Tudo isso faz com que seus valores se tornem às vezes imprevisíveis. A maior parte dos fertilizantes vendidos se dá na segunda metade do ano, mais especificamente de setembro a novembro. No Brasil ainda existe outra janela, a safrinha, que vai de março a abril. Devido a

melhorias genéticas e a épocas de chuva no país ser de outubro a março, o clima tropical garante uma segunda oportunidade de plantio, que a partir de março, com o estio, consome uma leva menor de insumos (MACEDO, 2009).

Em 2015 e 2016, os baixos preços das commodities agrícolas e o enfraquecimento da atividade econômica influenciaram no preço e na demanda de fertilizantes pelo mundo. A Tabela 2.1 apresenta a demanda global de fertilizantes, onde observa-se uma diminuição de 0,1%, para 183,1Mt, apesar do aumento de 0,1% na demanda de nitrogênio (N), havendo contrações nas demandas de fósforo (P) de 0,9% e potássio (K) de 0,2% (IFA, 2015).

Tabela 2.1 - Demanda Global de Fertilizantes (Mt). Fonte: IFA, Nov. 2015.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
2012/13	108,6	41,4	29,2	179,1
2013/14	109,9	40,5	30,4	180,7
2014/15 (e)	110,3	41,1	32	183,4
Variação	0,40%	1,60%	5,40%	1,50%
2015/16 (f)	110,4	40,8	31,9	183,1
Variação	0,10%	-0,90%	-0,20%	-0,10%
2016/17 (f)	112	41,6	33	186,6
Variação	1,40%	2,10%	3,30%	1,90%
(e) estimativa		(f) previsão		

De forma geral, nas regiões da América Latina e Oceania, a demanda vem diminuindo, efeito esperado devido a uma anterior expansão a alguns anos, e no oeste da Ásia devido tensões geopolíticas. O leste da Ásia permanece estagnado, enquanto no resto do mundo a procura aumenta, apesar desses aumentos não contrabalancearem os declínios. Comparados anualmente, as maiores mudanças vêm ocorrendo na América Latina, onde está havendo um declínio, e no sul da Ásia, onde se iniciou uma expansão.

A demanda de 2016 a 2017 é influenciada pela persistência dos baixos preços das culturas, já não mais em declínio, e pelo crescimento emergente de certas economias. Espera-se um crescimento de 1,9%, para 186,6 Mt, admitindo não haver mudanças no mercado agrícola. Na Índia houve um maior apoio ao equilíbrio da demanda de fertilizantes devido a uma mudança nas taxas de subsídios. Na China há uma melhora contínua no uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, causando um crescimento modesto de 1,4% para 112,0 Mt para N e 2,1%, 41,6 Mt relacionado ao P. Devido a isso, ocorre um firme crescimento na demanda de potássicos de aproximadamente 3,3%, para 33,0 Mt (IFA, 2015).

A demanda da Oceania é dependente do El Niño, supondo que não haja impacto negativo, deve haver um pequeno aumento. Na Europa Ocidental e Central a procura é dita como estável. É previsto uma forte expansão na Europa Oriental e Ásia Central, Sul e África.

Assumindo a redução de sanções contra o Irã, e condições climáticas amenas, o oeste da Ásia deve se recuperar, aumentando sua demanda firmemente. Já na América Latina, devido às condições econômicas no Brasil e na Argentina, espera-se um aumento da demanda. Um modesto avanço ocorre na América do Norte e no leste Asiático, uma vez que a influência se dá apenas pela melhora na eficiência do uso de fertilizantes.

Sendo feita uma análise de 2013 à 2016/2017, almeja-se um aumento na demanda global de apenas 3,3%. Dentre os quais, o destaca se dá nos fertilizantes potássicos com um acréscimo de 8,7%, seguido dos fosfatos (2,8%) e nitrogenados (2,0%). Neste mesmo período se constatou declínio apenas na América do Norte. Já o sul da Ásia registra a maior expansão, tanto em termos absolutos quanto relativos (IFA, 2015).

As evoluções dos regimes de subsídios para fertilizantes, dos mandatos de biocombustíveis e dos preços das commodities agrícolas e preços dos fertilizantes em relação aos preços das culturas; assim como o contexto econômico e geopolítico mundial, trazem grandes incertezas para as previsões citadas. Assim como variações climáticas e o surgimento de novas políticas destinadas a melhorar o desempenho da gestão de nutrientes, gerando limites e taxas ao uso de fertilizantes e aumentando o reciclo de fontes orgânicas de nutrientes.

No âmbito de fornecimento, 2015 caracterizou-se pela estagnação e poucas oportunidades comerciais, enquanto desde 2008 havia um aumento de disponibilidade nessa relação capacidade-fornecimento. Atualmente as indústrias de fertilizantes, de uma forma geral, vêm apresentando um excesso de produção, acarretando em grandes armazenamentos, apesar das vendas terem crescido. Fazendo comparação entre os anos de 2015 e 2014, houve um aumento modesto nas vendas totais de 2%, porém, os fertilizantes não apresentaram crescimento, sendo 78% das vendas totais (IFA, 2015).

Devido à quantia e disponibilidade de matéria-prima e as tensões políticas pelas quais o mundo atual se apresenta, a produção de fertilizantes vem se mostrando estagnada. Houve pouca ou nenhuma variação na produção dos principais tipos de fertilizantes, com exceção do aumento na produção de DAP. De forma genérica, pode-se afirmar que a indústria de fertilizantes, em 2015, operou a 78% da capacidade instalada (IFA, 2015).

2.2.2 Cenário Brasileiro

O Brasil possui ampla extensão agrícola e a necessidade por insumos sempre existiu. Com a abertura de uma nova oportunidade surgiram as primeiras fábricas em 1940, acompanhando o processo de industrialização no país, instaladas próximas a portos

marítimos, como em Cubatão (SP) e Rio Grande (RS). De início 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. 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), Quimbrasil (1945), Copas (1945), Fertisul (1948), entre outras (DIAS; FERNANDES, 2006).

Até a década de 60 as importações atendiam a demanda interna de matérias-primas para os fertilizantes, pois a produção local era limitada, restringindo-se à exploração de uma mina de fosfato descoberta em 1940, em Serrana (Grupo Bunge) no estado de São Paulo, e às unidades da Petrobrás de amônia, ácido nítrico, nitrato de amônio e nitrocálcio. Tendo ainda alguns pioneiros em superfosfato simples como a Elekeiroz (1949), Fosfanil (1952), Quimbrasil (1954) e Ipiranga-Fertisul (1959).

Outro grande passo para o país foi o surgimento da ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos, fundada em 13 de abril de 1967. Abrangendo desde grandes produtoras até pequenas empresas, a ANDA 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.

Em 1971 iniciou-se uma nova etapa no país com a utilização do gás natural como matéria prima na produção de amônia e uréia, em Camaçari (BA). A consolidação dos fertilizantes nitrogenados se dá graças a esta e à outra unidade em Laranjeiras (SE). E, apesar de ainda haver necessidade de importações, no mesmo ano já se revela uma enorme demanda, o que gera o 1º Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA), cujo objetivo era ampliar e modernizar a indústria de fertilizantes e calcário. Indo de 1974 a 1980, o PNFCA estimulou novas implantações de complexos industriais, incentivando a produção interna de matéria-prima e fertilizantes, o que inicia um declínio nas importações.

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 Goiásfertil 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 (DIAS; FERNANDES, 2006).

Com novas propostas de incentivos, no período de 1974 a 1980, 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, ainda houve um segundo Plano Nacional de Fertilizantes, de 1987 a 1995, com novas instalações e ampliações. Em 1990 a produção nacional 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 (atualmente Vale Fertilizantes).

Apesar de tantos avanços, o Brasil ainda necessita de um aumento na produção, uma vez que ela ainda 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, tecnologia, 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.

Atualmente no Brasil contamos com grandes nomes no setor de produção de fertilizantes como Fertilizantes Heringer; 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, Petrobrás Fertilizantes, entre outras.

Tabela 2.2 - Mercado Brasileiro de Fertilizantes. Fonte: ANDA, 2017 - Modificado.

Fertilizantes Entregues ao Mercado (em toneladas de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017/2016
Maio	2.629.361	2.066.726	2.353.852	2.450.954	4,1 %
Janeiro a Maio	10.276.020	9.044.199	10.195.626	10.248.714	0,5%
Total do Ano	32.209.066	30.201.993	34.083.415	10.248.714	

Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017/2016
Maio	744.557	708.216	757.000	698.286	-7,8 %
Janeiro a Maio	3.431.867	3.621.448	3.499.046	3.297.277	-5,8%
Total do Ano	8.817.680	9.115.260	8.999.817	3.297.277	

Importação de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017/2016
Maio	1.894.689	1.865.673	2.044.954	2.076.751	1,6 %
Janeiro a Maio	8.888.373	7.330.098	7.756.169	9.354.523	20,6%
Total do Ano	24.035.600	21.087.299	24.485.493	9.354.523	

Obs: Não inclui importações para uso não fertilizante (Fonte: Siacesp)

Principais Exportações de Fertilizantes e Formulações NPK (em tons. de produto)					
	2014	2015	2016	2017	2017/2016
Maio	66.393	52.728	38.257	43.036	12,5 %
Janeiro a Maio	293.003	210.977	129.377	130.906	1,2%
Total do Ano	676.601	526.173	549.444	130.906	

Estoques de Produtos Intermediários para Fertilizantes e Formulações NPK (em ton de produto)					
	2013	2014	2015	2016	2016/2015
30 de junho	6.793.912	6.957.032	n/d	n/d	12,0 %
31 de dezembro	5.005.697	5.659.184	5.404.242	5.070.505	-6,2%

Obs: Estoques disponíveis na Indústria (SSP e TSP na forma granulada)

De forma geral o Brasil vem crescendo moderadamente sua produção. No caso de fertilizantes intermediários, a Tabela 2.2 mostra que em 2015 houve um salto, mas o recuo de 2016 o aproximou dos valores de 2014 novamente. A quantia de fertilizantes entregue ao mercado vem crescendo gradativamente, com exceção de 2015. A taxa de exportação nacional, apesar de apresentar um aumento modesto de 2015 até os dias atuais, ainda não equivaleu à queda que houve de 2014 para 2015.

3 PRODUÇÃO

3.1 Cadeia Produtiva

A Figura 3.1 apresenta um esquema simplificado do processo de produção dos fertilizantes minerais, exibindo desde a matéria-prima, produtos intermediários, até à formulação NPK que será entregue ao consumidor.

A base para a produção se inicia na extração mineral, recolhendo matérias-primas básicas à produção, como o gás natural, derivados e resíduos do petróleo, como a nafta, pirita, além das rochas fosfáticas e potássicas. Depois de devido tratamento, as matérias-primas dão origem aos produtos intermediários que irão se tornar fertilizantes ao final. São eles o ácido sulfúrico, o ácido fosfórico, a amônia anidra, e fertilizantes simples como o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (TSP), o fosfato de monoamônio (MAP) e o fosfato de diamônio (DAP) (LOUREIRO et al, 2009).

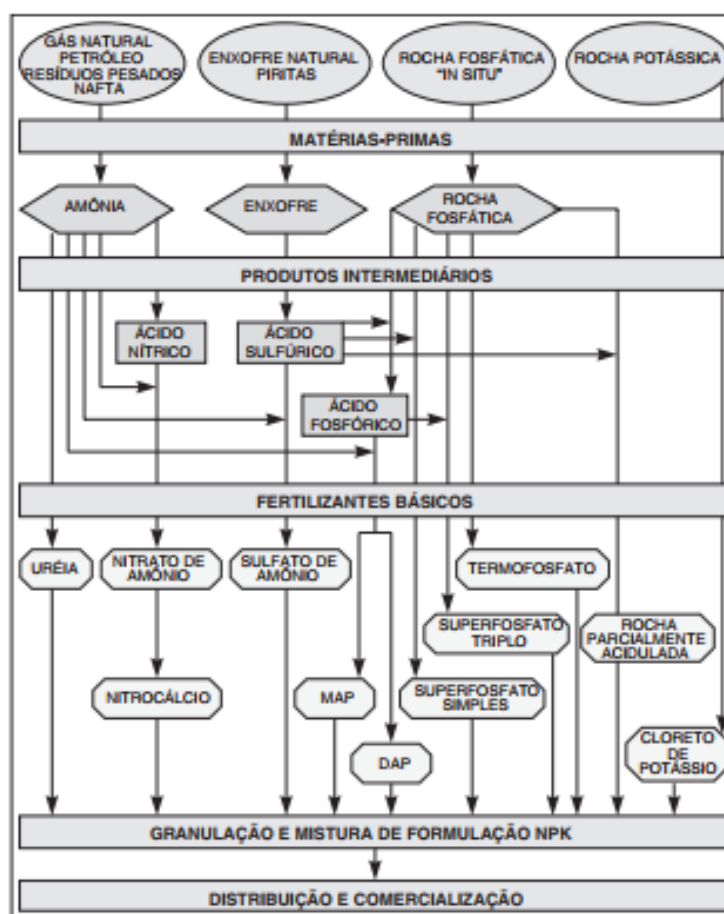


Figura 3.1 - Cadeia Produtiva dos Fertilizantes. Fonte: Petrofertil/Coppe - UFRJ, 1992 - Modificado.

Um dos problemas que a indústria vem tendo dificuldades é quanto ao transporte. Devido à vasta extensão brasileira, matérias-primas e alguns produtos percorrem grandes

distâncias até abastecerem as unidades industriais. Além disso, o problema se agrava devido ao fato de que alguns produtos estão sujeitos à normas especiais de transporte, como os ácidos por exemplo. Tal dificuldade vem sendo estudada e avaliada, para se melhorar e facilitar a locomoção dos produtos, como é o caso de minerodutos e gasodutos que vem sendo uma alternativa viável.

3.2 Fosfatados

Sendo um recurso mineral com perspectivas de exaustão das jazidas, o fósforo é encontrado na natureza na forma de fosfatos em rochas de forma bem distribuída pelo mundo. Essas rochas são formadas pela sedimentação, geralmente derivada de vida animal; ou ígneas, decorrente da atividade dos vulcões. Quanto à produção de fosfato para a indústria de fertilizantes, a Tabela 3.1 mostra que 73% de toda produção mundial se resume à China, aos Estados Unidos e a região do Marrocos, incluindo Saara Ocidental. Comparada a produção nos anos de 2013 e 2014, houve uma pequena redução pelos Estados Unidos e a China, enquanto a região do Marrocos expandia moderadamente, tendo um sutil recuo em 2015. O Brasil se encontra em sexto lugar, comandando 2,49% da produção mundial (U.S. Geological Survey, 2017).

Tabela 3.1 - Produção e reservas mundiais de fosfato. Fonte: U.S. Geological Survey, 2017 - Modificado.

Discriminação	Reservas (10^3 t P_2O_5)	Produção (10^3 t)			
Países	2016 ^(p) (1)	2013	2014	2015	2016 ^(p)
Brasil	320.000	6.750	6.514	6.100	6.500
China ⁽²⁾	3.100.000	108.000	100.000	120.000	138.000
Marrocos e Saara Ocidental	50.000.000	26.400	30.000	29.000	30.000
Estados Unidos da América	1.100.000	31.200	27.100	27.400	27.800
Rússia	1.300.000	10.000	10.000	11.600	11.600
Jordânia	1.200.000	5.400	6.000	8.340	8.300
Egito	1.200.000	6.500	6.000	5.500	5.500
Tunísia	100.000	3.500	5.000	2.800	3.500
Israel	130.000	3.500	3.600	3.540	3.500
Arábia Saudita	680.000	3.000	3.000	4.000	4.000
Peru	820.000	2.580	2.600	3.880	4.000
Outros países	8.050.000	19.570	17.250	18.840	18.300
TOTAL	68.000.000	226.400	127.064	241.000	261.000

(1) reserva lavrável (2) conforme dados de produção apenas para grandes minas, National Bureau of Statistics of China (p) dado preliminar.

No Brasil houve um pequeno decréscimo em 2014/2015 devido à exaustão da mina de Barreiro, em Araxá (MG), sendo ativada no lugar a mina F4. Devido a algumas novas aprovações e reavaliações nos últimos anos, as reservas brasileiras aumentaram desde 2014, com 270 Mt lavráveis, para 320 Mt em 2016 (DNPM, 2015).

As minas brasileiras de fosfato se encontram em Minas Gerais, municípios de Tapira (maior mina do país), Araxá, Patos de Minas e Lagamar; em Goiás, nas cidades de Catalão e Ouvidor; em São Paulo, nos municípios de Cajati e a mina de Serrote (Socal); na Bahia, nas cidades de Campo Alegre de Lourdes e Irecê; em Tocantins, na cidade de Arraias; e no Pará, em Bonito e Santa Maria do Pará.

Atualmente a maior parte da produção fica dividida entre as empresas Vale Fertilizantes, Anglo American e Galvani. A Figura 3.2 representa de forma simplificada a rota de produção dos fertilizantes fosfatados.

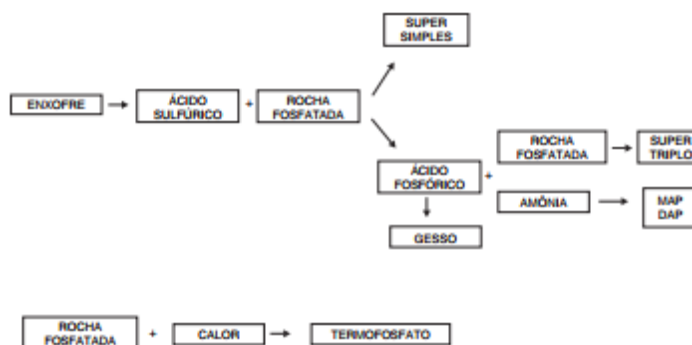


Figura 3.2 - Rota de Produção dos Principais Fertilizantes Fosfatados no Brasil. Fonte: Fertipar.

A Tabela 3.2 apresenta as concentrações de P_2O_5 solúvel em cada tipo de fertilizante. Para fertilizantes insolúveis em água, como os termofosfatos, fosfatos naturais e fosfatos naturais reativos, são apresentados os teores de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%. No caso dos fertilizantes solúveis em água, são considerados tanto os teores de P_2O_5 solúveis só em água quanto os solúveis em solução aquosa de citrato neutro de amônio (CNA).

Tabela 3.2 - Características químicas dos Principais fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. Fonte: Fertipar.

PRODUTO	P ₂ O ₅ Total %	P ₂ O ₅ Ác.Cítrico %	P ₂ O ₅ CNA+H ₂ O %	P ₂ O ₅ H ₂ O %	Ca %	Mg %	S %	N %
Supersimples			18	15	16		8	
Supertríplo			41	36	10			
MAP			48	44				
DAP			45	38				9
Termofosfato Mg	17	11			16	7		17
Fosfato Natural Reativo	27	30			28			
Fosfato Natural Reativo	24	4						

3.3 Potássicos

O potássio (K) pode ser encontrado em minerais como silvita, silvinita, carnalita e lagbeinita. Como os minerais já são encontrados em alto teor de potássio, sua produção se torna de custo inferior quanto comparada a outros tratamentos minerais. A agricultura usualmente utiliza do cloreto de potássio como forma de fertilizante. No cenário mundial, as maiores reservas de sais de potássio estão o Canadá, Bielorrússia, Rússia e China (U.S. Geological Survey, 2017).

De acordo com a Tabela 3.3, o Brasil é responsável por apenas 0,769% de toda a produção mundial, e a única empresa produtora de potássio é a Vale, na região de Taquari e Vassouras em Sergipe, que arrendou da Petrobras a mina. Outra reserva menor está situada no estado de Amazonas, na região de Nova Olinda do Norte, mas ainda não se iniciou o projeto de exploração. Até o ano de 2009 a produção vinha apresentando um pequeno crescimento, porém a partir do referido ano iniciou um decréscimo.

Tabela 3.3- Produção e reservas mundiais de potássio. Fonte: U.S. Geological Survey, 2017 - Modificado.

Discriminação	Reservas (10 ³ t K ₂ O)	Produção (10 ³ t)			
Países	2016 ^(p)	2013	2014	2015	2016 ^(p)
Brasil	13.000	311	311	293	300
Canadá	1.000.000	10.100	9.800	11.400	10.000
Bielorrússia	750.000	4.240	4.300	6.470	6.400
Rússia	860.000	6.100	6.200	6.990	6.500
China	360.000	4.300	4.400	6.200	6.200
Estados Unidos ⁽¹⁾	270.000	960	850	740	520
Alemanha	150.000	3.200	3.000	3.100	3.100
Outros países	897.000	5.120	5.740	5.507	5.980
TOTAL	4.300.000	34.331	34.601	40.700	39.000

(1) Os dados são arredondados para não mais de dois dígitos significativos para evitar a divulgação de dados proprietários da empresa (p) dado preliminar.

Por serem rochas de elevada porcentagem, o beneficiamento do minério não requer processos de tratamento com calor ou ácidos fortes. A Tabela 3.4 mostra a composição dos principais fertilizantes potássicos vendidos no Brasil.

Tabela 3.4 - Composição química dos principais fertilizantes potássicos comercializados no Brasil. Fonte: Fertipar.

PRODUTO	% K ₂ O	% S	% Mg	% Cloro	% N
Cloreto de Potássio	58			45	
Sulfato de Potássio	48	15	0-1,2	0,5-2,5	
Nitrato de Potássio	44				12
Sulfato de Potássio e Magnésio	20	20	10	1	

Como o Brasil não possui reservas suficientes para seu auto sustento, é necessária a importação de fertilizantes potássicos, criando assim uma dependência direta com o mercado mundial, seus preços de produto e sua capacidade produtiva. Para diminuir essa dependência, têm sido pesquisadas rochas nacionais que contenham potássio, e seu possível tratamento. Os melhores resultados encontrados até então são pela moagem de rochas silicáticas que contenham o mineral flogopita (DNPM, 2015).

3.4 Nitrogenados

A base para todos os fertilizantes nitrogenados é a amônia anidra (NH₃), que é um gás obtido pela reação do gás de síntese. O gás de síntese é uma mistura de nitrogênio, proveniente do ar, e hidrogênio, proveniente do gás natural, da nafta ou de derivados do petróleo, em uma relação 1:3. Atualmente o mais utilizado é o gás natural.

A Tabela 3.5 apresenta a produção mundial de amônia. O maior produtor atualmente é a China, com 46 Mt por ano, sendo responsável por aproximadamente 32,86% de toda a produção mundial. Mais da metade de toda produção está relacionada à China, Rússia, Índia e aos Estados Unidos. O Brasil não chega aparecer no ranking devido sua produção ser muito baixa, inferior a 1 Mt (U.S. Geological Survey, 2017).

Tabela 3.5 - Produção mundial de amônia. Fonte: U.S. Geological Survey, 2017 - Modificado.

Discriminação	Produção (10 ³ t)	
	2015	2016
China	46.000	46.000
Rússia	12.000	12.000
Índia	10.800	11.000
Estados Unidos da América	9.590	9.800
Indonésia	5.000	5.000
Trinidad e Tobago	4.700	4.700
Arábia Saudita	4.100	4.100

Canadá	4.000	4.000
Qatar	3.050	3.000
Paquistão	2.700	2.700
França	2.600	2.600
Outros países	36.460	35.100
TOTAL	141.000	140.000

A rota de produção dos fertilizantes nitrogenados é demonstrada na Figura 3.3. Convém ressaltar que ela participa da produção de alguns fertilizantes fosfatados, como o MAP, DAP e superfosfato simples amoniado.

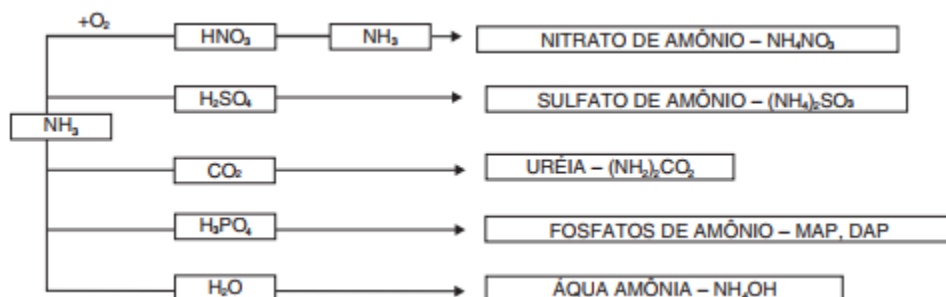


Figura 3.3 - Rota de Produção de Fertilizantes Nitrogenados. Fonte: Fertipar.

A Tabela 3.6 apresenta a composição dos principais fertilizantes nitrogenados comercializados no Brasil.

Tabela 3.6 - Características químicas dos principais fertilizantes nitrogenados no Brasil.
Fonte: Fertipar.

MATÉRIA-PRIMA	% N TOTAL	% N-NO ₃	% N-NH ₄	% N-ORG.	% S
Amônia Anidra	82			82	
Uréia	45				45
Sulfato de Amônio	20			20	
Nitrato de Amônio	34	16	16		
MAP	9			9	
DAP	17			17	

4 PROCESSO PRODUTIVO

No Brasil atualmente seus maiores complexos industriais para produção de fertilizantes são voltados para a produção de fosfatados e nitrogenados. Como o enfoque neste trabalho é para os fertilizantes de origem mineral, será desenvolvida a produção dos fertilizantes fosfatados.

O ciclo produtivo para fertilizantes minerais em geral se apresenta na Figura 4.1:

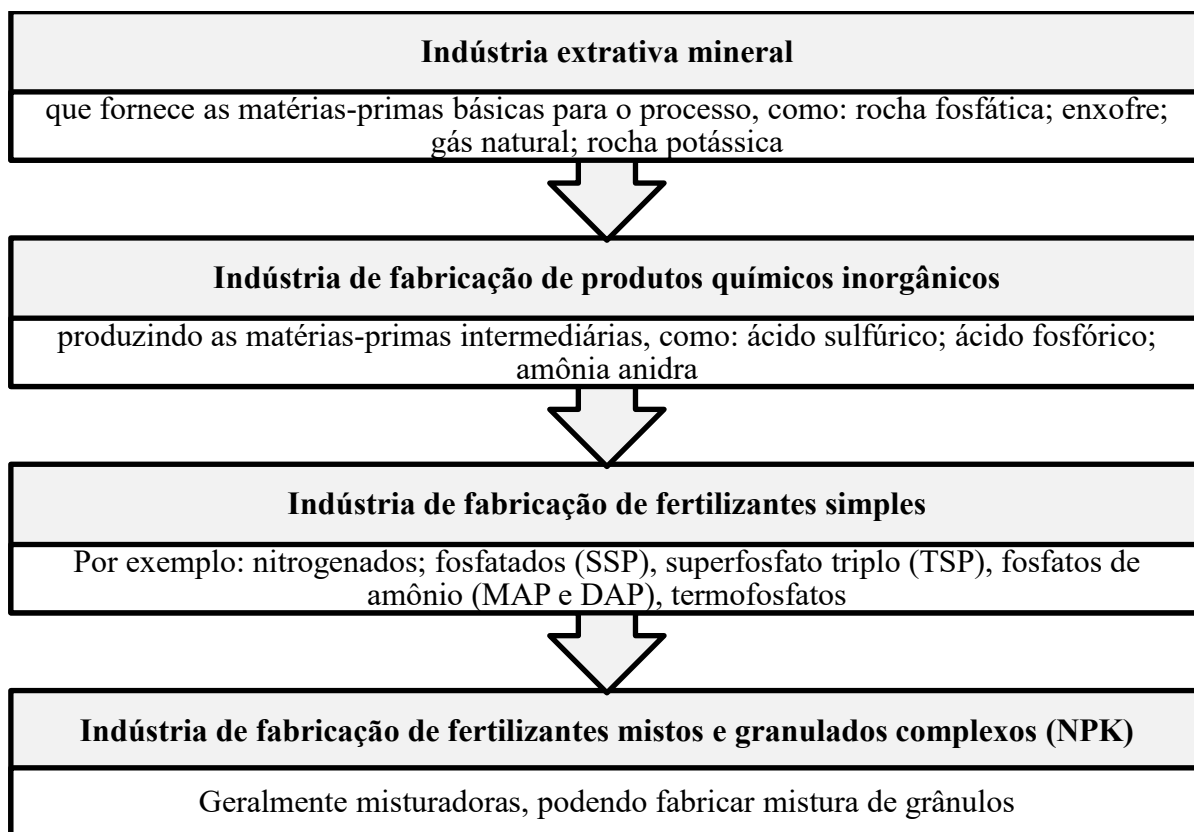


Figura 4.1 - Ciclo produtivo dos fertilizantes minerais. Fonte: Kulaif, 1999 - Modificado.

O processo de beneficiamento do minério usualmente utiliza-se do formato apresentado na Figura 4.2:

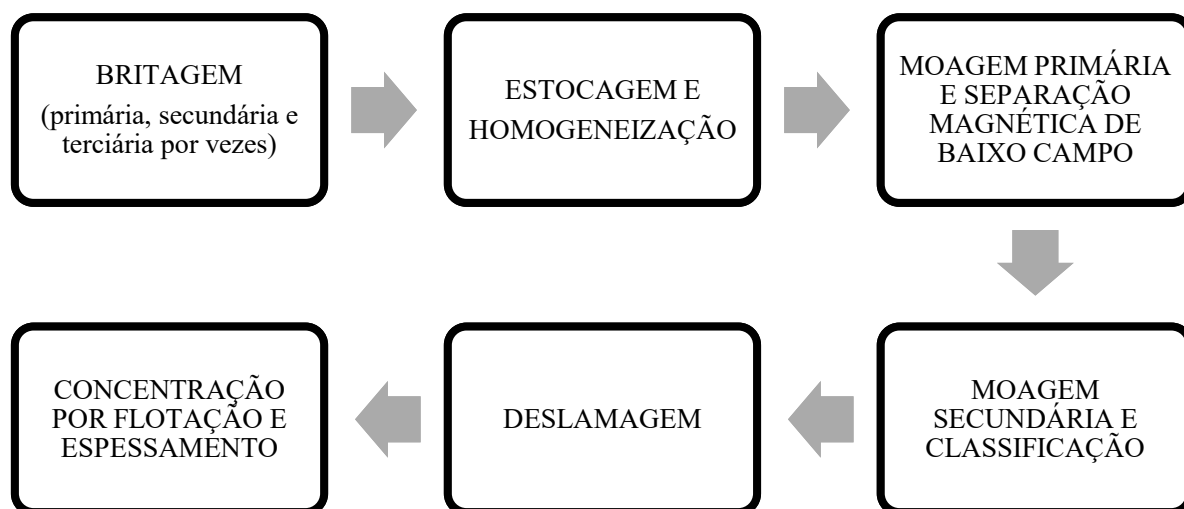


Figura 4.2 - Etapas de beneficiamento do minério. Fonte: própria.

Primeiro é feita a extração mineral, o minério é então moído, separa-se o desejado da ganga (parte indesejada do minério), é beneficiado, até a concentração desejada, e então tratado. A partir daí surgem os produtos intermediários e a indústria de fertilizantes gera o produto final, a ser entregue ao mercado consumidor.

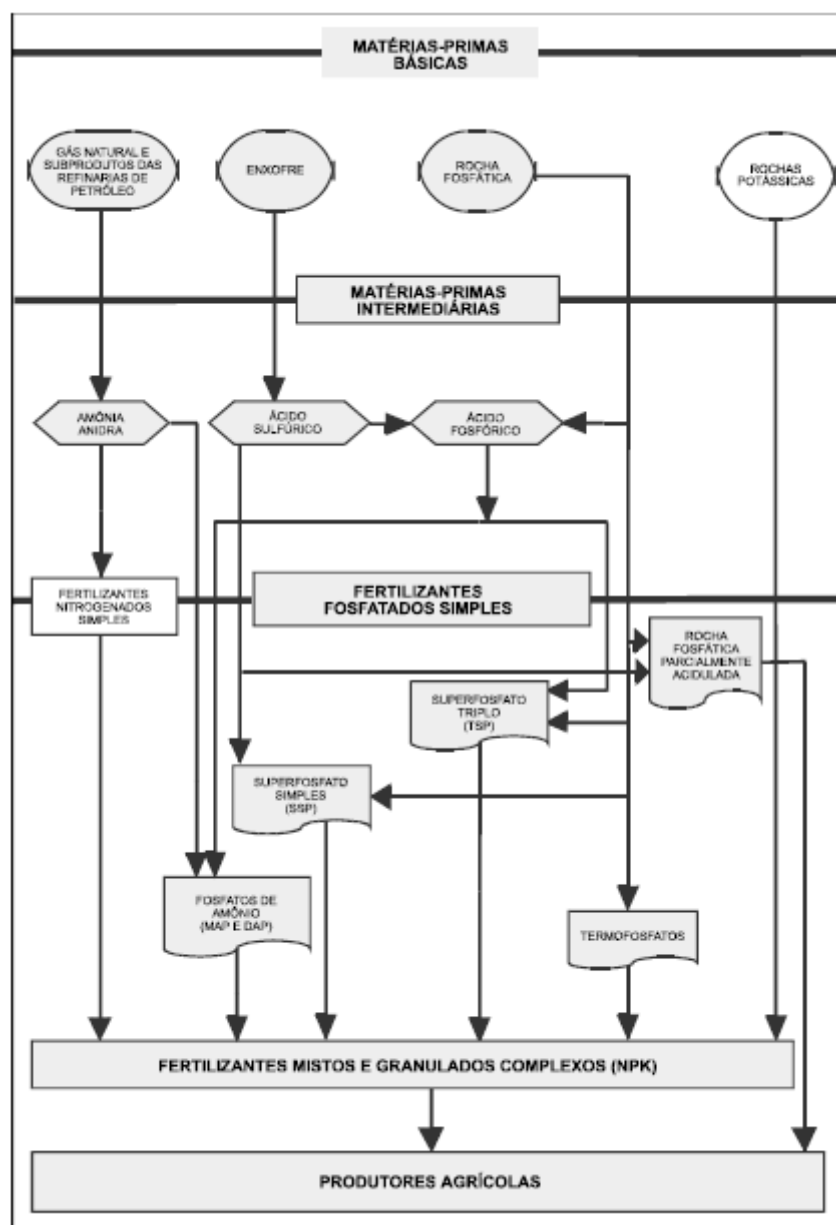


Figura 4.3 - Cadeia Produtiva Fosfatados. Fonte: Kulaif, 1999.

A Figura 4.3 apresenta um fluxograma da cadeia produtiva dos fosfatados. As matérias-primas básicas para a fabricação de fertilizantes fosfatados são:

- ♦ A rocha fosfática,
- ♦ O enxofre,
- ♦ O gás natural (MAP e DAP).

A rocha fosfática se apresenta como fonte primária e única de fósforo, sendo seus concentrados de 30% a 38% de P_2O_5 . A mesma, moída, pode ser aplicada diretamente ao solo, porém, se apresenta pouco solúvel, onde se faz necessária a transformação pela indústria (KULAIF,1999).

Na primeira etapa do ciclo produtivo do fertilizante, a indústria extrativa mineral, é necessária pesquisa geológica e geomórfica, para se avaliar a jazida, suas condições e especificidades; pesquisa tecnológica e o desenvolvimento do projeto de mineração. Feito isso, a mina será lavrada e seu minério beneficiado.

No contexto de fosfatados, podem ser encontrados dois tipos de rochas, de origem sedimentares ou ígneas. Os depósitos de origem sedimentar são conhecidos como fosforitos, depósitos de guano e alumino-fosfatos. Os de origem ígnea se apresentam de composição ultrabásica e alcalina.

Nos fosforitos, o fósforo é encontrado na forma de hidroxí-fluorapatita ou apatita carbonatada, podendo ocorrer quase puros ou misturados a areia argila ou carbonato. Quanto ao teor, os depósitos podem apresentar desde porcentagens muito baixas até teores de 35% de P_2O_5 (KULAIF,1999).

Os depósitos de guano podem ser classificados como de substituição, onde a matéria orgânica oriunda de aves marinhas é assimilada às rochas subjacentes, normalmente calcários. Caso ocorra em rochas ferro-aluminosas, formam-se depósitos de fosfatado de alumínio hidratado e fosfatado de ferro, conhecidos como alumino-fosfatos (KULAIF,1999).

Quanto aos depósitos de origem ígnea ou magmática, o fósforo se encontra na forma de fluorapatita principalmente, sendo que, ao haver intempéries, podem se formar fosfatos secundários de bário e estrôncio.

As principais jazidas brasileiras de fosfato são de origem ígnea, como Araxá e Catalão. Já no litoral nordestino, por exemplo, há presença de maiores teores de fosfato devido a sedimentos de origem marinha (CEFER, 1988). Outros depósitos de origem sedimentar, como as fosforitas, se apresentam em Irecê e Olinda. Seus depósitos podem ser residuais, de substituição e sedimentares. Os residuais vieram de leitos de calcário fosfatado, os de substituição surgiram do calcário que foi fosfatizado pela ação de soluções fosforadas resultantes de fontes orgânicas, e os sedimentares foram acúmulos de sedimentos de outras rochas. Acredita-se que esses sedimentos possuem origem marinha, acumulando o fósforo contido em ossos e dentes de peixes pré-históricos, sendo possível encontrar fósseis nas jazidas (MALAVOLTA, 1967).

Na segunda etapa do ciclo produtivo do fertilizante, a indústria de fabricação de produtos químicos inorgânicos, para os fosfatados o interesse se dá na utilização do ácido sulfúrico, ácido fosfórico e a amônia anidra.

a) O ácido sulfúrico

Essencial na fabricação do ácido fosfórico, e do SSP, sua reação com o concentrado fosfático desloca o fósforo para sua forma mais solúvel. Ela pode ser parcial, no caso de superfosfato simples, ou completa, produzindo o ácido fosfórico (KULAIF,1999).

Sua produção pode ser feita a partir do enxofre elementar queimado na presença de excesso de ar seco, no processo de contato. Outro meio é pelo uso de pirita (FeS_2) e pirrotitas (FeS), onde os mesmos são submetidos à queima em presença de gás oxigênio (KULAIF,1999; MALAVOLTA, 1967).

b) O ácido fosfórico

Insumo indispensável para os fertilizantes fosfatados, sua obtenção pode ser por via úmida ou térmica, sendo que este fornece produto de maior pureza. No processo via úmida, o concentrado fosfórico reage com ácido sulfúrico, formando o ácido fosfórico e subprodutos como o fosfogesso e o ácido fluossilícico. Por via térmica, o concentrado é disposto em fornos com coque e sílica, originando o fósforo líquido, que será queimado na presença de ar. Os gases produzidos ao resfriarem e hidratarem se transformam em ácido fosfórico. O ácido ainda pode ser desidratado para maior concentração, formando o ácido superfosfórico (KULAIF,1999).

Há as alternativas das rotas clorídricas e nítricas para se produzir ácido fosfórico, que, apesar dos custos mais elevados e maior complexidade, oferecem um processo com a opção de subprodutos de melhor valor comercial; menor produção de rejeitos e poluentes; a geração de fosfato monocálcico, com elevado grau de pureza; a oportunidade de se obter urânio, alguns elementos lantanídeos e o rádio, por se solubilizarem juntamente ao ácido, mas sem interferir na produção do fertilizante; dentre outras vantagens (LOUREIRO *et al*, 2009).

c) A amônia anidra

A matéria prima mais utilizada atualmente no processo é o gás natural devido sua disponibilidade pelas reservas mundiais. A reforma mais usual é com vapor de água (RAMOS, 2011):



Para uma boa conversão necessitam de temperaturas maiores que 800°C , sendo normalmente entre $750\text{-}900^\circ\text{C}$ e pressão de 15 a 30 bar. Para isso utiliza-se catalisador de níquel suportado em material refratário no reformador principal (RAMOS, 2011). Nesse

processo, há produção de monóxido de carbono e dióxido de carbono, que devem ser retirados ou convertidos em metano, pois sua presença envenena os catalisadores.

Nessa decomposição, o gás natural produz hidrogênio, que irá reagir com nitrogênio, formando amônia. Para se obter o nitrogênio, utiliza-se o ar atmosférico, que é purificado, comprimido e destilado. A síntese da amônia deve ser feita sob alta pressão e temperatura, em reatores com leito catalítico pela tecnologia de Haber-Bosh (CHAGAS, 2007).

É importante avaliar a composição da rocha fosfática na etapa de exploração, pois o nível de impurezas irá influenciar na eficiência do processo de produção, principalmente para SSP e TSP. A presença de quartzo na rocha fosfatada, por exemplo, dificulta o processo de moagem, pois causa maior desgaste no moinho, devido sua formação cristalina que a condiciona a uma maior dureza, o que é um problema brasileiro, devido nosso solo ser rico em quartzo. Material orgânico e calcinado exige maior quantia de ácido na reação. A presença de ferro, alumínio e magnésio afetam a viscosidade e solubilidade (SINDEN, 1993).

Para a produção de superfosfatos, a cominuição da rocha deve atender à exigência em que 80-90% passe por uma peneira de 325 mesh, utilizando moinhos. No caso de rochas sedimentares, é utilizada moagem com bolas, tendo uma granulometria de 80-85% menor que 200 mesh. Essa etapa de moagem, para as rochas sedimentares, gerando finos reduz o tempo de cura das pilhas do material. No caso das ígneas, a baixa reatividade exige maior quantia de ácido na reação, o que interfere no tempo de cura e qualidade do material (SINDEN, 1993).

Há dois tipos mais comuns de produção, o processo tipo pó, e o processo “slurry”. O primeiro é aplicado na produção de SSP e TSP na forma de pó. No segundo o produto é feito em forma granulada sem passar pela forma de pó. No Brasil os fertilizantes SSP e TSP granulados são feitos a partir de suas formas em pó, utilizando-se da operação unitária de granulação. A Figura 4.4 apresenta um fluxograma simplificado do processo contínuo utilizando correia transportadora.

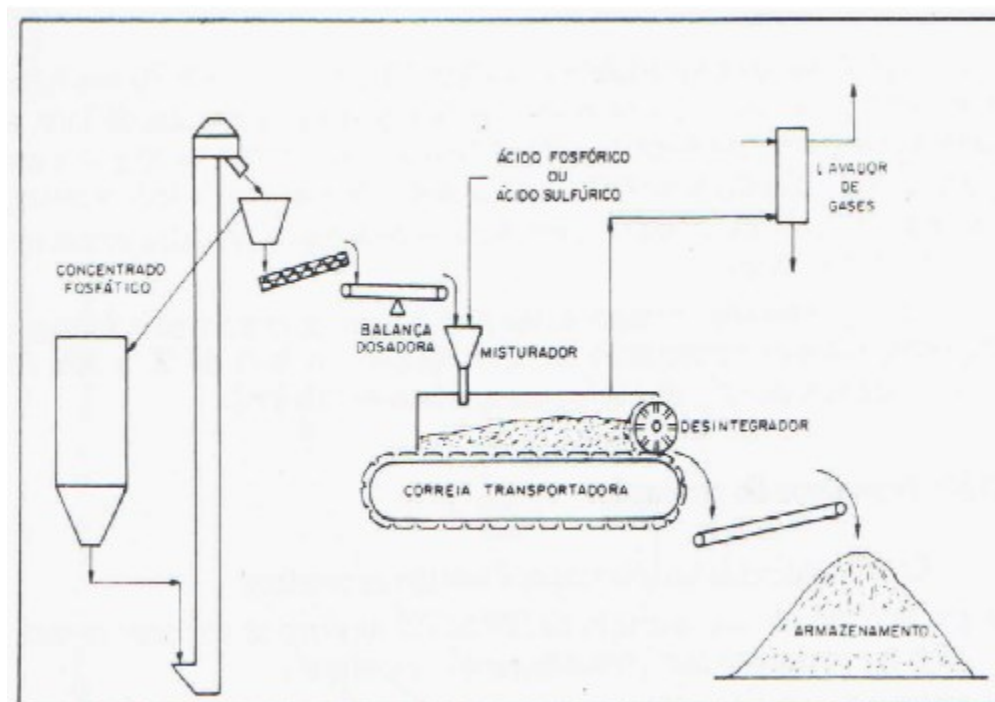


Figura 4.4 - Fluxograma simplificado do processo contínuo de produção de superfosfato.

Fonte: notas de aula.

4.1 Superfosfato Simples (SSP)

Apresentando baixa concentração de fósforo, variando de 16% a 22% de P_2O_5 , esse tipo de fosfatado tem como vantagens o fornecimento de enxofre associado (aproximadamente 12%), e sua produção requer baixo investimento e capacidade industrial pequena. Ao se submeter a rocha fosfática moída ao ácido sulfúrico, adquire-se o SSP (KULAIF,1999). Suas etapas de fabricação podem ser resumidas a:

- ♦ Mistura do concentrado fosfático com ácido sulfúrico e água
- ♦ Secagem da mistura
- ♦ Cura

Para se realizar a mistura é usual misturadores do tipo turbinas verticais, com pequeno tempo de residência, ou um misturador horizontal com pás, podendo ter em seu eixo uma ou duas pás acopladas (SINDEN, 2003). Após misturados, o produto será enviado a uma correia transportadora, “DENS”, onde a torta ainda irá reagir enquanto resfria.

O processo de cura é realizado para que a reação de acidulação se complete. Nessa etapa o produto, já sólido, é posto em pilhas e armazenado de três a quatro semanas. Para o caso de produção baseada em rochas sedimentares, as pilhas formadas por camadas permitem circulação de ar, diminuindo a umidade e resfriando o material. Rochas ígneas,

por produzirem um produto mais denso, e associado a um pó fino, criam uma camada que impede a passagem do ar, o que torna as pilhas mais úmidas e com temperaturas mais elevadas (SINDEN, 1993).

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. Deve-se atentar aos efluentes gerados em todo o processo devido à presença de particulados e a emissão de fluoreto, para isso um sistema de exaustão deve ser acoplado em toda a linha de produção até o processo de cura.

4.2 Superfosfato Triplo (TSP)

De acordo com a patente PI 0704792-4 A2, utilizada atualmente pela Fosfertil e Vale, para se obter o TSP pó, é solubilizada em ácido fosfórico e sulfúrico a rocha fosfática em um reator com três revolvedores, para promover a agitação. Essa massa ou torta, ainda líquida é descarregada em um transportador do tipo correia completamente enclausurado, denominado “DEN”, onde a torta irá reagir sob enquanto sofre ação de um sistema de exaustão para resfriamento, onde os vapores devem ser captados e liberados devido o calor da reação. O controle de tempo da torta na correia irá garantir que haja transição da fase líquida para sólida. Ao final o material sólido será enviado ao armazém de cura, onde irá permanecer de 7 a 10 dias para complementar as reações.

No caso do tipo granulado, após serem misturados, a lama entra para a etapa de reação constituída de dois tanques agitados interligados em série, onde irá permanecer até a solubilização do fosfato. O sistema é mantido na forma de suspensão e a fase líquida é suprida, parte pela solução ácida, e completada por água de fonte externa. A reação ocorre em torno de 90°C, devido o calor liberado durante tal. Para manutenção desta temperatura, a água da fonte externa é alimentada em temperatura próxima à temperatura do reator. O produto resultante da reação é enviado para uma unidade de granulação, e após, o material granulado será seco, classificado e despachado para o armazém de produto.

Sua concentração varia de 44% a 48% de P_2O_5 na forma hidrossolúvel. Uma das diferenças entre o SSP e o TSP é que para este a sua massa resultante é rapidamente solidificada (KULAIF, 1999).

4.3 Fosfatos de Amônio (MAP e DAP)

Para a fabricação de fosfatos de amônio (MAP e DAP), a obtenção é realizada por meio da reação da amônia anidra com o ácido fosfórico (H_3PO_4), podendo ser produzidos na forma pó ou granulados:

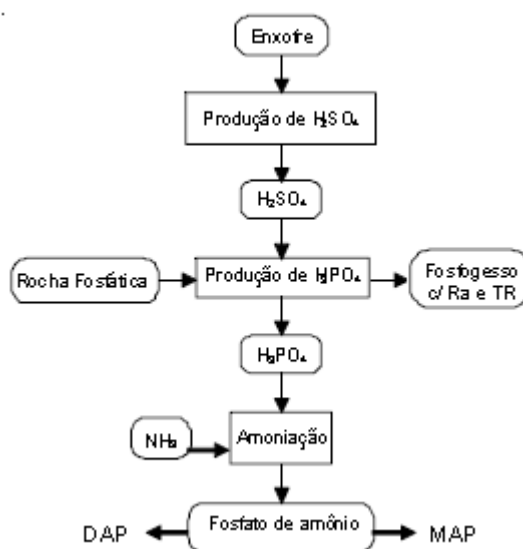


Figura 4.5 - Esquema de Produção de Fosfatos de Amônio. Fonte: Kulaif, 1999.

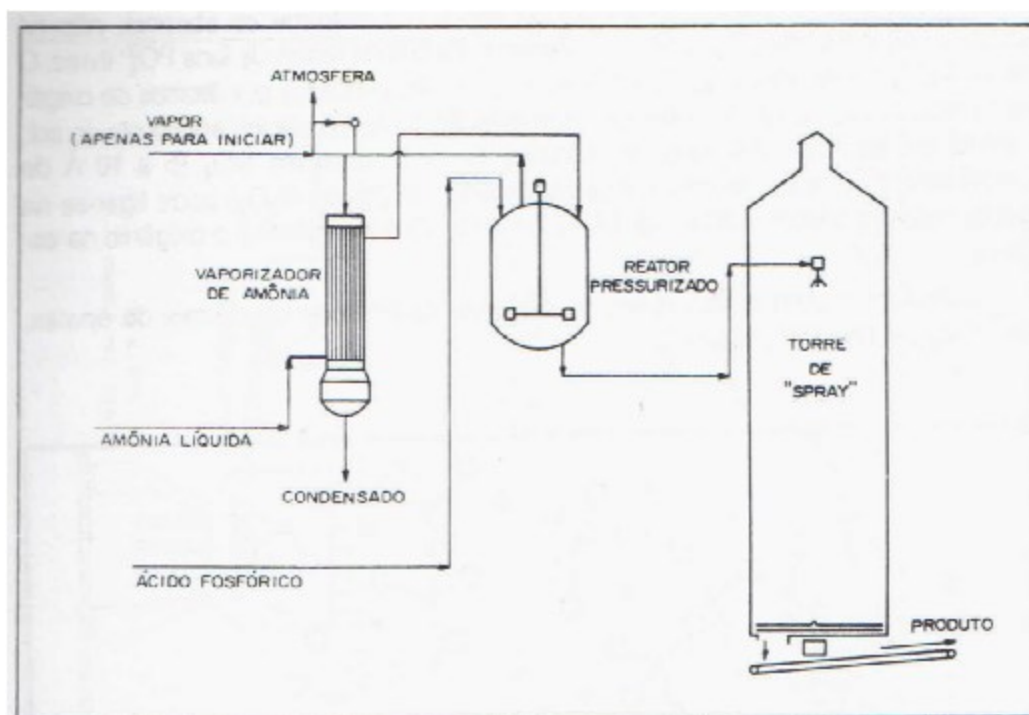


Figura 4.6 - Fluxograma simplificado do processo de fabricação de MAP pó. Fonte: notas de aula.

A Figura 4.5 apresenta de forma simplificada os reagentes e produtos envolvidos na produção de fosfatos de amônio. Os fertilizantes quando produzidos em pó são aspergidos na forma de “slurry”, onde o produto já sairá seco e pronto para condicionamento. A Figura 4.6 apresenta um modelo do processo.

O processo do tipo granulado, mais comum, é dividido em duas etapas, a de reação e a de granulação. Na etapa de reação, amônia anidra e ácido fosfórico são colocados em reatores do tipo pré-neutralizados, que são tanques agitados, ou em reatores do tipo tubular. A segunda parte do processo é feita em unidades tradicionais de granulação como o tambor rotativo. No caso do DAP, para que se chegue à relação $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4$ desejada, é feita a amoniação no próprio granulador (,2015).

O MAP pode ser utilizado diretamente em cultivo ou como intermediário na produção de formulações NPK. No âmbito internacional o DAP se apresenta como fertilizante fosfatado mais largamente utilizado e comercializado, devida sua alta solubilidade e maior relação N/P, principalmente em países de clima temperado.

4.4 Termofosfatos

Os termofosfatos possuem a característica de serem insolúveis em água, solúveis em solução de ácido cítrico, apresentando assim um comportamento alcalino. Os termofosfatos podem ser do tipo calcinados, quando não ocorre fusão da mistura, ou fundidos (CEFER, 1988).

O processo de produção de tais se inicia com um tratamento térmico da rocha fosfática à temperaturas maiores que 1200°C na presença de aditivos (MALAVOLTA, 1967). O objetivo deste modelo de tratamento é destruir a estrutura cristalina da apatita, convertendo assim o fósforo para uma forma melhor absorvida pelas plantas. Uma vantagem desse tipo de fertilizantes é que devido seu caráter alcalino, eles são indicados para solos ácidos, geralmente de clima tropical, o que os torna mais adequados ao plantio em solo brasileiro, porém, sua produção consome uma alta quantia energética, devido aos fornos a alta temperatura (MALAVOLTA, 1967).

4.5 Aspectos Ambientais

A preocupação por meio de pesquisadores e cientistas quanto ao meio ambiente e suas alterações devido a ações humanas emergiu na década de 60, e se apresenta uma inquietação crescente e polêmica pelo mundo atual (SILVA, 2007). E tal conscientização se apresenta de importante valor, pois já é comprovado que o ser humano vem alterando o meio ambiente onde vive. A indústria de fertilizantes nem sempre é bem vista ecologicamente devida sua dependência direta com a exploração mineral, geralmente agressiva ao meio ambiente, gerando riscos de poluição do ar, do solo, das águas, e poluição sonora.

O modo para se obter a matéria-prima, fazendo uso de escavações, desmatamento e explosões de modo a sedimentar a rocha para ser tratada interfere no relevo da região, no clima e no ecossistema local. Depois de processada a rocha produz rejeitos sólidos que serão dispostos em barragens, podendo contaminar lençóis freáticos, o solo e o ar, por volatilização. A utilização de ácidos e outros químicos no processo também requer atenção. A produção de fertilizantes gera 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 (CEFER, 1980; MAZOYER; ROUDART, 1997).

Além disso, a ganga, os rejeitos do minério, devem ser bem tratados e armazenados. Um modelo recente de falha foi o rompimento das barragens de rejeitos da Samarco (Vale) no município de Fundão em Mariana (MG) em novembro de 2015. A lama proveniente da barragem devastou vilarejos percorrendo 663 km e contaminando rios como Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, encontrando sua foz. O ocorrido causou a destruição da vegetação da região e afetou todos os ecossistemas dependentes, ocasionando um dos maiores desastres naturais brasileiros dos últimos anos. Trinta e nove municípios foram prejudicados pela falta de água potável, além do forte odor oriundo da lama e os animais mortos de seu trajeto (LACAZ *et al*, 2017).

Outro aspecto ambiental na fabricação de fertilizantes é a geração de gesso (sulfato de cálcio) como subproduto. Sua origem se dá pela solubilização da rocha fosfática com o ácido sulfúrico. Junto ao fosfogesso se apresentam radionuclídeos naturais e metais que podem contaminar solos, plantas e o lençol freático, apesar de seu uso na agricultura não atingir concentrações impactantes (JACOMINO *et al*, 2009).

Devida sua pequena demanda em virtude de sua grande produção, é necessária a formação de “pilhas de gesso”, as quais devem ser devidamente avaliadas para que não haja contaminação com o terreno, e não alcance os lençóis freáticos, principalmente as águas residuais ácidas que percolam através do gesso. Para serem feitas as pilhas, o terreno deve ser afastado e bem tratado, com projetos especiais de fundação, reforço estrutural e revestimento com mantas impermeáveis (BRONDINO, 2014).

Para que tudo seja devidamente cuidado, há leis que regulamentam cada aspecto da produção. Deve-se conhecer e mensurar cada parte do processo, para que se adeque aos limites permitidos. De forma geral, as questões ambientais devem ser prioridade no caso das empresas de fertilizantes brasileiras, e devem ser acompanhadas constantemente para o melhor desenvolvimento da legislação por meio do Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas do Ministério da Agricultura.

5 SECAGEM

A secagem é uma etapa importante em diversas indústrias como químicas, farmacêuticas, de alimentos e fertilizantes, por seu processo afetar diretamente na qualidade e no preço do produto final, além de ser uma etapa de alta demanda energética, o que implica maior atenção no aspecto econômico. No caso dos fertilizantes, é comum o uso do secador rotatório para remover a umidade do produto (SILVÉRIO, 2010; ARRUDA, 2008). Os processos de secagem de modo geral vêm avançando em estudos, para se reduzir o tempo de processamento considerando o máximo de qualidade do produto desejado (SILVÉRIO, 2012; FERNANDES *et al*, 2009; FERNANDES, 2008).

A secagem é o processo dos fenômenos de migração e evaporação de um solvente, geralmente água. Para que haja transferência de massa, é necessário o fornecimento de calor. A troca térmica pode se dar por convecção, condução, e radiação de calor. A transferência mássica pode ocorrer de duas formas, o solvente pode migrar na interface (convecção), devido um gradiente de pressão de vapor do solvente na superfície do produto, ou pode haver migração interna, por um gradiente de pressão parcial gasosa, por concentração da fase gasosa (difusão), por capilaridade ou por gravidade. Também deve haver um sorvedor de umidade para a remoção do vapor de água gerado no processo (BERTELI, 2005).

No processamento industrial, a secagem é responsável por amenizar os custos de armazenamento e transporte, conferir resistência mecânica ao produto, e parar a reação no mesmo. Sua influência se dá evitando integração dos grânulos do produto, o empedramento, reduz a formação de incrustações no interior dos equipamentos, além de atender aos requisitos do mercado consumidor e as leis de regulamentação do produto (SILVÉRIO, 2012). Apresentada sua importância, essa etapa se torna onerosa devido seu custo de manutenção e consumo energético, sendo requerido a elaboração de uma unidade viável e bem projetada (ARRUDA, 2008).

SONG (2003) relata a escolha do modelo de secador como dependente do que se deseja para o produto, suas especificações e limitações. Os secadores são usualmente classificados de acordo com a forma de transmissão de calor e de contato, podendo ser de contato direto, em que o gás inerte e o produto entram em contato direto, ou contato indireto, de forma que o contato de ambos seja intermediado por uma superfície aquecida. Eles também podem ser classificados quanto ao fluxo do gás, podendo ser concorrentes ou contracorrentes, a depender se o produto e o gás inerte estão indo para a mesma direção ou direções opostas (SILVÉRIO, 2012; SILVA, 2010).

5.1 Secagem de Fertilizantes

Para se falar em secagem de fertilizantes, deve-se lembrar de como ocorre a granulação. De uma forma geral, após a reação, o produto é encaminhado a um granulador, usualmente um tambor rotativo com suspensores, semelhante ao usado para secagem, porém com maior diâmetro e menor comprimento. Depois de o grânulo ser formado, ele será encaminhado ao secador propriamente dito, sendo um tambor rotativo com suspensores de modelos variados, a uma determinada inclinação e velocidade de rotação. Neste tambor de rotação, os grânulos serão alimentados na entrada superior, e o gás, composto de gases de queima e ar, aquecido oriundo da fornalha será conduzido ao secador.

Para se aquecer o ar que irá atuar no secador, óleo BPF aquecido e ar são injetados na fornalha para combustão. Esse ar de queima, quente, será misturado ao ar frio (ar de diluição) em proporção a adequar a temperatura necessária para que ocorra a secagem de forma eficiente.

Para se realizar a secagem de fertilizantes granulados, muitas vezes se utilizam de secadores subdivididos em regiões, onde cada uma apresenta um modelo diferente de suspensores. Os suspensores são empregados a fim de forçar o cascadeamento dos grânulos, evitando incrustações e promovendo o contato gás-grânulo. Ao final do secador, onde o produto já se encontra mais leve e seco, o cascadeamento se torna mais fácil, sendo assim, se utiliza de suspensores menores e dentados, de modo que as partículas escoem pela parede do secador, sem a necessidade do arraste até o topo do mesmo.

Os grânulos secos irão passar por um peneiramento, onde serão separados finos e grossos, que retornarão ao processo. No caso dos grossos, eles serão novamente moídos antes de retornar ao granulador. Este reciclo quente que chega ao granulador influencia tanto no processo de granulação quanto ao processo de secagem propriamente dito, devido à demanda energética requerida para se granular (vapor) e para secar (gases). Um aumento na vazão de ar do secador irá aumentar a temperatura do reciclo no granulador, o que influencia na quantia requerida de água.

O processo de granulação é importante para que o fertilizante por acarretar melhorias nas propriedades físicas do material como fluidez e facilitando na dosagem e aplicação em campo; no aspecto físico, diminuindo o empedramento e compactação; e diminuindo os níveis de poeiras.

A faixa de temperatura usada, o pH, a razão molar, e a razão de reciclo são variáveis importantes na eficiência de uma granulação e sua posterior secagem. No caso dos fosfatos

existe uma gama de sistemas. Outra influência é a quantia de fase líquida, que em excesso gera maior número de grossos, o que dificulta a secagem, requerendo maior temperatura ao secador.

Para a secagem de fertilizantes é comum o uso de secadores rotatórios, onde a maior parte da secagem acontece quando o gás entra em contato direto com os sólidos que caem de suspensores. Esse tipo de equipamento é muito aplicado devido sua versatilidade, podendo processar grandes volumes de material além de promover o transporte durante a secagem (SILVÉRIO, 2010).

Para tal, há dois tipos de fluxos de gás empregados em relação à alimentação, o concorrente, indicado para materiais termo sensível, como materiais biológicos, alimentos e polímeros; e o fluxo contracorrente para os demais. No fluxo concorrente, a maior parte da secagem ocorre no início do secador, e ocorre um rápido resfriamento do gás, o que faz com que o produto saia a baixas temperaturas. Esse tipo de fluxo favorece o escoamento dos sólidos. Já no fluxo contracorrente a eficiência térmica alcançada é maior, porém, o produto sai a altas temperaturas, próximas à temperatura de saída do gás, o que pode ocasionar alguma deterioração das propriedades do produto, caso ele seja sensível, e há um retardo no escoamento dos mesmos (SILVÉRIO, 2010; MUJUMDAR et al, 2007; SONG, 2003).

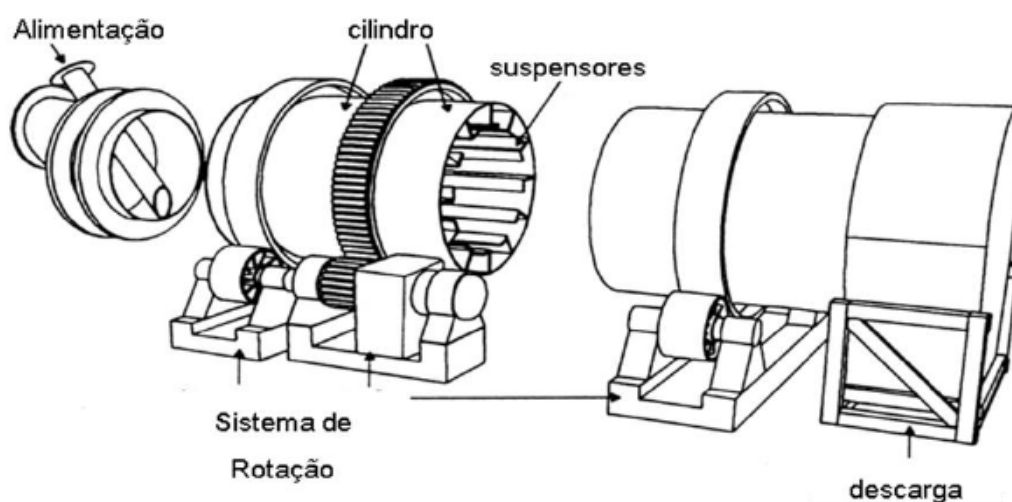


Figura 5.1 - Esquema de um secador rotatório com cascadeamento. Fonte: Silvério, 2010.

A Figura 5.1 apresenta um secador rotatório com cascadeamento. Este modelo é um dos mais empregados para fertilizantes. O sólido é introduzido na entrada superior do tambor onde irá entrar em contato com o fluido quente. O casco é equipado com suspensores, que podem ter geometrias variadas, fixados de forma a melhorar o contato gás-sólido. Eles coletam o material particulado no fundo do tambor e os lançam em cascata através de uma

corrente de gás quente, geralmente ar. O ângulo de inclinação do tambor, sua rotação e a alimentação constante também interferem no movimento dos sólidos dentro do mesmo. O produto seco é retirado na extremidade inferior do equipamento (SILVÉRIO, 2010; SILVA, 2010; FERNANDES, 2008).

O secador rotatório apresenta algumas vantagens, sendo passível de aplicação para grande variedade de materiais a custos mais baixos, podendo ser utilizado para grandes quantias de material. São indicados para materiais granulados de escoamento livre. De forma geral, secadores de contato direto não devem ser empregados para particulados muito finos, pois a velocidade do gás provocará perdas excessivas. Materiais coesivos, lamas e pastas também não são indicados. Outra desvantagem é a demanda energética para o aquecimento do gás, inclusive se a secagem for para grandes volumes, como fertilizantes, por exemplo (ARRUDA, 2008).

Grande parte das pesquisas na área de fertilizantes avalia seu desempenho em diversas culturas, o efeito no solo e nas plantas, analisando composições, micronutrientes, macronutrientes e as condições do solo. Relacionados à secagem de fertilizantes, observa-se uma menor quantia de estudos referentes ao seu processo produtivo sugerindo novas metodologias ou o aprimoramento das mesmas. Dentre as pesquisas na área, muitas avaliam o processo de secagem em secadores rotatórios e aprimoramentos para tal (SILVA et al, 2012; SILVÉRIO, 2010; SILVÉRIO, 2012; SILVA, 2010; FERNANDES, 2009; FERNANDES, 2008).

Apesar de o secador rotatório ser uma das metodologias mais usuais na indústria de fertilizantes, exige-se um alto custo relacionado ao consumo de energia para o aquecimento do ar, que, para isso, necessita da compra de combustíveis para a fornalha. Neste contexto surge a oportunidade de pesquisas para alternativas de meios de secagem viáveis ao processo. Secadores roto-fluidizados (ARRUDA, 2008), secagem em microondas, ou metodologias conjuntas como a associação de microondas e secadores rotatórios são alternativas a serem estudadas.

5.2 Outros Meios de Secagem

A utilização de secagem convectiva por ar quente, apesar de frequentemente aplicada à indústria, possui algumas desvantagens, como um menor rendimento energético e longos tempos de processo. Observou-se em pesquisas sobre secagem realizadas em diversos produtos uma degradação nos produtos secos afetando o sabor, a cor, os nutrientes e encolhimento, bem como na capacidade de re-hidratação, quando aplicado um longo período

de secagem e altas temperaturas (İZLİ, 2017; İNCEDAYI et al, 2016; SILVA, 2015; ALIBAS, KÖKSAL, 2014).

Sabe-se que a utilização de microondas como alternativa vem se tornando uma boa escolha, devido sua melhor eficiência energética, a curtos intervalos de tempo no processamento, o que garantia uma melhor conservação da qualidade do produto, e a utilização de um espaço menor (İZLİ, 2017; İNCEDAYI et al, 2016; GARCÍA-MOGOLLON et al, 2016; NUNES et al, 2015; ALIBAS, KÖKSAL, 2014). A redução do gasto de energia se dá pelo fato dela não ter parte gasta com o aquecimento do ar, paredes do secador, ou coisas do gênero.

Com relação a alimentos, há diversas pesquisas (SILVA, 2015; GOKSU et al, 2004; FENG et al, 2001; ALDURI&MCINTYRE, 1992) utilizando microondas, dentre as quais, geralmente se utiliza microondas associado a algum outro método, como por exemplo ao aquecimento convencional, onde ele iria eliminar a água livre na superfície do material, enquanto as microondas atuam na parte interna do produto (İZLİ, 2017; İNCEDAYI et al, 2016; GARCÍA-MOGOLLON et al, 2016; NUNES et al, 2015; ALIBAS, KÖKSAL, 2014).

Falciglia em seus estudos (2017; 2016; 2015) propõe a utilização de microondas em processos como o tratamento para solos contaminados com HAP; remediação de sedimentos marinhos contaminados com mercúrio; remediação de aquífero contaminado por diesel; entre outros. Outros estudos como os de Pereira (2013) e Petri Junior (2014) avaliam a eficiência da secagem com micro-ondas para cascalho de perfuração.

Há combinações de energia de microondas com ar quente, ou um sistema duplo onde associa a secagem convencional e a aplicação de microondas. No caso de material termossensível, associam as microondas com o uso de vácuo, o que diminui a temperatura de ebulição do solvente, permitindo que a secagem ocorra em temperaturas menores que a usual (DROUZAS; SARAVACOS, 1999). Um problema relacionado ao seu uso é a distribuição não uniforme do produto, que pode ser corrigida fluidizando o material, como em leitos de jorro, ou leitos agitados, ou ainda aplicadores cilíndricos rotativos.

Como citado anteriormente, sabe-se que existe a oportunidade de pesquisas para alternativas de meios de secagem para fertilizantes. Diversos estudos avaliaram a aplicação de microondas como uma nova técnica de secagem, e observaram vantagens quando comparado aos outros meios. O seguinte trabalho, visando melhorias, sugere a utilização de microondas para a secagem de fertilizantes. Como essa tecnologia vem se mostrando eficiente em diversas aplicações industriais, principalmente por sua redução significativa no tempo de secagem, espera-se que um comportamento semelhante ocorra para os fertilizantes.

6 CONCLUSÃO

Dentre as muitas necessidades de um vegetal, sobressai sua necessidade à exposição de nutrientes suficientes ao seu desenvolvimento de forma regular. Esses nutrientes são extraídos do solo, que deve se apresentar fértil e balanceado. Porém o cultivo contínuo associado às intempéries e as características de cada região induzem o solo a uma deterioração. Sem todos os minerais, a planta se desenvolve com más formações, funções limitadas e aspecto inferior.

Devido ao desenvolvimento contínuo e acelerado do mundo, a cada dia se aumenta a demanda de alimentos, e assim a necessidade de maiores áreas de cultivo e melhores produções. Para abastecer tamanha urgência e combater a escassez de nutrientes no solo, iniciam estudos de forma a corrigir as perdas e melhorar os cultivos e seus rendimentos.

A aplicação de fertilizantes se apresenta como uma metodologia passível de adequar o solo ao plantio sadio. Estudos e pesquisas acompanham o desenvolvimento dessa técnica, adequando-a sempre à necessidade contemporânea. E apesar dos altos e baixos da economia mundial, no âmbito de fertilizantes, a demanda e produção sempre aumenta, às vezes de forma moderada.

As técnicas aplicadas ao processo de produção de fertilizantes são clássicas pelo mundo. Com referência à importância de tais no contexto mundial, e à suas metodologias já firmadas, é de se esperar avanços em novas técnicas e tecnologias que aprimorem o processo. Neste contexto e embasado em pesquisas, é sugerido para projetos futuros o estudo de outras metodologias de secagem viáveis à aplicação em fertilizantes, dentre elas a utilização de microondas.

Como próximas etapas de análise recomendam-se a avaliação do mesmo com relação ao consumo energético atualmente aplicado à indústria, avaliando sua viabilidade econômica. Sendo viável, sugere-se a avaliação da secagem por microondas analisando a qualidade do grão final e sua resistência mecânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-DURI, B.; MC INTYRE, S. Comparison of drying kinetics of foods using a fan-assisted convection oven, a microwave oven and a combined microwave/convection oven. **Journal of Food Engineering**, England: Elsevier. v. 15, p. 139-155, 1992.
- ALIBAS, I.; KÖKSAL, N. Convective, vacuum and microwave drying kinetics of mallow leaves and comparison of color and ascorbic acid values of three drying methods. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, nº 2. abr./jun. 2014.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Disponível em: <www.anda.org.br>. Acesso em 9 de agosto de 2017.
- BERTELI, M. N. **Estudo comparativo de processos de secagem de sólidos granulados com e sem assistência microondas**. 2005. 135 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2005.
- Brasil. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 2.
- BRONDINO, J. A. **Contribuição ao estudo do fosfogesso comparativamente a algumas propriedades do gesso mineral**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2014.
- CAMARGO, Flavio A. de Oliveira; ALVAREZ V., Víctor Hugo; BAVEYE, Philippe C.. Brazilian soil science: from its inception to the future, and beyond. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 589-599, June 2010.
- CENTRO DE ESTUDOS DE FERTILIZANTES. **Anais do simpósio brasileiro de tecnologia de produção de fertilizantes**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. v. 1 e 2. 781 p. 1988.
- CENTRO DE ESTUDOS DE FERTILIZANTES. **Manual de fertilizantes**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 229 p. 1980.
- CHAGAS, Aécio Pereira. A síntese da amônia: alguns aspectos históricos. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 240-247, Feb. 2007.
- COLLIER, P.; DERCON, S. 2009. **African agriculture in 50 Years: Smallholders in a rapidly changing world?**. Paper presented at the Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Junho, 2009. Roma, FAO.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário mineral 2015**. Brasília, 2015. v. 35. 135 p.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. Rio de Janeiro, setembro de 2006. BNDES Setorial. 138 p.
- DOMINGUES, Heloisa Maria Bertol. Ciência, um caso de política: as relações entre as ciências naturais e a agricultura no Brasil Império. **Resgate: Revista Interdisciplinar de Cultura**, Campinas, SP, v. 6, n. 1, p. 121-126, dez. 2006.
- DROUZAS, E. T.; SARAVACOS, G. D. Microwave / vacuum drying of model fruit gels. **Journal of Food Engineering**, England: Elsevier. v. 39, p. 117-122, fev. 1999.
- EMBRAPA. **Solos do Brasil**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/solos-do-brasil>. Acesso em: nov. 2017.
- FALCIGLIA, Pietro P. et al. Effective decontamination of low dielectric hydrocarbon-polluted soils using microwave heating: Experimental investigation and modelling for in situ treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 156, p. 480-488, 2015.

- FALCIGLIA, Pietro P. et al. Lab-scale investigation on remediation of diesel-contaminated aquifer using microwave energy. **Journal of environmental management**, v. 167, p. 196-205, 2016.
- FALCIGLIA, Pietro P. et al. Remediation of Hg-contaminated marine sediments by simultaneous application of enhancing agents and microwave heating (MWH). **Chemical Engineering Journal**, v. 321, p. 1-10, 2017.
- FALCIGLIA, Pietro P. et al. Remediation of soils contaminated with PAHs and nitro-PAHs using microwave irradiation. **Chemical Engineering Journal**, v. 296, p. 162-172, 2016.
- FENG, H.; TANG, J.; CAVALIERI, R. P.; PLUMB, O. A. Heat and mass transport in microwave drying of porous materials in a spouted bed. **AIChE Journal**, American Institute of Chemical Engineers, v. 47. n. 7 p. 1499 – 1512, July 2001.
- FERNANDES, N. J. **Estudo da fluidodinâmica e da secagem de um secador rotatório da indústria de fertilizantes**. 2008. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2008.
- FERNANDES, N. J. **Estudo da fluidodinâmica e da secagem de um secador rotatório da indústria de fertilizantes**. 2008. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2008.
- FERNANDES, N. J.; ATAIDE, C. H.; BARROZO, M. A. S.. Modeling and experimental study of hydrodynamic and drying characteristics of an industrial rotary dryer. **Braz. J. Chem. Eng.**, São Paulo , v. 26, n. 2, p. 331-341, June 2009 .
- FERTILIZANTES FOSFATADOS S/A, Fosfêtil (BR/MG), Ruberlan Gomes da Silva/ Adriano Barbosa Vitor/ Carlos Moreira Tomáz. **Processo de produção de superfosfato triplo utilizando concentrado fosfático ultrafino úmido**. C05B 1/04. BR PI 0704792-4 A2. 15 de outubro de 2007. (RPI 2006). Revista da Propriedade Industrial, Rio de Janeiro, nº 2445. 16 de junho de 2009.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food and agriculture** (leveraging food systems for inclusive rural transformation). Roma, 2017. 160 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food and agriculture** (social protection and agriculture: breaking the cycle of rural poverty). Roma, 2015. 129 p.
- GARCIA-MOGOLLON, Carlos; SIERRA-BAUTISTA, Mauricio; MIRANDA-RAMOS, Leonardo. Modelado de la Cinética de Secado en Microondas de Ñame. **Inf. tecnol.**, La Serena , v. 27, n. 1, p. 61-68, 2016 .
- GOKSU, E. I.; SUMMU, G. ESIN, A. Effect of microwave on fluidized bed drying of macaroni beads **Journal of Food Engineering**, England: Elsevier. v. 66. n 4 p. 463 – 468, feb. 2005.
- HALL, W. L. Jr.; ROBARGE, W. P. **Environmental impacto f fertilizer on soil and water**. Washington, DC. Editora American Chemical Society. 2004. 277 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2017.
- İNCEDAYI, Bige et al . Impact of different drying parameters on color, β -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca*L.). **Food Sci. Technol (Campinas)**, Campinas , v. 36, n. 1, p. 171-178, Mar. 2016 .
- International Fertilizer Industry Association. **Short-term fertilizer outlook 2015 – 2016**. Paris, 2015. Disponível em: <fertilizer.org>. Acesso em 9 de agosto de 2017.
- İZLİ, Gökçen. Total phenolics, antioxidant capacity, colour and drying characteristics of date fruit dried with different methods. **Food Sci. Technol (Campinas)**, Campinas , v. 37, n. 1, p. 139-147, Mar. 2017 .

- JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano et al . Radionuclides and heavy metal contents in phosphogypsum samples in comparison to cerrado soils. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 33, n. 5, p. 1481-1488, Oct. 2009 .
- KULAIF, Y. **A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no brasil**. CETEM. Rio de Janeiro. 1999.
- LACAZ, Francisco Antonio de Castro; PORTO, Marcelo Firpo de Sousa; PINHEIRO, Tarcísio Márcio Magalhães. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Rev. bras. saúde ocup.**, São Paulo , v. 42, e9, 2017 .
- LOUREIRO, F.L.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Editora CETEM, 2009.
- MACEDO, Manuel Claudio Motta. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa , v. 38, n. spe, p. 133-146, July 2009 .
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola – adubos e adubação**. 2 ed. São Paulo. Editora Agronômica “Ceres”. 1967. 606 p.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. (1997). **História das agriculturas no mundo** (do neolítico à crise contemporânea). São Paulo. Editora UNESP, 2009. 567 p.
- MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 3th ed. 1280 p. 2007. Editora CRC Press.
- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Editora CETEM, 2004.
- NUNES, Catarina A. S.; RIBEIRO, Tânia I. B.; NUNES, João M. S. A. Comparative Analysis of Dehydration Methods for Apple Fruit. Análise Comparativa de Métodos de Desidratação do Fruto Maçã. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa , v. 38, n. 3, p. 282-290, set. 2015 .
- PEREIRA, M. S. **Aplicação de secagem por micro-ondas no tratamento de cascalho de perfuração**. 2013. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2013.
- PETRI JÚNIOR, I. **Secagem por micro-ondas na descontaminação de cascalhos de perfuração**. 2014. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2014.
- RAHAL, F. G. **Produção de termofosfato potássico fundido com fosfato de Irecê, BA**. 1990. 97 p. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1990.
- RAMOS, André Luis Dantas et al . Atual estágio de desenvolvimento da tecnologia GTL e perspectivas para o Brasil. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 34, n. 10, p. 1704-1716, 2011 .
- RAVEN, H.P.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. 1996. **Biologia Vegetal**. 5^a ed. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan. 1996. 728 p.
- SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, São Paulo, nº 8. Novembro 2007.
- SILVA, M. G. **Análise de sensibilidade paramétrica na modelagem da secagem de fertilizantes em secador rotatório**. 2010. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2010.
- SILVA, M. G. et al . Modelling of fertilizer drying in a rotary dryer: parametric sensitivity analysis. **Braz. J. Chem. Eng.**, São Paulo , v. 29, n. 2, p. 359-369, June 2012 .
- SILVA, N. C. **Desidratação de resíduos do processamento de maracujá-amarelo por diferentes metodologias**. 2015. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2015.

- SILVÉRIO, C. B. **Estudos fluidodinâmicos e de secagem de fertilizantes em diferentes tipos de secadores rotatórios**. 2012. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2012.
- SILVÉRIO, B. C. **Estudos fluidodinâmicos e de secagem de fertilizantes em secadores rotatórios concorrentes**. 2010. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2010.
- SINDEN, J. Effect of rock quality on TSP and SSP production. **Phosphorus & Potassium**. nº 186. Julho/Agosto 1993.
- SINDEN, J. **Single superphosphate**. Relatório interno Vale Fertilizantes. 2003.
- SINDEN, J. **Granulação**. In: WORKSHOP FERTILIZANTES. Uberlândia. Jul. 2010.
- SONG, Y. **Solids transportation, heat and mass transfer in Rotary dryers**. 2003. 141 p. Tese (Mestrado em Ciências Aplicadas) – Departamento de Engenharia Química, Universidade de Ottawa. Ottawa. 2003.
- Tecnologia de Fertilizantes**. 2015. Uberlândia. Notas de aula.
- United Nations. **World population to hit 9,8 billion by 2050, despite nearly universal lower fertility rates** – UN. Junho, 2017. Disponível em: <<http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=57028#.Wd-9eGhSzWU>>. Acesso: 12, outubro, 2017.
- U.S. Geological Survey, 2017, **Mineral commodity summaries 2017**. U.S. Geological Survey. Janeiro, 2017. 202 p. Disponível em:<<https://doi.org/10.3133/70180197>>. Acesso em 9 de agosto de 2017.



UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



CENÁRIOS E DESAFIOS DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

LUIZA GONZAGA SREELDIN CUNHA

UBERLÂNDIA-MG

2017