

61

CETEM

Série Estudos & Documentos

**Fertilizantes e
Sustentabilidade:
o potássio na
agricultura
brasileira, fontes e
rotas alternativas**

**Marisa Nascimento
Francisco E. Lapido Loureiro**

Presidência da República

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA

Vice-Presidente

Ministério da Ciência e Tecnologia

EDUARDO CAMPOS

Ministro da Ciência e Tecnologia

LUÍS MANUEL REBELO FERNANDES

Secretário Executivo

AVÍLIO FRANCO

Secretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

ADÃO BENVINDO DA LUZ

Diretor do CETEM

ARNALDO ALCOVER NETO

Coordenador de Análises Mineraiis

ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS

Coordenador de Apoio as Micro e Pequenas Empresas

COSME ANTONIO DE MORAES REGLY

Coordenador de Administração

FERNANDO FREITAS LINS

Coordenador de Assessoramento Tecnológico

RONALDO LUIZ C. DOS SANTOS

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

ISSN 0103-6319

Coletânea Fertilizantes - V

**Fertilizantes e Sustentabilidade: o
potássio na agricultura brasileira,
fontes e rotas alternativas**

MARISA NASCIMENTO

Eng^a. Química, D. Sc.

Pesquisadora do CETEM/MCT

FRANCISCO E. LAPIDO LOUREIRO

Eng. Geólogo, D. Sc.

Pesquisador Titular do CETEM/MCT

CETEM / MCT
2004

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS
CONSELHO EDITORIAL

Editor

Carlos César Peiter

Subeditor

Maria Laura Barreto

Conselheiros Internos

Francisco E. de Vries Lapido-Loureiro

Francisco R. C. Fernandes

Gilson Ezequiel Ferreira

Conselheiros Externos

Alfredo Ruy Barbosa (Consultor)

Gilberto Dias Calaes (ConDet)

José Mário Coelho (CPRM)

Rupen Adamian (UFRJ)

Saul Barisnik Suslick (UNICAMP)

A **Série Estudos e Documentos** publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Jackson de F. Neto COORDENAÇÃO EDITORIAL

Vera Lúcia Ribeiro CAPA

Dayse Lúcia Moraes Lima EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Nascimento, Marisa

Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas/ Marisa Nascimento, Francisco E. Lapido Loureiro - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

66 p. (Série Estudos e Documentos, 61)

1.Potássio na agricultura. 2. Fertilizantes potássicos. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Lapido Loureiro, F. E. II. Título. IV. Série.

ISBN 85-7227-203-8

ISSN 0103-6319

CDD 668.6

Sumário

Resumo	6
Abstract	8
Preâmbulo	9
1. O potássio como fertilizante	12
1.1 Introdução	12
1.2 Geoquímica do potássio	14
1.3 Mineralogia do potássio	18
1.4 Geologia e metalogenia do potássio	25
1.5 Produção e consumo de potássio no mundo e no Brasil	27
1.6 Importância e função do potássio na agricultura	29
2. A indústria de fertilizante	34
2.1 Fontes de potássio no Brasil: depósitos, jazidas e minas	34
2.2 Aspectos econômicos e geoestratégicos	36
2.3 Especificações dos fertilizantes potássicos	40
2.4 Características e perspectivas de demanda/consumo	42
3. Pesquisas realizadas e a desenvolver	44
3.1 Prospecção de estudos geológicos	44
3.2 Produção de sais de potássio a partir de minerais silicatados	45
4. Considerações finais e síntese conclusiva	50
Referências bibliográficas	55

Resumo

A produção agrícola do Brasil, uma das mais importantes em escala mundial, vem apresentando crescimento contínuo, resultante principalmente da maior e melhor aplicação de fertilizantes.

Os solos brasileiros são, na generalidade, carentes dos macronutrientes potássio e fósforo, o que, associado à insuficiente produção interna de matérias primas para fertilizantes, constitui um ponto fraco da agricultura nacional. Tal fato é mais acentuado em relação ao potássio. A única mina em produção satisfaz apenas 13,5% das necessidades do País.

É neste contexto que se analisa a problemática do potássio levando-se em consideração o conceito de agricultura sustentável, isto é, de uma agricultura que satisfaça e atenda a parâmetros econômicos, ecológicos e sociais, atuais e futuros.

Sintetizam-se neste trabalho as informações mais relevantes sobre o macronutriente potássio - geoquímica, mineralogia, geologia e metalogenia - e sobre sua importância/função na agricultura. Em relação ao Brasil, faz-se uma abordagem das fontes tradicionais e potenciais, dos aspectos econômicos e geoestratégicos e das características/perspectivas da demanda/consumo.

Referem-se ainda fontes não convencionais de potássio e rotas tecnológicas para seu aproveitamento que, a médio prazo, possam tornar o País menos dependente de importações.

Apresenta-se, no Anexo I, sob a forma

de tabela, uma lista de 321 minerais, que contêm mais de 2% de potássio, dos quais 98 com teores superiores a 10%, e 38 com valores acima de 20%.

Abstract

The agricultural production of Brazil, one of the most important in a world-wide scale, has increased steadily mainly because of the greater and better application of fertilizers.

The Brazilian soils are, in general, devoid of potassium and phosphorus which, together with an insufficient production of raw material for fertilizers, result in a deficiency of the Brazilian agriculture. This fact is more important in relation to potassium. The only mine in production satisfies only 13,5% of the Brazilian demand.

It is in this context that the present paper analyzes the potassium problem and the concept of sustainable agriculture, or still, of an agriculture that satisfies the economic, ecological and social parameters in a local, national and global domain, as much as in the present as in the future.

This work summerizes the principal information about the macronutrient potassium and its geochemistry, mineralogy, geology and metallogeny as well as its role in agriculture. Traditional and potential sources, economic and geostrategical aspects are presented.

In the ANNEX I a list of 322 minerals with more than 2% of potassium is shown. 98 have more than 10% and 38 over 20%.

Preâmbulo

São muitas as motivações de um pesquisador.
*Mas, o fundamental é ter confiança na própria
imaginação e saber usá-la.*

(Celso Furtado)

O termo “potash”, criado por Sir Humphrey Davy quando isolou este elemento, a partir da potassa cáustica, em 1807 (*Handbook of Chemistry and Physics – 75th Edition, 1994*), inspirou-se numa prática pioneira de produção de potássio como fertilizante. Consistia na lixiviação das cinzas das árvores, seguida de evaporação, com auxílio de potes de ferro. O produto residual era chamado “pot ash”.

Tal processo originou o 1º pedido de patente registrado nos EUA, em 31 de julho de 1790. Samuel Hopkins, de Pittsford, Vermont, foi seu autor. A patente citava um novo aparelho e um novo processo para produção de “potash”. Seu registro foi assinado pelo presidente George Washington, pelo general Edmund Randolph e pelo secretário de estado, Thomas Jefferson.

O potássio é usado como fertilizante desde do século III a.C., na forma de cinzas ou resíduos vegetais. Na América do Norte, os índios assim procediam, com cinzas de árvores, quando chegaram os primeiros colonizadores europeus (*Canadian Potash Producers, 2001*).

Assim como o fósforo é um elemento indispensável à vida porque entra na composição do núcleo das células de todos os seres vivos, o potássio é um nutriente versátil envolvido em vários processos metabólicos das plantas como, por exemplo, ativação enzimática, controle osmótico de fluxo de água, produção e quebra das cadeias de carboidratos e balanço ânion/cátion.

Os macro nutrientes potássio e fósforo não têm merecido a mesma atenção no Brasil. Enquanto que os fertilizantes fosfatados possuem, em âmbito nacional, o *Instituto Brasileiro do Fosfato*, que realiza encontros periódicos - *Encontros Nacionais de Rocha Fosfática*, têm dado lugar ao desenvolvimento de teses e à

publicação de livros e de numerosos artigos, o potássio não tem captado igual interesse/dinâmica. No entanto, os solos brasileiros são tão carentes de potássio quanto de fósforo e a dependência externa de importações é muito maior em relação ao potássio.

Nos solos, o potássio existe essencialmente sob três formas: potássio mineral (minerais primários e secundários), potássio trocável e potássio da solução. Normalmente em equilíbrio dinâmico na natureza, a agricultura intensiva provoca-lhes perdas que devem ser compensadas pela adubação.

Deve ser sempre lembrado que o potássio é um elemento essencial para todos os organismos vivos como é referido, constantemente, pelos pesquisadores, tanto das áreas biomédicas como das de ciências agrônômicas. Como principais funções podem citar-se (YAMADA, 1994):

- Influência no transporte de elétrons durante a fotossíntese, com reflexo direto numa melhor capacidade energética da planta e, conseqüentemente, maior assimilação de carbono;
- Maior síntese de carboidratos, proteínas e lipídeos;
- Maior translocação de produtos fotossintetizados nas folhas;
- Uso mais eficiente da água devido ao melhor funcionamento dos mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos;
- Maior resistência a pragas e doenças;
- Melhor qualidade do produto colhido.

Levando-se em consideração tais fatos, surgiu a idéia da elaboração de um trabalho, no âmbito da temática "**Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura: uma Abordagem Mineral-Química-Metalúrgica**", que sintetizasse a situação e importância deste bem mineral e sugerisse caminhos que pudessem contribuir para o equacionamento da problemática do potássio na indústria de fertilizantes do Brasil. É uma abordagem que se considera de interesse dado que:

- No Brasil, o consumo de fertilizantes por ha agricultável é de 120 kg/ha, muito baixo se comparado aos da Malásia (633,5),

Holanda (604), Reino Unido (386), Japão (376,2), China (367,2), Egito (349,3), França (262,8), Vietnã (248,8), Alemanha (244,2) e Itália (201,7) mas, mesmo assim, pela dimensão da sua área plantada, é um dos maiores importadores mundiais, com destaque para o potássio, e o 4º maior consumidor, atrás da China, EUA e Índia e à frente de países como a França, a Alemanha e o Canadá;

- Em 2000 importaram-se 13 Mt de matérias primas e produtos intermediários para fertilizantes, no valor de US \$ 1,66 bilhões (ANDA, 2001);

- Solos naturalmente pobres em potássio e fósforo, como os do Brasil, necessitam, cada vez mais, de maiores quantidades de nutrientes para aumento do rendimento da produção agrícola e, também, para compensação da "mineração" desses elementos pelas plantas, de forma a atender os requisitos de sustentabilidade;

- A produção interna de potássio, proveniente de uma única mina (351.681 t), representou apenas 13,5% das importações (2.605.147 t) – dados de 2000 (DNPM, 2001), sendo premente encontrar caminhos/soluções para modificar tão forte dependência externa;

- É pouco conhecida e está insuficientemente divulgada a importante função do potássio na agricultura;

- Se reveste de grande interesse/necessidade para o País, no caso do potássio, a implantação de projetos de P,I&D que viabilizem o aproveitamento de depósitos conhecidos e de novas fontes, se pesquisem rotas alternativas e se desenvolvam novos produtos.

- Segundo estimativas do Instituto Internacional de Pesquisa sobre Políticas Alimentares, *o Índice de Degradação de Terras para a agricultura atinge cerca de 40% e a ação humana está diretamente relacionada a esta degradação de terras, seja pelo esgotamento de nutrientes em terras cujo uso foi abusado nos últimos anos, seja pela ação da erosão em solos abandonados ou mal cultivados pelo homem* (EMBRAPA, 2003);

- /.../ ao mesmo tempo que é necessário o incremento da produção e a melhoria da qualidade dos alimentos, o manejo correto dos componentes ambientais é imprescindível para garantir a produção agrícola sustentável (EMBRAPA, 2003).

1. O potássio como fertilizante

*Responsabilidade é a capacidade de dar respostas eficazes aos problemas que nos chegam da realidade complexa atual. /.../
Responsabilidade surge quando nos damos conta das conseqüências dos nossos atos sobre os outros e a natureza.
(Leonardo Boff)*

Mais de 95% da produção mundial de potássio é usada como fertilizante. Outros usos dos compostos de potássio estão ligados à indústria de detergentes, cerâmicas, produtos químicos e farmacêuticos (GREENWELL, 1999).

1.1 Introdução

O símbolo **K** do potássio provém da palavra latina *kalium* derivada do árabe *qali* que significa álcali.

O seu número atômico é 19, peso atômico 39,0983 e apresenta a configuração eletrônica $[Ar]4s^1$. É um dos metais mais reativos e eletropositivos e o segundo mais leve depois do lítio. Foi o primeiro metal a ser isolado por eletrólise.

Nos séculos XVIII e XIX, o cloreto de potássio era exportado em volumes substanciais da América do Norte para Inglaterra. A produção comercial em larga escala, foi iniciada na Alemanha em meados do século XIX. Esse país foi o principal produtor até o início da década de 30 do século XX.

A interrupção das vendas, pela Alemanha, devido à primeira guerra mundial estimulou, nos Estados Unidos, não só a produção de KCl, mas também a prospecção e pesquisa de novas fontes o que levou à descoberta de extensos depósitos próximos de Carlsbad, Novo México, em 1921. A produção comercial começou dez anos mais tarde. Hoje, mais de 80% da produção americana é proveniente do Novo México (Canadian Potash Producers, 2001), mas bem insuficiente para o consumo interno: 90 % do KCl de que os EUA necessitam são provenientes do Canadá (SEARLS, 2001).

O potássio, pelas suas dimensões e carga iônica, tem tendência a concentrar-se nas fases finais da atividade magmática e, embora exista com certa abundância na natureza - é o sétimo elemento mais comum na crosta terrestre, à frente do magnésio (8º), titânio (9º), hidrogênio (10º), fósforo (11º), etc, raramente forma depósitos econômicos.

Em todo o hemisfério sul há apenas uma mina em operação, a de Taquari-Vassouras, em Sergipe. Com a sua produção de 337 mil toneladas de K_2O equivalente em 2002, satisfaz menos de 12% das necessidades do País em potássio: 2,9 Mt, (DNPM, 2003).

Os melhores minerais de potássio, formadores de minérios (*minerais de minério*), são a silvita, cloreto de potássio (KCl) e a carnalita, cloreto de potássio e magnésio hidratado ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$). O minério silvinita é uma mistura de halita (NaCl) e silvita (KCl).

Rochas ou minerais que apresentem teores elevados de potássio (ANEXO I) poderão ser fontes alternativas potenciais para produção de sais de potássio e/ ou de termofosfatos potássicos ou ainda para aplicação direta nos solos como fertilizantes de potássio de solubilização lenta.

Na natureza são comuns esses minerais e rochas. Por exemplo, o ortoclásio ($KAlSi_3O_8$), componente habitual de muitas rochas, tem, em média, 17% de potássio. Rochas ígneas, como os granitos (feldspatos alcalinos, quartzo e micas), os sienitos (ortoclásio/microclínio, principalmente, e minerais ferro-magnesianos) e rochas sedimentares como os arcósios (rochas constituídas predominantemente por feldspatos potássicos e quartzo) apresentam, em regra, teores elevados de potássio.

No caso dos arcósios (arenitos de origem continental), rochas originadas pela alteração/desagregação, transporte e deposição de material proveniente de granitos s.l., a separação dos seus dois principais minerais constituintes é fácil e daria lugar a dois concentrados de valor econômico potencial.

Outros minerais do grupo das micas como a glauconita e a biotita, ou as vermiculitas que constituem um grupo de minerais micáceos, argilosos, de composição química muito variada, derivados habitualmente da alteração de micas como a biotita e a flogopita

são também fontes potenciais de potássio. As vermiculitas apresentam alta capacidade de troca iônica e o cátion trocável mais típico é o Mg^{+2} .

Potássio e fósforo revestem-se de grande importância na agricultura brasileira, pelas características dos seus solos, muito carentes de ambos. Com efeito a proporção média N:P:K nos fertilizantes consumidos no Brasil em 1999, por exemplo, foi de [1:1,5:1,7] enquanto que para outros países produtores de alimento como França, EUA e China, essas relações são respectivamente [1:0,4:0,6], [1:0,4:0,4] e [1:0,4:0,1] (ARMELIN,1999), ou seja, uma proporção de potássio muito superior.

A tabela 1 mostra a importância do potássio nos 6 tipos de misturas padrão comercializadas no Brasil. Apenas em duas o fósforo entra em maior proporção e em outras duas o N se iguala ao K.

Tabela 1: Preços em US\$/t de formulações NPK – Vendas ao consumidor final – 2000 (ANDA, 2000).

Formul. NPK	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1:10:10	180	173	180	180	165	168	171	180	185	186	183	180
1:3,5:2	143	142	140	138	135	135	139	140	145	147	142	138
1:5:5	181	184	183	183	171	179	178	185	190	195	190	186
1:5:3	193	193	196	190	187	181	187	196	203	203	205	200
1:0,5:1	151	147	148	147	142	141	146	152	157	160	150	148
1:0,25:1	179	175	179	179	174	178	179	193	198	196	189	186

Fonte: ANDA, 2000

1.2 Geoquímica do potássio

Enquanto a Mineralogia é a ciência que estuda os minerais, a Petrografia a que descreve as rochas e a Petrologia a que se debruça sobre a sua gênese e evolução, a Geoquímica estuda o comportamento das partículas elementares que formam esses materiais. *“A geoquímica ocupa-se em larga escala com a transformação da matéria de um estado em outro, como exemplificado pela cristalização dos magmas, pelo intemperismo das rochas, pela deposição de sais de uma solução e, em geral, pela formação de minerais em uma faixa ampla de temperaturas, pressões e ambientes químicos”* (MASON, 1971).

Na crosta terrestre, em cada 100 átomos, mais de 60 são de oxigênio, mais de 20 de silício, 6 a 7 de alumínio e uns dois de ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio. Pode, pois, considerar-se a crosta terrestre como uma rede de íons de oxigênio unidos em estruturas mais ou menos complexas a íons silício e alumínio, menores e com carga elevada. Por isso, os minerais que predominam na crosta terrestre, incluindo os do solo agrícola, são os silicatos e os óxidos. Os interstícios desta rede O-Si-Al são ocupados por íons Mg, Fe, Ca, Na e K.

Sendo o potássio um elemento particularmente móvel, a análise do comportamento geoquímico é fundamental e de grande interesse para a compreensão da distribuição nos minerais e nas rochas e para se entender a importância na vida dos vegetais.

Como é do conhecimento geral, o caráter geoquímico de um elemento é muito influenciado pela configuração eletrônica de seus átomos. Os elementos classificam-se em siderófilos, calcófilos, litófilos e atmófilos o que corresponde, respectivamente, a fases, metálica, sulfurosa, silicatada, e com oxigênio (DE LA ROSA, 2003), atendendo, às suas afinidades para o ferro metálico, sulfetos, silicatos e elementos da atmosfera. São elementos litófilos Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Si, P, entre outros.

Os teores de potássio na crosta começaram a ser estabelecidos após trabalho exaustivo de CLARK e WASHINGTON (MASON, 1971) para determinarem uma composição média das rochas ígneas, trabalho esse baseado numa compilação feita por Washington de 5.159 análises confiáveis.

Seguiram-se as abordagens de GOLDSCHMIDT (in: MASON, 1971) que considerou a argila glacial, amplamente distribuída no sul da Noruega, como sendo uma "amostra média" representativa, e a de POLDERVAART (in: MASON, 1971), que definiu a composição da crosta considerando quatro macro-divisões geológicas: região oceânica profunda, escudos continentais, cinturões de dobramento recente e plataforma continental / encostas.

Resumem-se na tabela 2 os valores obtidos nas 3 abordagens.

Tabela 2: Composição da crosta terrestre.

Autores	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O
Clark/Washington	60,18	15,61	3,14	3,88	---	3,56	5,17	3,91	3,19	1,06	0,30	---
Goldschmidt	59,12	15,82	6,99 [#]		---	3,30	3,07	2,05	3,93	0,79	0,22	3,02
Poldervaart*	55,2	15,3	2,8	5,8	0,2	5,2	8,8	2,9	1,9	1,6	0,3	---

Fe₂O₃ + FeO; * média reduzida a uma base isenta de água

Fonte: MASON, 1971

GOLDSCHMIDT, citado por MASON (1971), foi o primeiro a acentuar a importância da diferenciação geoquímica primária dos elementos.

BROWN e PETERSON (MASON, 1971) mostraram que, se o calor de formação de um óxido é maior que o do FeO, o elemento é litófilo. A medida entre calores de formação, segundo aqueles autores, é uma medida de intensidade do caráter litófilo, e os calores de formação mais baixos do que o do FeO correspondem a elementos calcófilos e siderófilos.

O potencial do eletrodo pode dar, também, uma medida semiquantitativa do caráter litófilo, siderófilo ou calcófilo do elemento. Os metais alcalinos e alcalino-terrosos, litófilos, têm potenciais positivos altos (13 volts).

A distribuição do potássio nas rochas é irregular. Enquanto nos granitos o teor médio é de 4,5%, em diabásios é de apenas 0,53% e nos basaltos dos fundos oceânicos é sempre inferior a 0,3% (MASON, 1971).

Na evolução da Terra, durante arrefecimento do magma primitivo, os elementos escalonavam-se e migravam, segundo o seu grau de mobilidade, disponibilidade. Formavam gases voláteis ou partículas em constante movimento. O potássio situava-se neste último caso.

O potássio é um elemento alcalino, tipicamente ímpar - número atômico 19 e peso atômico 39. Só se une, solidamente, com elementos halogêneos como, por exemplo, o cloro. Litófilo, de acordo com as suas afinidades geoquímicas, entra, com mais de 2%, na composição de mais de três centenas de minerais e, sob a forma de elemento menor, em muitos outros (ANEXO I). Daí o potássio

ser um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre (é o sétimo): 2,59% (MASON, 1971) ou 2,4% segundo o Handbook of Chemistry and Physics, 1994. Nos solos, o potássio está estreitamente relacionado com o tipo de material parental e com a pedogênese, sendo a sua principal fonte os minerais argilosos (CONTI, 2002).

Segundo MENGEL & RAHMATULLAH (MASON, 1971) o teor de potássio na litosfera é da ordem de 1,58%, com variações acentuadas em função da variedade litológica. É, pois, importante conhecer-se bem a geoquímica e a mineralogia/cristaloquímica do potássio para uma correta avaliação da capacidade agrícola dos solos e como ela deve ser complementada por uma fertilização racional. Acentue-se que o conteúdo de K total no solo não é, apenas por ele próprio, um índice de fertilidade, porque pode existir sob diferentes formas com índices de liberação distintos.

Estudos de laboratório mostraram, claramente, que uma parte é facilmente extraível por agentes naturais, como a água ou soluções salinas diluídas, e outras frações apenas com reagentes fortes como o ácido nítrico em ebulição. Numerosas pesquisas demonstraram que tais formas extremas se refletem, como é óbvio, na facilidade ou dificuldade/impossibilidade das plantas extraírem o potássio. (CONTI, 2002).

As formas mais comuns em que o K é encontrado no solo são: i) em solução; ii) sob a forma iônica unido eletrostaticamente aos materiais que constituem a parte sólida; iii) ligado fortemente à fase sólida mineral ("K fixado" e "K estrutural"), é o potássio de reserva ou de reposição dos solos.

Verifica-se, por um lado, que as reservas intercambiáveis dependem fundamentalmente da quantidade e tipo de argilas presentes e que, por outro lado, são os fertilizantes que compensam desequilíbrios provocados pela "exportação" resultante da atividade agrícola, principalmente quando ela é intensiva.

Sobre este assunto recomenda-se, entre muitos outros trabalhos, a leitura do artigo *Dinâmica de la Liberation y Fixación de Potássio en el Suelo*, de autoria da professora de Edafologia da Universidade de Buenos Aires, Maria Elvira Conti, disponível no "site" [www.ppi-ppci.org], pela clareza e forma didática como é

apresentado.

Como já foi dito, na formação de rochas ígneas, as fases târdi-magmáticas podem promover enriquecimento de vários elementos como é o caso da "Rocha Potássica" do Planalto de Poços de Caldas (MG), fortemente enriquecida em potássio. Este enriquecimento resultou da alteração, por processos hidrotermais, de rochas feldspatóidicas (fonólitos/tinguaítos¹), que transformou todos os feldspatos [**M**Al(Al,Si)₃O₈]² em feldspatos potássicos puros, a nefelina [(Na,K)AlSiO₄] em ilita [(H₃OK)_y(Al₄.Fe₄.Mg₄.Mg₆)(Si₈-_yAl_y)O₂₀(OH)₄]³, a caolinita [Al₂Si₂O₅(OH)₄] e os clinopiroxênios [**A**BSi₂O₆]⁴, carreadores primários dos ETR⁵, numa mistura de minerais ricos de TiO₂, minerais argilosos e pirita. Esta transformação mineralógica traduziu-se num enriquecimento em K, S, U, Th, Pb, Rb, Ba, Mo e diminuição de Ca, Na, Mg e Sr (VALARELLI & GUARDANI, 1981).

1.3. Mineralogia do potássio

Um dos objetivos deste trabalho é mostrar a existência além dos minerais de minério, largamente utilizados, de outros minerais e de rochas, ricos de potássio, suscetíveis de serem aproveitados como fontes alternativas para fertilizantes. O seu possível aproveitamento irá requerer, porém, trabalhos de P,I&D complexos, mas os resultados que venham a ser conseguidos, se positivos terão enorme impacto na indústria dos fertilizantes potássicos. Para tal, será necessário um conhecimento aprofundado da cristalocímica e geoquímica do potássio.

¹ **Fonólito**: rocha microcristalina composta por feldspato alcalino e nefelina (equivalente extrusivo do nefelina sienito). **Tinguaíto**: variedade textural do fonólito

² **M** = K, Na, Ca, Ba, Rb, Sr, Fe

³ **y** < 2 e freqüentemente compreendido entre 1 e 1,5

⁴ **A** = Ca, Na, Mg ou Fe²⁺; **B** = Mg, Fe³⁺ ou Al

⁵ **ETR** = Elementos de Terras Raras

Como referimos, embora o potássio exista em numerosos minerais, apenas dois deles são largamente utilizados como minerais de minério: a **silvita (KCl)** e a **carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)**. Os outros são os sulfatos **langbainita ($\text{KMg}_2(\text{SO}_4)_3$)** e **polyhalita ($\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)** e **kainita ($4\text{KCl} \cdot 4\text{MgSO}_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$)**.

A silvita é o mineral de minério com a maior percentagem de potássio (cerca de 52,5%). Cristaliza em estrutura hexooctaédrica (figura 1), a mesma do sal gema, cúbica de face centrada, porém sua célula unitária tem maiores dimensões (BETEJTIN, 1977).



Figura 1: Sistema cristalino da silvita: hexooctaédrico (BARTHELMY, 2003).

Constitui ainda minério comum de potássio, uma mistura de silvita (KCl) e halita (NaCl) que se designa por **silvinita**.

Cloretos e sulfatos de potássio (Tabela 3) ocorrem em antigos lagos e extensos depósitos de origem marinha. Nestes casos, o potássio é recuperado com relativa facilidade. O problema é serem pouco abundantes e quase não existirem no hemisfério sul onde há apenas uma mina em operação, a de Taquari-Vassouras em Sergipe.

Canadá (60,2%) e Rússia/Bielorrússia (19,8%) detêm 80% das reservas mundiais, consideradas econômicas.

A maioria dos minerais com potássio é insolúvel e o metal só é obtido com grande dificuldade (LIDE,1994), como é o caso dos silicatos. Daí não serem considerados como minerais de minério.

Os silicatos revelaram-se rebeldes a classificações químicas. Nas primeiras tentativas imaginaram-se uma série de ácidos silícicos hipotéticos a partir do ácido ortossilícico H_4SiO_4 . Chegou a estabelecer-se uma classificação meramente química para os

Tabela 3: Minerais de potássio e seus teores equivalentes em peso (%).

Minerais	Fórmula	Teores Equivalentes (%)			
		K	KCl	K ₂ O	K ₂ SO ₄
Silvita*	KCl	52,44	100,00	63,17	---
Carnalita*	KCl.MgCl ₂ .H ₂ O	14,07	26,83	16,95	---
Silvinita*	KCl + NaCl	---	---	10-35	---
Kainita**	4 KCl.4MgSO ₄ .H ₂ O	15,71	29,94	19,26	---
Arcanita	K ₂ SO ₄	44,88	---	54,06	100,00
Glaserita	3 K ₂ SO ₄ .Na ₂ SO ₄	35,29	---	42,51	78,63
Langbeinita**	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄	18,84	---	22,69	41,99
Leonita	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄ .4H ₂ O	21,33	---	25,69	47,52
Polyhalita**	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .2CaSO ₄ .2H ₂ O	12,97	---	15,62	28,90

*Principais minerais de minério (Fonte: The Industrial Minerals Handbook II)

** Minerais de minério secundários (Fonte: The Industrial Minerals Handbook II)

Fonte: THE INDUSTRIAL MINERALS HANDBOOK II

minerais silicatados, mas tal caminho não se mostrou compatível com a realidade mineralógica e cristaloquímica. Desta fase apenas o conceito de acidez, que surgiu com a adoção dos diversos ácidos silícicos, se prolongou até nossos dias, porém com um significado muito particular.⁶

O problema das classificações dos feldspatos ficou resolvido com o conhecimento de suas redes estruturais.

Os silicatos são minerais formados essencialmente por grupos tetraédricos SiO₄, ligados diretamente entre eles por cátions. São os componentes mais importantes das rochas e constituem, incluindo-se o quartzo, 95% da parte conhecida da crosta terrestre. É a classe mais rica em espécies.

Na "trama silicatada" dos tetraedros (SiO₄)⁴⁻ o Al pode estar, tanto no centro (AlO₄) em substituição de Si (*alumino-silicatos*); quanto no centro de octaedros (AlO₆) (*silicatos de alumínio*), como é de conhecimento geral. Pelo contrário, Mg, Fe, Ti, Na, Ca, K estão no centro de octaedros (XO₆) que têm vértices e arestas em comum (AlO₆, MgO₆, FeO₆, TiO₆), ou mesmo faces comuns

⁶ Nesse caso, ácido, significa que um mineral ou rocha é rico de silício e não que tem um pH ácido.

(NaO_6 , CaO_6 , KO_6).

Os diversos tipos de associação de tetraedros SiO_4 levaram à seguinte classificação estrutural dos silicatos: nesossilicatos (tetraedros isolados), sorossilicatos (dois tetraedros ligados entre si), ciclossilicatos (tetraedros em anéis), inossilicatos (tetraedros em cadeia), filossilicatos (tetraedros em folha) e tectosilicatos (tetraedros em três dimensões).

A estrutura tridimensional dos tectosilicatos é apresentada na figura 2. Nota-se o compartilhamento dos íons O^{2-} formadores de tetraedros juntamente com o silício, compartilhados com outros tetraedros vizinhos.

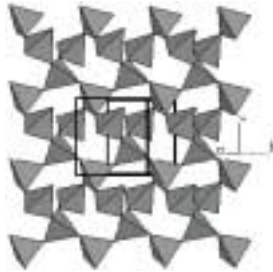


Figura 2: Estrutura geral dos tectosilicatos (XAVIER, 2001).

O **grupo dos feldspatos** é o mais abundante conjunto de minerais da crosta terrestre (mais de 90%) (PERONI, 2003). A palavra 'feldspato' deriva da língua alemã antiga e significa 'campos de pedra', em referência à sua abundância. Os feldspatos são minerais de importância econômica, pois são utilizados para a manufatura de porcelanas e vidro.

Os feldspatos cristalizam nos sistemas monoclinico, tanto o ortoclásio, feldspato comum, como as suas variedades sanidina e adulária, e no triclinico o microclíneo e os plagioclásios.

Sob o ponto de vista químico os feldspatos dividem-se em feldspatos alcalinos e feldspatos calco-sódicos ou plagioclásios. Os plagioclásios são soluções sólidas cujos termos extremos são a albita, sódico-cálcica e a anortita, cálcico-sódica tendo como

termos intermédios e progressivo enriquecimento em cálcio, o oligoclásio, a andesina, o labrador e a bitownita.

De acordo com XAVIER (2001), em suas anotações do curso de mineralogia-ciências da terra ministrado na UNICAMP, a fórmula geral do grupo dos feldspatos pode ser representada por $\mathbf{AT}_4\mathbf{O}_8$, onde **T** é o sítio tetraédrico, com número de coordenação igual a 4, ocupado por íons Si^{4+} e Al^{3+} ; **A** corresponde a um sítio geralmente ocupado por elementos de raio iônico grande com números de coordenação maiores ou iguais a 8, tais como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} (mais freqüentemente) e/ou Ba^{2+} , Sr^{2+} e Pb^{2+} (elementos menores).

Quando Al^{3+} substitui Si^{4+} na coordenação tetraédrica neste tipo de estrutura, se faz necessária a adição de cátions para o equilíbrio de sua neutralidade eletrostática. Estes cátions entram nos espaços da estrutura cristalina. Algumas séries desses minerais (série ortoclásio – albita e série albita – anortita) encontram-se na figura 3.



Figura 3: Diagrama mostrando as duas séries composicionais de feldspatos (XAVIER, 2001).

Na série ortoclásio – albita o Al^{3+} não é um constituinte substitutivo, cuja percentagem varia de amostra para amostra. É um componente essencial presente em quantidade estequiométrica e não pode ser substituído pelo Si^{4+} sem haver a desintegração da estrutura, ou seja, não há substituição iônica entre Si^{4+} e Al^{3+} .

Os feldspatos alcalinos, ortoclásio (potássico) e albita (sódica) somente a temperaturas altas ($>600^{\circ}C$) se apresentam como soluções sólidas, ou seja, quando cristalizam a partir de um magma. Nestas condições, a estrutura do feldspato encontra-se suficientemente expandida para acomodar as diferenças entre os raios iônicos do Na^{+} e do K^{+} e promover solução sólida simples.

A temperaturas mais baixas (durante o resfriamento do magma, por exemplo), a estrutura contrai-se, não mais suportando as diferenças entre os raios iônicos do K^{+} (maior) e Na^{+} (menor), e os átomos de Al e Si reorganizam-se impedindo que os átomos de Al ocupem sítios tetraédricos. Como resultado há a separação destes dois minerais novamente, microclínio e albita, formando uma textura de exsolução denominada de pertita.

Os feldspatos potássicos ($KAlSi_3O_8$) agrupam-se em 3 polimorfos⁷ estáveis a temperaturas diferentes: sanidina (monoclínico; alta temperatura – rochas ígneas, fases magmáticas); ortoclásio (monoclínico; temperatura intermediária – rochas ígneas intrusivas); microclínio (triclínico; baixa temperatura – granitos e pegmatitos). Na estrutura da sanidina, $KAlSi_3O_8$, Si^{4+} e Al^{3+} ocupam as posições tetraédricas de forma aleatória (Figura 4).

A cor dos feldspatos pode ser influenciada pela presença de elementos-traço: os feldspatos alcalinos são geralmente de coloração branca, mas pequenas quantidades de Fe^{3+} podem conferir ao mineral uma cor rosa ou avermelhada; a presença de pequenas quantidades de H_2O e Pb resultam na cor azul ou verde, como na amazonita (tipo de microclínio), que é considerada uma gema.

⁷ Minerais polimorfos são aqueles que têm essencialmente a mesma composição química, mas estruturas cristalinas diferentes

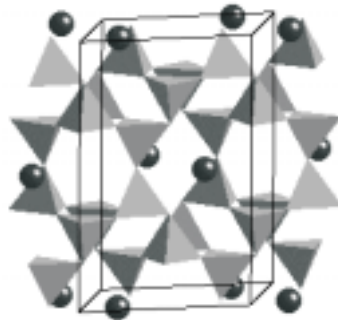


Figura 4: Estrutura do feldspato alcalino sanidina. Fonte: SHERMAN, 2003.

Tabela 4: Propriedades dos feldspatos.

Propriedades	Ortoclásio	Plagioclásio
Retículo Espacial	Monoclinico C	Triclínico P
Hábito	Prismático	Tabular
Clivagem	Perfeita, 2 direções (90°)	Perfeita, 2 direções (90°)
Dureza	6	6 – 6,5
Cor	Branco, róseo	Incolor, branco, cinzento
Traço	Branco	Branco
Peso Específico	2,55	2,63 – 2,76
Ponto de Fusão	> 1000°C	>1000°C

Fonte: XAVIER, 2001

Os feldspatóides são silicatos anidros, similares aos feldspatos, porém com ~~quantidades menores de SiO₂~~ (Figura 5).

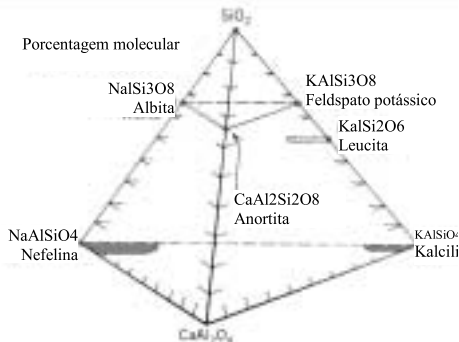


Figura 5: A composição dos feldspatóides, em comparação com as dos feldspatos. Fonte: KLEIN & HURLBUT, 1993.

Os principais minerais deste grupo são indicados na tabela 5.

Tabela 5: Principais minerais do grupo dos feldspatóides.

Leucita	$KAlSi_2O_6$	Tetragonal (T-elevada) / Cúbico
Nefelina/ Kalsilita	$NaAlSi_3O_8/KAlSi_3O_8$	Hexagonal
Sodalita	$Na_8(AlSi_3O_8)_6Cl_2$	Cúbico
Lazurita	$(Na,Ca)_8(AlSi_3O_8)_6(SO_4,S,Cl)_2$	Cúbico

Fonte: XAVIER, 2001

A fórmula dos feldspatóides pode ser derivada dos plagioclásios: perda de um SiO_2 para a leucita ou de um Si_2O_4 para a nefelina. A estrutura dos feldspatóides é similar à do feldspato, mas contêm sítios ou cavidades estruturais maiores, que permitem a entrada de ânions de raio iônico grande ou grupos aniônicos (e.g. SO_4^{2-}). São muito menos abundantes que os feldspatos na crosta terrestre e geralmente associam-se a rochas ígneas intrusivas alcalinas como, por exemplo, os nefelina sienitos e seus correspondentes extrusivos (fonolitos), que são rochas ricas de álcalis (Na e K) e deficientes em sílica.

1.4. Geologia e metalogenia do potássio

Depósitos de minerais como a halita (NaCl), muito abundante, silvita (KCl) e carnalita ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$) formaram-se por evaporação gradual de águas salinas, em bacias fechadas, pouco profundas. As “camadas” de sal assim formadas, principalmente no hemisfério norte, durante o Paleozóico, Devoniano (417 a 354 M.a.) e Permiano (290 a 248 M.a.) foram recobertos, no tempo geológico, por outros depósitos sedimentares.

O mecanismo de formação destas “camadas” de sais, que podem ter espessuras consideráveis, hoje encontradas, com frequência, a grandes profundidades, é o seguinte: a água dos rios transportam, em solução, diversos sais solúveis e quando deságuam em mares fechados, cuja evaporação seja igual ou superior ao aporte das águas fluviais, a concentração dos sais passa a aumentar progressivamente. Pela subida do nível dos oceanos, essas bacias podem ser invadidas por águas de mar aberto, ricas de NaCl. Pelo

contrário, em períodos de estações chuvosas podem perder a saturação.

Desta forma, se explica a alternância de camadas mais ricas de sais de Na - K - Mg ou de argilas estéreis.

Depósitos de halita podem também formar-se quando volumes consideráveis de água marinha são isolados dos oceanos por formação de barras arenosas e subsequente concentração de NaCl por evaporação.

Não deve esquecer-se que a formação dos depósitos acontece em escala de tempo geológico: a dos milhões de anos.

Constata-se assim que os minérios de potássio típicos são, do ponto de vista genético, sedimentos formados por deposição química. Constituem camadas (estratos) de espessuras muito variáveis (de alguns centímetros até centenas de metros) podem estender-se por superfícies consideráveis, formando enormes províncias salinas. Frequentemente, as camadas de sais de potássio apresentam-se interestratificadas com as de outros sais comuns, como o cloreto de sódio.

No Canadá, na Província de Saskatchewan, a mais importante em escala mundial, ocorrem a profundidades que oscilam entre 1000m, na parte central, e 3000m junto da fronteira com os E.U.A. Nesta região, as camadas apresentam-se quase horizontais, com espessuras de 2,5 a 3,5 nas mineralizadas em potássio (MMSD, 2001).

Deformações tectônicas podem dar origem a morfologias especiais, complexas, devido à grande plasticidade do material salino e à sua propriedade de passar ao estado fluido quando sujeito a grandes pressões. Domas, "stocks" e elevações em forma de vaga são comuns.

São exemplos de jazidas de potássio:

- Saskatchewan, Canadá, na Província do mesmo nome (10 minas em produção), prolongando-se para norte na Província de Manitoba e para sul no Estado de North Dakota - EUA;

- New Brunswick, no extremo leste do Canadá, (2 minas em produção);

- Stassfurt, Alemanha, na depressão Magdeburg – Halberstadt – 7 jazidas sendo a camada Stassfurt a mais importante;
- Solikamsk, Rússia, com grandes reservas.

Além destas províncias, ocorrem depósitos de potássio em várias regiões dos EUA, principalmente na parte sudeste do Estado de Novo México e ocidental do Texas, no Reino Unido, na Espanha e na França. No Brasil, há uma mina em produção e importantes ocorrências de carnalita no Estado de Sergipe e, na região amazônica.

Quantidades significativas de potássio encontram-se em salmouras e lagos naturais como no Mar Morto com um teor de sais de 24,5%: $MgCl_2$ (9,1%), NaCl (8,5%), $CaCl_2$ (3,5%) e KCl (1,4%). Suas reservas de sais de potássio são da ordem 1,8Mt (DOROKHINE et al, 1967).

Israel e Jordânia produzem potássio a partir das águas do Mar Morto, por um processo de evaporação solar.

Duas novas minas na Tailândia, que deverão entrar em atividade entre 2003 e 2005, irão contribuir para um aumento significativo, da ordem dos 7%, da produção mundial de potássio para fertilizantes (POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE, 2003).

Os principais depósitos de sais de potássio formaram-se no Paleozóico, Permiano no caso de Stassfurt (Alemanha), de Solikansk (Rússia) e de Carlsbad (República Tcheca) e Devoniano em Saskatchewan (Canadá).

Os depósitos mais recentes apresentam reservas menores.

1.5 Produção e consumo de potássio no mundo e no Brasil

Constata-se na tabela 6 que o consumo de fertilizantes potássicos no mundo entre os anos de 1997 e 1998 girou em torno de 22,55 milhões de toneladas. Desse montante, mais da metade foi sob a forma de cloreto de potássio. Porém, esse consumo foi

menor do que no mesmo intervalo de anos da década anterior (1987/88), quando atingiu valores em torno de 27,39 milhões de toneladas.

Tabela 6: Consumo mundial de fertilizantes potássicos em milhões de toneladas(DNPM, 2000).

Tipo de Fertilizante	1973/74	1987/88	1997/98
Cloreto de potássio	9,67	16,13	13,73
Sulfato de potássio	0,42	0,65	0,77
Compostos NK / PK / NPK	8,93	9,46	7,88
Outros*	1,41	1,15	0,17
Potássio total	20,43	27,39	22,55

*Outros : sulfato duplo de potássio e magnésio, sais de potássio naturais. Fonte: DNPM, 2000

O Brasil, devido à dimensão da sua produção agrícola (o PIB agrícola brasileiro ultrapassou R\$ 87 bilhões em 2001), às características dos seus solos, muito pobres nos macronutrientes potássio e fósforo e à insuficiente produção doméstica de potássio, de fosfatos, de compostos nitrogenados e de enxofre, é um dos grandes importadores mundiais de fertilizantes. Foram mais de 1,15 bilhões de dólares em 2000 correspondentes a 13 Mt (treze milhões de toneladas), de matérias primas (2,7 Mt) e produtos intermediários (10,3 Mt) para fertilizantes. Desse total de US\$ 1,15 bilhões, o potássio foi responsável por US\$ 580 milhões (tabela 7) (ANDA, 2001).

Tabela 7: Importação de produtos intermediários de potássio para fertilizantes, em toneladas de nutrientes

Produtos	1999	2000
Cloreto de potássio	1.904.723	2.518.521
Sulfato de potássio	21.377	13.756
Salitre potássico	10.362	14.966
Nitrato de potássio	1.403	14.208
Fertilizantes complexos	3.610	10.168
TOTAL	1.941.475	2.571.619

Fonte: ANDA, 2000

O problema é mais grave em relação ao potássio porque o País depende em 86,5% de importações. Em 2000, foram 2,6 Mt de K_2O equivalente (US\$ 579.700) e produziu apenas 0,352 Mt. As importações, em volume, foram 36% superiores em relação às do ano anterior (tabela 7).

Além da mina de Taquari-Vassouras, em produção, são conhecidos, na região, em Santa Rosa de Lima, depósitos de potássio, arrendados à Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, mas os projetos de exploração dessas reservas de silvinita e de carnalita, continuam pendentes aguardando pesquisas tecnológicas que mostrem a sua viabilidade técnico-econômica.

Os depósitos de Fazendinha e Arari, no Estado do Amazonas, também aguardam definição por parte da Petrobrás, atual detentora dos direitos de lavra.

Se a dependência econômica é grande, a fragilidade física é maior. O Brasil tem uma única mina em operação, que é uma mina de risco pelas suas características geológicas. O Canadá, por exemplo, tem 12 minas em produção, sendo 10 subterrâneas e duas de extração por solventes. Destas 12 unidades, 10 situam-se na Província de Saskatchewan, no centro sul do Canadá e duas a sudeste, na Província de New Brunswick.

1.6 Importância e função do potássio na agricultura

O potássio, como já foi referido, é um nutriente essencial para todos os organismos vivos. Tem como principal função, promover a reciclagem dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas. Desempenha uma função importante na ativação de enzimas (mais de 60 são ativados por este cátion) que atua em diversos processos metabólicos tais como a fotossíntese, síntese de proteínas e carboidratos. Tem também incidência no balanço de água e no crescimento de meristemas (CONTI, 2003).

Os efeitos de uma fertilização bem balanceada no rendimento da produção agrícola estão documentados em numerosos trabalhos.

O gráfico de Marschner et al, 1996 (KRAUSS, 2000)(Figura 6) sintetiza, por exemplo, a importante função do K no ciclo de outros nutrientes.

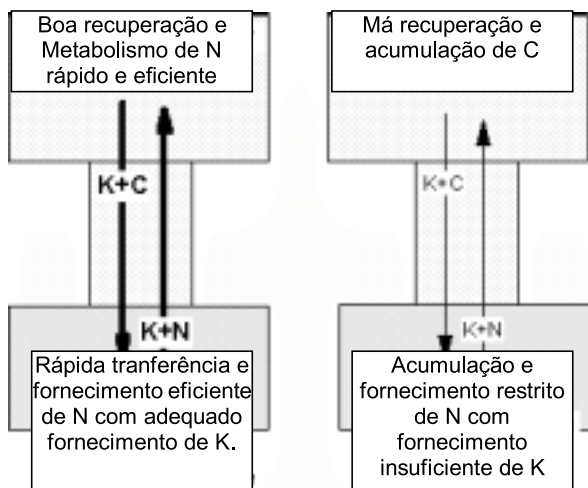


Figura 6: Participação do K no ciclo dos outros nutrientes

Fonte: KRAUSS, 2000

Os resultados obtidos nos mais recentes trabalhos de pesquisa experimental, realizados no âmbito de um dos programas do *International Potash Institute - IPI* na Europa Central e Oriental (KRAUSS, 2000), mostraram, por exemplo:

- Aumento de até 36% no rendimento de produção de batata na Polónia com uma fertilização balanceada que incluiu NPK+S+Mg, comparada com a utilização de apenas NP;

- Acréscimo de 8% e de até 17% no rendimento de produção de beterraba e de açúcar, respectivamente, com NPK+S+Mg, na República Tcheca;

- Produção 18% mais elevada de beterraba, com mais 20% de açúcar; na Hungria (NP versus NPK+S+Mg).

A respeito da qualidade da beterraba, foi ainda relatado que para a produção de uma tonelada de açúcar a partir de beterraba de baixa qualidade, são necessárias 10 toneladas de raízes com um teor médio de 13% e um rendimento de extração de 80%. Com beterraba de elevada qualidade, obtida com fertilização adequada,

o índice de açúcar nas raízes subiu para 17% e o rendimento na extração para 95%.

Obtiveram-se também:

- Rendimento 29% maior para o feijão e de 11% para a batata, na Bulgária;

- Rendimento 23% mais elevado para o milho, 8% para a beterraba, 29% para a batata e 18% para o tomate, com dosagens adequadas de NPK, na Romênia;

- Produção 51% superior de trigo e maior rendimento por hectare, com aplicação correta de NPK, na Rússia. Além disso, as plantações de repolho e cenouras tiveram seus rendimentos elevados pela fertilização equilibrada e ainda uma menor perda durante o armazenamento;

- Na Índia, fazendeiros tiveram um ganho de 10 a 15% no preço da soja e do trigo com uma boa administração de potássio fertilizante. Nesse caso, as sementes de soja se mostraram mais sãs e brilhantes enquanto que as proteínas no trigo tiveram seu rendimento aumentado de 37,5%;

- As plantações de chá verde na China que receberam potássio, em combinação especial com enxofre, tiveram índices de aminoácidos e de cafeína mais elevados dando ao produto uma melhor qualidade;

- No Irã as plantações de beterraba de açúcar tiveram seus rendimentos elevados em até 17%.

A. Krauss, Presidente do *International Potash Institute – IPI*, em conferências proferidas, i) no Cairo em fevereiro de 2001, na *AFA - 7th International Annual Conference*, ii) na Lituânia, em outubro de 2000, durante o *Regional IPI Workshop on Potassium and Phosphorus*, iii) em Hanover, Alemanha, durante a realização da *Expo 2000, Science in Dialogue* (15 de agosto de 2000) e, iv) em Suceava, na Romênia, por ocasião do *12th CIEC International Symposium on "Role of fertilizers in sustainable agriculture"*, deixou bem claro a importância do potássio como nutriente na agricultura moderna. Acentuou que, se por um lado se precisa, progressivamente, de mais e melhor alimentação, por outro a abertura de novas fronteiras agrícolas torna-se cada vez mais limitada. Por isso, se diz que hoje são os fertilizantes a "alimentarem" o mundo.

Na ex-URSS, em consequência da crise que atravessa, e também em outras regiões, o correto balanceamento de nutrientes começa a não ser respeitado. (KRAUSS, 2000) (figura 5).

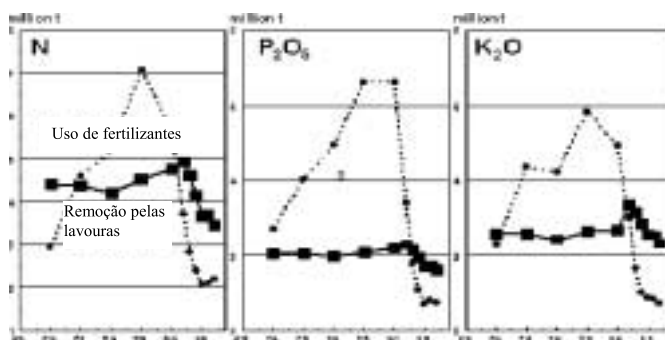


Figura 7: Balanço da aplicação/consumo de fertilizantes na ex-URSS. Fonte: KRAUSS, 2000

Apoiado em estudos realizados na Europa, na Ásia (principalmente na China e na Índia) e na África, o citado autor destacou vários aspectos da problemática do potássio como fertilizante. Não deixou de alertar que a falta do potássio, entre outros danos, restringe o transporte de NO_3^- , o que conduz à redução do nitrato nas raízes e na acumulação dos aminoácidos. Refere ainda que menores densidade e comprimento das raízes estão relacionados com a diminuição de potássio no solo. KERSCHBERGER & RICHTER (KRAUSS, 2000), fizeram em torno de 650 experimentos na Alemanha e concluíram que em ambientes com níveis baixos de K trocável, as colheitas de raízes perderam 38% do seu rendimento potencial enquanto que no caso de cereais essa perda foi de somente 18%.

Estimativas de NIKOLOVA & de SAMALIEVA (KRAUSS, 2000) mostraram que a perda na colheita de trigo foi de 135 mil toneladas, de 28 mil toneladas em sementes de milho e em torno de 53 mil toneladas na de girassol. Isso equivale a um prejuízo de 30 milhões de dólares, a preços locais, causado somente por uma fertilização desequilibrada. PROKOSHE (KRAUSS, 2000) calculou para 17 regiões na Rússia uma perda de 1,24 milhão de toneladas de cereais, 150 mil toneladas de beterraba para produção de açúcar e 300 mil toneladas de batata, pela deficiência de potássio na fertilização. Esses valores são correspondentes a uma perda de 680 bilhões de rublos (o que equivalia a US\$ 128,5 milhões em 1996).

O potássio é um fator de qualidade na produção. A participação do potássio na qualidade do vegetal está relacionada com o transporte dos aminoácidos e açúcares para os órgãos de armazenamento como grãos, tubérculos e raízes e com a ativação da conversão em amido, proteínas gordurosas, vitaminas, etc.

A complementação de potássio em solos deficientes produz uma melhora no rendimento das colheitas e torna o vegetal mais resistente a pragas e doenças. A carência de potássio ocasiona um comportamento inadequado dos estômatos restringindo a fotossíntese e, assim, o rendimento das safras.

Ao sintetizar todas estas informações A. Krauss ressalta alguns aspectos que devem merecer uma atenção muito especial. Por exemplo: a ausência de K fertilizante pode ser substituído, em alguns casos, pelo K da solução e pelas reservas de K "não-trocáveis" ou lentamente disponíveis. Porém, essa "mineração" contínua do solo pelo cultivo intensivo, pode causar a exaustão das reservas de K e privar a capacidade de proteção de pragas do solo, o que significa uma ameaça ao meio ambiente.

Verifica-se, pelo que ficou exposto, a enorme importância do potássio, na agricultura, como macronutriente.

2. A indústria de fertilizantes de potássio no Brasil

Cuide bem da Terra. Ela não nos foi dada por nossos pais, ela nos foi emprestada por nossos filhos.

(Provérbio árabe)

No Brasil as reservas de potássio são da ordem de 1,5 bilhões de toneladas (DNPM, 2003) incluindo-se aí as reservas de silvinita e carnalita. Atualmente há uma única mina em produção, no Estado de Sergipe.

2.1 Fontes de potássio no Brasil: depósitos, jazidas e minas

Os depósitos de Sergipe foram descobertos em 1963 pela PETROBRÁS (BALTAR, 2001) durante estudos de prospecção de petróleo na região em *domos salinos*⁸. Lá, as reservas de minérios de potássio totalizam cerca de 508,6 milhões de toneladas de silvinita e 12,9 bilhões de toneladas de carnalita. Seus teores são, respectivamente, de 9,7 e 8,3% de K₂O contido. Esses depósitos encontram-se nas sub-bacias evaporíticas de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, municípios de Rosário do Catete, Carmópolis

⁸ Domos salinos - Estrutura resultante do movimento ascendente de massa salina, composta principalmente de halita (NaCl), com forma aproximadamente cilíndrica de diâmetro pequeno em relação à altura, que pode atingir desde várias centenas até alguns milhares de metros. Na costa do Golfo do México (Estados Unidos), os domos salinos propiciam acumulações importantes de hidrocarbonetos (petróleo e gás) e enxofre. Nas bacias marginais brasileiras, segundo Leyden (1976), os domos salinos formam a seqüência média atribuída ao Andar Alagoas (Cretáceo), ocorrendo desde a Bacia de Santos até Sergipe-Alagoas (PONTE & ASMUS, 1976).

e Santa Rosa de Lima. Daquele montante de silvinita, apenas 129,6 milhões de toneladas se definiram como recuperáveis, após a introdução de índices de abatimento geológico e parâmetros de minerabilidade. Dessas reservas, já foram mineradas cerca de 21,71 milhões de toneladas de minério desde 1985 (DNPM, 2003).

Segundo SANTOS (1981), os depósitos na Amazônia foram descobertos em 1955 durante o programa de pesquisa de petróleo pela PETROBRAS. Lá, as camadas de salgema estão associadas à seqüência de evaporitos do Paleozóico Superior na região de Nova Olinda. Posteriormente, sondagens efetuadas em outras áreas do médio Amazonas, revelaram nas regiões do Tapajós, de Nhamundá-Trombetas e de Nova Olinda-Maués outras ocorrências de sais de potássio.

De acordo com o Sumário Mineral Brasileiro (2003) as reservas de silvinita na Amazônia estão em torno de 1 bilhão de toneladas.

O depósito de Nova Olinda é formado por sedimentos químicos-evaporíticos que localizam-se na parte superior do Carbonífero da Bacia do Amazonas. Existem nessa região horizontes de salgema, sais de potássio, gipsita, anidrita e calcário.

Em Taquari-Vassouras se localiza a única mina de potássio em operação no Brasil, como já foi referido. No início de 1985, a mina pertencia à extinta PETROMISA e a partir de 1991 os direitos minerários passaram para a PETROBRAS, que arrendou a jazida à Companhia Vale do Rio Doce – CVRD por 25 anos. A CVRD vem lavrando, no local, desde 1992, a silvinita sob condição de arrendatária. A unidade operacional está localizada no município de Rosário do Catete, no estado de Sergipe. A mina produz KCl por método de lavra subterrânea.

A produção do complexo mina/usina de Taquari/Vassouras foi de 337 mil t de K_2O equivalente em 2002, superior à de 2001: 319 mil t de K_2O equivalente (DNPM, 2003), isto é, a sua produção atual gira em torno de 620 mil t/ano de KCl (605 mil toneladas de granulado e 114 mil toneladas de standard).

São conhecidas reservas da ordem de 13 milhões de toneladas de KCl e a CVRD possui um plano de expansão que prevê a produção de 850 mil toneladas anuais a partir de 2005 (CVRD, 2003).

Ainda não há previsão de data para início da exploração das

reservas de carnalita de Sergipe, mas o governo do Estado, a Petrobrás, e a CVRD, assinaram um protocolo de intenções para viabilizar o projeto (RAMOS, 2002).

Fontes potenciais de potássio para fertilizantes

A agricultura do Brasil e a de outros países grandes produtores de alimentos, como a China, por exemplo, consomem grandes quantidades de fertilizantes, com a agravante no caso brasileiro, da produção interna ser pequena e não crescer de forma a compensar o constante aumento de consumo. Países, carentes de potássio, são obrigados a importá-lo por ser fundamental para seus solos.

O crescente aumento do uso de potássio fertilizante na agricultura fez com que pesquisas sobre minerais alternativos para produção de fertilizantes de potássio ganhassem importância ao longo dos últimos anos.

Os feldspatos alcalinos e os feldspatóides devem ser considerados como fontes potenciais de potássio para fertilizantes, quer através da produção de sais de potássio, quer de termofosfatos potássicos, ou ainda, em aplicação direta na agricultura como fertilizante de solubilização lenta. Entre os feldspatos destacam-se o ortoclásio e o microclínio. Feldspatóides como a leucita (mineral pouco abundante) e outros silicatos, como por exemplo as micas, pelos seus teores, poderão ser fontes potenciais de potássio para a agricultura.

2.2 Aspectos econômicos e geoestratégicos

A figura 8 representa o consumo mundial de fertilizantes durante o ano de 1999. Das 140 Mt consumidas no mundo, 15% correspondem a fertilizantes potássicos, o que corresponde, aproximadamente a 21Mt (POTAFOS, 2002).

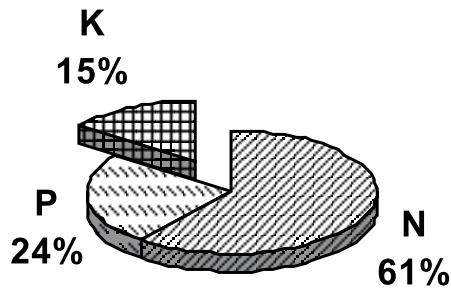


Figura 8: Representação da distribuição percentual das 140Mt de fertilizantes consumidas no ano de 1999. Fonte: POTAFOS, 2002.

Podemos destacar que o consumo do Brasil fica em torno de 10% da produção mundial o que corresponde a 2,3Mt/ano de K_2O (figura 9). Isso leva o Brasil à posição de terceiro maior consumidor mundial de fertilizantes potássicos (PRUD'HOMME, 1999).

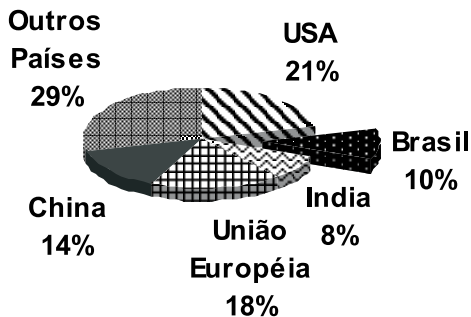


Figura 9: Representação do consumo mundial de compostos de Potássio como fertilizantes no ano de 1999. Fonte: PRUD'HOMME, 1999.

Dados mais recentes revelam que, somente no intervalo de janeiro a maio de 2002, o consumo brasileiro de cloreto de potássio foi de 1,5 Mt (tabela 8).

Tabela 8: Brasil-Consumo aparente de fertilizantes potássicos de janeiro a maio de 2002 (POTAFOS, 2002).

Fertilizantes	Produção Nacional	Importação	Prod. Nac. + Imp.	Exportação	Consumo aparente
Cloreto de potássio	252.337	1.320.220	1.572.557	242	1.572.315
Sulfato de potássio	0	31.542	31.542	0	31.542
Salitre potássico	0	96.000	96.000	379	95.603
Nitrato de potássio	0	22.195	22.195	0	22.195

No cenário mundial o Brasil apresenta, em termos de produção, números modestos. É o 11º colocado. Tratando-se de reservas medidas, o Canadá possui 60,2% do total mundial enquanto que o Brasil com 1,9% localiza-se na 8ª colocação, com 303,8 Mt de K_2O .

Salvo no período imediato ao da entrada em produção da mina de Taquari-Vassouras e nos 3 últimos anos da década de 90, no Brasil, as importações de potássio sempre aumentaram. Esse comportamento pode ser visualizado na figura 10.

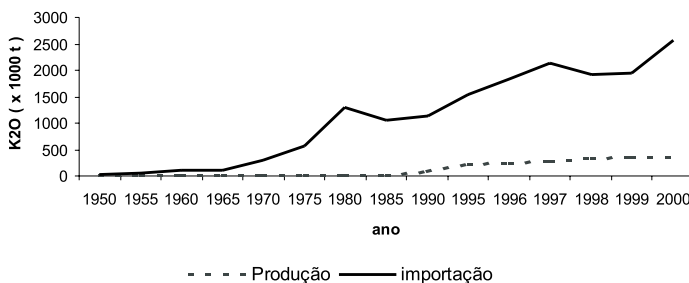


Figura 10: Evolução da produção e importação de potássio no Brasil.

No Brasil as maiores reservas encontram-se em Sergipe na região de Taquari/ Vassouras e Santa Rosa de Lima com minérios de carnalita, silvinita e silvita e no Amazonas com reservas totais em torno de 525 milhões de toneladas com teor médio de 23,7%. Aproximadamente 63 milhões de toneladas dessas reservas vem sendo mineradas desde 1985 tendo sido explorados, nesse período, cerca de 13,6 milhões de toneladas de minério. Por causa do método de lavra, a taxa de recuperação de Taquari/Vassouras é próxima de 50% da reserva minerável.

A tabela 9 mostra os valores das reservas e produção mundial de K_2O em 2002.

Tabela 9: Reserva e produção mundial.

Discriminação	Reservas(Mt K2O)		Produção (Mt K2O)			
	2002	(%)	1999	2001	2002	(%)
Países						
Brasil	302.438	1,9	348	319	337	1,2
Alemanha	850.000	5,2	3.600	3.550	3.500	12,4
Azerbaijão	-	-	5	5	5	0,0
Bielo-Rússia	1.000.000	6,1	3.600	3.700	4.000	14,8
Canadá	9.700.000	59,7	8.329	8.200	8.760	32,3
Chile	50.000	0,3	22	390	390	1,4
China	450.000	2,8	125	385	385	1,6
Espanha	35.000	0,2	550	520	510	1,9
EUA	300.000	1,8	1.200	1.200	1.200	4,4
França	-	-	300	300	150	0,6
Israel	580.000	3,6	1.750	1.774	1.930	7,1
Jordânia	580.000	3,6	1.100	1.178	1.200	4,4
Reino Unido	30.000	0,2	500	500	500	1,8
Rússia	2.200.000	13,5	4.200	4.300	4340	16,5
Ucrânia	30.000	0,2	35	25	30	0,1
Outros Países	140.000	0,9	-	-	-	-
Total	16.247.438	100,0	25.664	26.351	27.122	100,0

Detalhando-a melhor para o cenário brasileiro, podemos observar, na tabela 10, que o consumo interno aparente em 1999 ficou estável em relação a 1998 enquanto foi verificada uma queda em relação a 1997. Em 2002, foi ainda observado um aumento de 6,6% em relação a 2001(DNPM, 2003). Observa-se também um aumento na produção interna ao longo dos anos (DNPM, 2000) e em 2002 esse valor foi de 337.266 toneladas.

A tabela 10 mostra em detalhe o que aconteceu nos últimos 6 anos no Brasil. O modesto aumento da produção tem ficado muito abaixo da forte progressão do consumo de fertilizantes potássicos no país. Pelos valores apresentados na tabela, a produção brasileira de potássio, nos últimos 5 anos, satisfaz apenas 14,4% em 1998, 15,4% em 1999, 11,9% em 2000, 11,5% em 2001 e 11,4% em 2002 do consumo aparente do País. As importações, foram provenientes, essencialmente, de apenas 4 países: Canadá, Rússia, Alemanha e Israel (DNPM, 1998, 1999, 2000, 2001, e 2003).

Tabela 10: Principais dados estatísticos relativos ao Brasil (DNPM, 1998 a 2003).

Discriminação	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Produção (t K ₂ O)	280.164	326.489	348.231	351.681	318.585	337.266
Importação(t K ₂ O)	2.135.816	1.936.720	1.914.449	2.605.147	2.446.397	2.623.196
Exportação(t K ₂ O)	446	551	451	563	798	1.132
Consumo Aparente(t K ₂ O)	2.415.534	2.262.758	2.262.680	2.956.205	2.764.183	2.959.330

Fonte: DNPM, 1998 a 2003

2.3 Características e especificações dos fertilizantes potássicos

Cerca de 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante e, desse montante, 90% sob forma de KCl. Outros sais utilizados são K₂SO₄ (sulfato de potássio), K₂SO₄MgSO₄ (sulfato duplo de potássio e magnésio), KNO₃ (nitrato de potássio) e KNO₃.NaNO₃ (salitre potássico). A escolha da forma de aplicação deve ser baseada nas necessidades/características do solo, no tipo da cultura, nos métodos de aplicação, no preço e na disponibilidade (POTAFOS, 1996).

Na tabela 11, apresentam-se as composições dos diferentes sais de potássio utilizados na agricultura.

Tabela 11: Sais de potássio utilizados como fertilizantes e sua composição em nutrientes (THOMPSON, 2002).

Composto	Fórmula química	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg
Cloreto de potássio	KCl			60-62		
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄			50-52	18	
Sulfato de potássio e magnésio	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄			22	22	11
Nitrato de potássio	KNO ₃	13		44		
Nitrato de potássio e sódio	KNa(NO ₃) ₂	15		14		
Carbonatos de potássio	K ₂ CO ₃ KHCO ₃			<68		
Ortofosfatos de potássio	KH ₂ PO ₄ K ₂ HPO ₄		30-60	30-50		
Polifosfatos de potássio	K ₄ P ₂ O ₇		40-60	22-48		
Metafosfatos de potássio	KPO ₃		55-57	38		

Fonte: THOMPSON, 2002

Verifica-se que o KCl é o fertilizante com mais alta concentração de potássio - cerca de 60 a 62% de K₂O - o que representa mais de 95% de KCl. Tal característica contribui para tornar seu preço mais competitivo em relação a outras formas de fertilizantes potássicos. No Brasil, é exigida, na comercialização do

cloreto de potássio, um teor mínimo de 58% de K_2O o que equivale a 91,81% de KCl.

O sulfato de potássio contém cerca de 50% de K_2O e 18% de enxofre. Como a concentração de cloretos nesse tipo de material é geralmente menor que 2,5%, é utilizado em cultivos que apresentam certa sensibilidade a altas concentrações de íons cloretos como tabaco, frutas e alguns vegetais que necessitam de enxofre como nutriente.

O sulfato duplo de potássio e magnésio é um fertilizante normalmente processado a partir da langbeinita ($K_2Mg_2(SO_4)_3$). Contém, aproximadamente, 22% de K_2O , 11% de magnésio e 22% de enxofre. A concentração de cloretos nesse material normalmente é inferior a 2,5%.

O nitrato de potássio é o composto recomendado para cultivos que necessitem de baixos teores de enxofre e cloreto. Tem a vantagem de fornecer ao mesmo tempo, potássio e nitrogênio como nutrientes. Contém, aproximadamente, 44% de K_2O e 13% de N (THOMPSON, 2002).

A granulometria dos sais de potássio varia em função da sua aplicação. KORNDÖRFER (2003) apresenta algumas faixas de granulometria para os sais mais utilizados: o KCl e o K_2SO_4 (tabela 12). Em termos de KCl o produto é vendido em 4 tipos distintos de granulometria: *Granular* (partículas com diâmetro compreendido entre 0,8 e 4,4 mm), *Grosseiro* (diâmetro de partículas variando entre 0,6 e 2,4 mm), *Comum* (diâmetro de partículas entre 0,2 e 1,7 mm) e *Solúvel* (partículas com diâmetro variando entre 0,15 e 0,4 mm).

A produção em Taquari-Vassouras é de potássio fertilizante, sendo produzidos os tipos *Granular* (partículas com diâmetro na faixa de 0,8 a 3,4 mm) e *Standard* (partículas com diâmetro na faixa de 0,2 a 1,7 mm) (DNPM. 2003).

Tabela 12: Granulometria dos adubos potássicos.

Tipo	Faixas das partículas			
	% de K ₂ O	Malha	mm	Produto
Granular	61	6-20	3,4-0,8	Cloreto
Granular		6-35	3,4-0,5	Sulfato
Grossoiro(coarse)	61	8-28	2,4-0,6	Cloreto
Comum(standard)	61,5	10-65	1,7-0,2	Sulfato e Cloreto
Suspensão	61,5	10-200	1,7-0,075	Sulfato e Cloreto
Solúvel	62	35-100	0,4-0,15	Cloreto
Comum especial	61	35-200	0,4-0,075	Cloreto
Puro	63	fina	-	Cloreto

Fonte: KORNDÖRFER, 2003

2.4 Características e perspectivas da demanda / consumo

Tanto no Brasil como em outros países do Mercosul, o agronegócio tem grande participação na economia. No Brasil, é responsável por cerca de 40% do produto interno bruto. A agricultura e a pecuária representam uma boa parte desse montante (25%).

De acordo com o professor Alfredo Sheid LOPES (2002), em sua palestra realizada no CETEM em 2002 durante o Encontro sobre Fertilizantes na Iberoamérica e depois publicado no livro *Fertilizantes y Enmiendas de Origen Mineral* (H. NIELSON & R. SARUDIANSKY, Editores, 2003), editado em Buenos Aires em 2003, o agronegócio é responsável por 50% dos empregos no país e 40% das exportações brasileiras.

LOPES (2002) ainda refere que, somente em fertilizantes, o Brasil movimenta cerca de 4,5 bilhões de dólares anuais. Verifica-se, por estes números, que o agronegócio brasileiro tem grande importância no cenário internacional. Além disso, alguns produtos agrícolas ocupam, internacionalmente, posições de destaque como é o caso do café, da laranja, da soja e do açúcar, mesmo com as enormes barreiras tarifárias que lhes são impostos na Europa e

EUA.

No mercado de fertilizantes, o Brasil ocupa lugar de grande destaque. É o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, atrás da China, dos EUA e da Índia. Mais especificamente, no caso do potássio, sua posição sobe para terceiro lugar. Isso se deve a um maior aumento de produtividade que se apoia num mais elevado consumo de fertilizantes.

O que se verifica hoje se deve principalmente a mudanças ocorridas na década de 80. Nesse período, ocorreu um decréscimo sensível nos financiamentos do governo no setor agrícola e, como consequência, os produtores necessitaram aumentar sua produtividade e conseguiram-no. Mesmo com uma diminuição da área cultivada de cerca de 11,4% entre 1988 e 1999, a produção cresceu 22,5% o que requereu um maior recurso aos fertilizantes, sustentado pelas importações que passaram de 35% para 49% do total consumido em 1988. A tendência de aumento é clara dada a falta de ações para a entrada em produção de novos depósitos ou de novos materiais fertilizantes.

O consumo de potássio aumentou em média 9,2% nos últimos 4 anos. Hoje cerca de 85% do potássio consumido no país provém de importações.

Outra característica interessante é o surgimento de um período de fusões e compra de companhias. Em 1988, 19 importadores de KCl representavam 80% das importações brasileiras. Hoje são 13 responsáveis pelos mesmos 80%.

O Brasil é o país com o maior potencial de expansão na agricultura no mundo. A área agricultável no Brasil chega a 550 milhões de hectares. Isso corresponde a uma área maior do que a soma de área total de 32 países da Europa: Áustria, Hungria, Romênia, Holanda, Lituânia, Itália, Polônia, Estônia, Tchecoslováquia, França, Irlanda, Bélgica, Albânia, Portugal, Espanha, Bulgária, Reino Unido, Alemanha, Letônia, Dinamarca, Suécia, Grécia, Ucrânia, Bósnia, Croácia, Macedônia, Islândia, Iugoslávia, Noruega, Finlândia, Suíça e Bielo Rússia (LOPES, 2003).

3. Pesquisas realizadas e a desenvolver

*Research is the transformation of money to knowledge.
Innovation is the transformation of knowledge to money
(Siemens AG, CT)*

Como já foi anteriormente citado, o Brasil possui um enorme potencial de crescimento na área da agricultura. A demanda de fertilizantes, inclusive de potássio, vem crescendo a cada ano. Com apenas uma mina em operação para produção de fertilizantes potássicos, o Brasil encontra-se em uma posição crítica, fortemente dependente de importações. Além disso, o potássio importado pelo Brasil é proveniente de poucos países. É uma situação preocupante, do ponto de econômico e estratégico.

Há pois necessidade de serem desenvolvidos trabalhos sistemáticos de prospecção e pesquisa geológica e estudos abrangentes para aproveitamento de depósitos já conhecidos e de fontes não convencionais, seja na forma de aplicação direta ou no desenvolvimento de novos processos para a produção de fertilizantes potássicos.

3.1. Prospecção e estudos geológicos

Dada a escassez de minérios de potássio tradicionais no Brasil, com a agravante de tal fato se verificar em todo o hemisfério sul, e a forte dependência do País de importações de matérias primas para fertilizantes (mais de 2,5 Mt anuais a um custo superior a US\$ 530 milhões), com reflexo negativo na balança comercial, há necessidade de se buscarem caminhos e se encontrarem soluções que resolvam o problema, não só por razões econômicas, mas também estratégicas, insista-se.

Rumos a serem seguidos poderiam envolver, no que diz respeito ao potássio para a agricultura:

- A criação de uma entidade coordenadora das atividades de P&D composta por representantes dos ministérios da Agricultura, de Minas e Energia e de Ciência e Tecnologia, por pesquisadores e técnicos de Centros de Pesquisa, Universidade, CPRM (Serviços

Geológicos), DNPM, PETROBRAS e ANDA que, pelo seu saber, experiência e espírito inovador pudessem contribuir, de forma efetiva, na resolução do problema da grande dependência externa de importações de potássio para fertilizantes (mais de 86% do consumo do País, como já foi dito), produto indispensável à importante, dinâmica e competitiva indústria agropecuária nacional;

- A realização de estudos intensivos, que deveriam ser considerados como prioritários, para o aproveitamento dos depósitos de carnalita e silvinita de Sergipe e Amazônia;

- O estabelecimento de um plano de prospecção e pesquisa mineral, sistemática e abrangente, de novos depósitos em que a PETROBRAS poderia desempenhar papel fundamental, como já aconteceu em relação à única mina em produção, em Sergipe, e às importantes reservas que definiu na Amazônia;

- O incentivo ao estudo de novos materiais e novos caminhos para produção de fertilizantes que se adaptem às diferentes condições solo/clima e sócio-econômicas do Brasil;

- A inventariação sistemática e a definição geológica e geoquímica de ocorrências de rochas e minerais que pudessem vir a constituir fontes alternativas, tanto para a produção de sais de potássio para fertilizantes, como de materiais para utilização direta na agricultura, ou ainda, para produção de termofosfato potássico, produto de solubilização lenta, não fabricado no Brasil, que poderia ser uma boa opção nas condições climático-pedológicas prevalentes no País.

3.2. Produção de sais de potássio a partir de minerais silicatados

São apresentadas algumas rotas alternativas de produção de sais solúveis de potássio, ainda sem viabilidade econômica estabelecida, que utilizam minerais feldspáticos e outros silicatos.

As ações de vários agentes lixiviantes sobre feldspato alcalino foram estudadas ao longo das últimas décadas.

Nos anos 80, o IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica de

São Paulo) realizou alguns experimentos, em laboratório, de ataque da rocha potássica de Poços de Caldas por hidróxido de potássio sob pressão. Os resultados indicaram a obtenção de um produto totalmente solúvel em ácido cítrico (VALARELLI, 1981). O IPT também realizou estudos para obtenção de termofosfatos potássicos para fertilizantes utilizando os estéreis ("rocha potássica") da mina de urânio Osamo Utsumi situada no Planalto de Poços de Caldas - MG.

O processo de produção do termofosfato potássico baseou-se na fusão em forno elétrico a arco submerso, de uma mistura de rocha fosfática, rocha potássica e outras rochas de alta disponibilidade no Brasil. A mistura é fundida a altas temperaturas e, em seguida, o produto é resfriado rapidamente, por contato direto com jatos de água, tornando-se granulado, com características vítreas. Finalmente, é seco, moído e ensacado.

O produto contendo fósforo e potássio como macronutrientes primários e cálcio e magnésio como macronutrientes secundários, fica praticamente todo disponível para os vegetais (avaliado segundo o método oficial utilizando-se ácido cítrico como extrator), (VALARELLI e GUARGANI, 1981).

Estudos de LEITE (1985) e VALARELLI (1993) apresentam o desenvolvimento de um tipo de "Termofosfato Potássico Cálcico-Magnésiano" e "Termofosfato Potássico", respectivamente, a partir da mistura de rocha potássica (verdete) de Abaeté, rocha fosfatada de Araxá e, no primeiro caso, calcário magnésiano. O processo de LEITE(1985) tem por objetivo desenvolver um tipo de fertilizante com ação simultânea de correção da acidez do solo. Vários tratamentos térmicos foram empregados nas rochas para avaliação da disponibilidade de fósforo e potássio no produto. VALARELLI (1993) concluiu em seus estudos que o termofosfato fundido, tendo como fonte de K_2O o verdete de Cedro do Abaeté, é equivalente em suas características ao termofosfato produzido com as rochas ígneas como as de Poços de Caldas.

Grandes são as vantagens agronômicas da utilização de termofosfatos como fertilizantes, como, por exemplo:

- Insolubilidade dos nutrientes em água, resultando em menores perdas por lixiviação e fixação;
- Solubilidade dos nutrientes em solução de ácidos fracos,

como os existentes nas soluções do solo, resultando em liberação lenta e eficiente dos mesmos para os vegetais;

- Comportamento alcalino, resultando em efeito simultâneo de fertilização e correção de acidez de solos ácidos;

- Presença, no produto, de outros nutrientes além do fósforo e do potássio, como cálcio, magnésio e micro-nutrientes (IPT, 1981).

Atualmente, vem sendo desenvolvida pelo CETEM, COPPE e INB rota hidrometalúrgica para extração de potássio a partir da "rocha potássica" de Poços de Caldas. Baseia-se na lixiviação alcalina, sob pressão, da rocha finamente dividida. Os resultados mostraram-se promissores com extração de, praticamente, 100% do potássio contido na rocha e ainda com a formação de um mineral zeolítico como resíduo de lixiviação que possui potencial de utilização industrial (NASCIMENTO, 2003).

Outros trabalhos, com solo da Malásia, foram realizados em amostras com diversas granulometrias, utilizando o ácido sulfúrico como agente extrator. Nesse caso, a liberação do potássio chegou a apenas 49% do potássio contido na amostra. Os autores sugeriram que a dissolução do mineral e a liberação do potássio estavam diretamente ligadas às quebras de ligação do Al na estrutura de tetraedros. Foi, porém, constatada que essa dissolução era muito lenta em condições ácidas (LAU 2000).

SNÄLL & LILJEFORS (2000) testaram a lixiviação de vários silicatos e analisaram os teores de extração para Na, K, e Al para diversos agentes lixiviantes e vários tamanhos de grão. É importante notar que essas frações granulométricas, apresentavam distintas composições químico-mineralógicas. Minerais do tipo biotita apresentaram maiores valores de extração para os cátions K e Na em comparação com minerais como muscovita ou microclínio. No caso específico do microclínio, os valores de extração de K, Na e Al com os agentes lixiviantes testados, foram baixos.

Uma variação do processo Blanc foi testada para a produção de sais de potássio a partir de um minério com 20 a 50% de leucita e 5 a 12 % de K_2O . (CARVALHO, 1965). O minério, após enriquecimento magnético (atingiu 17% de K_2O), foi atacado com

HCl a 80 °C segundo a reação:



A separação do KCl deu-se imediatamente, com o resfriamento da solução. Parte do HCl é recuperada pela transformação do cloreto de alumínio hidratado em óxido de alumínio e ácido clorídrico. A sílica resultante conserva a estrutura leucítica, o que fornece uma grande área superficial a este material, condição ótima para emprego industrial. Opera-se a 250°C e 30 atm.

GUIMARÃES e ILCHENKO (1965) estudaram a extração ácida do potássio da rocha potássica de Poços de Caldas, formada essencialmente por microclínio. Não conseguiram resultados que encorajassem estudos mais aprofundados por este método.

Sabe-se que foram estudados, desde o início do século passado, processos de calcinação de silicatos de potássio com compostos de cálcio e/ ou outros aditivos (SO₂, HCl, H₂SO₄ etc.) para obtenção de compostos de potássio. Podem ser citadas as patentes de BASSETT (1913, 1914, 1916, 1922), ANDERSON (1916), BECKETT (1917), ANDREWS (1919), ASHCROFT (1919), AUDEN (1920) e BLACKMORE (1920).

Variantes desse processo como são os trabalhos de IVANOV vinculados à indústria cimenteira, datam de 1958 (CARVALHO, 1965). Os testes basearam-se na calcinação de várias misturas de sienito, cloreto de cálcio e carbonato de cálcio, fazendo variar a duração e a temperatura de calcinação. Seguiu-se a lixiviação em água e obtiveram-se taxas de recuperação de 96% do óxido de potássio. A condição ótima encontrada naquela ocasião foi a relação 1:1,5:1 para sienito, carbonato e cloreto, respectivamente, e temperatura de cerca de 700°C. O resíduo da filtração era usado diretamente na indústria cimenteira. Neste caso, a presença de cálcio junto ao potássio na solução filtrada acrescenta dificuldades para a produção de compostos puros de potássio.

Uma patente de propriedade da Lonrho Limited trata da produção de cloretos de metais alcalinos a partir de alumino-silicatos e cloreto de magnésio e/ou cálcio. Trata-se de uma mistura de alumino-silicato, finamente dividido, e de cloreto de cálcio e/ou

magnésio na forma hidratada. Essa mistura é aquecida entre 700-1050°C por um período entre 0,3 e 2 horas para a efetiva conversão do alumino-silicato. O produto vítreo obtido é então lixiviado com água para produzir uma solução de cloretos de metais alcalinos. O potássio contido em muscovita ou microclínio pode ser completamente extraído por essa técnica. Testes com espodumênio foram realizados obtendo-se em torno de 31% de remoção de lítio (DYLSON, 1979). PIGA & POCHETTI (1992) utilizaram a mesma técnica para o completo beneficiamento de leucita. A leucita proveniente de um depósito localizado próximo a Civita- Itália que possuía um teor de K_2O médio de 18,9% foi aquecida (180°C) na presença de $CaCl_2$ para a completa recuperação do potássio sob forma de KCl .

Outros testes seguindo essa mesma técnica foram utilizados em ortoclásio indiano. Um sal solúvel de potássio foi obtido por aquecimento a 900°C por 2 horas sob um fluxo de reagente e a massa calcinada resultante foi lixiviada em água. O licor foi então neutralizado com ácido nítrico e evaporado. O produto final consistia em cloretos e nitratos de cálcio e potássio que poderia ser utilizado diretamente na indústria de fertilizantes (DASGUPTA, 1975).

Processo semelhante foi utilizado para extração de potássio de glauconita indiana. MAZUNDER e colaboradores (1993) misturaram glauconita pulverizada com cloreto de cálcio em cadinhos de sílica. A mistura foi aquecida em forno a 1220-1300 °C e o produto obtido, lixiviado em água. Os autores sugerem que o cloreto de cálcio seria um efetivo agente cloretante para o minério em questão. De um modo geral, a percentagem de extração de potássio aumentou com a temperatura e com o tempo de calcinação. O produto obtido pode ser facilmente lixiviado em água à temperatura ambiente por um tempo mínimo de 10 minutos.

4. Considerações finais e síntese conclusiva

*A estrada de mil léguas começa por uma passada.
(Provérbio português)*

*Le plus difficile en toutes choses est de commencer
(Provérbio francês)*

O aumento da população mundial tem mostrado uma tendência exponencial mais acentuada a partir do século XIX. Há 10.000 anos era da ordem de 5 milhões de habitantes, de 250 milhões no início da era cristã, de 1 bilhão em torno do ano de 1850, tendo atingido os 6 bilhões em 2000 (CORDANI & TAIOLI, 2000).

No capítulo "A Terra, a Humanidade e o Desenvolvimento Sustentável" do livro "Decifrando a Terra" (W. TEIXEIRA et al./ organizadores, 2000), no ítem, "Globalização versus Sustentabilidade", Umberto Cordani e Fabio Toioli consideram que o modelo econômico, baseado na globalização e na política neoliberal, caminham *em direção oposta ao desenvolvimento sustentável*. A partir desta premissa, conclui que *qualquer modelo deverá se pautar em padrões éticos que objetivem um melhor equilíbrio nos padrões de consumo entre os povos, de forma a garantir um bem estar mínimo a toda a população, sem ultrapassar a capacidade do meio ambiente se regenerar*.

O crescimento da produção agrícola foi de 85% nos últimos 35 anos, enquanto que a área cultivada aumentou somente 8% (CÁMPORA, 2003). A alternativa que impulsionou a atividade agrícola mundial a procurar satisfazer o grande crescimento da demanda, foi o aumento do rendimento de produção (cerca de 90% nos últimos 35 anos). Se isso aconteceu deve-se, em grande parte, ao uso intensivo de fertilizantes minerais, mas, na maioria dos países, as fontes tradicionais, nomeadamente as de potássio, não são suficientes para atender essa demanda, sempre crescente, como é o caso brasileiro.

No Brasil, o consumo de potássio como fertilizante oscilou em torno de 80Kg/hectare em 1999, enquanto que a média na América Latina foi de 14 kg/hectare, o que se deve em grande parte às características distintas dos seus solos. As volumosas

importações provenientes de poucos países, criam uma dependência econômico-política preocupante. Impõem-se assim prospectar, avaliar e desenvolver novos depósitos e definir fontes alternativas para obtenção de sais de potássio e/ ou de termofosfatos potássicos.

Além da busca dos clássicos depósitos sedimentares de silvita, silvinita e carnalita, rochas ígneas alcalinas da família dos sienitos, sedimentares como os arenitos feldspáticos, ou ainda rochas enriquecidas de potássio por processos hidrotermais, deveriam merecer uma atenção toda especial. Os equivalentes microcristalinos dos sienitos, os traquitos, e outras rochas com minerais ricos de potássio também devem ser considerados e devidamente estudados, como hipótese para aplicação direta na agricultura, como fertilizantes potássicos, pesquisas essas que, como é do nosso conhecimento, já estão sendo desenvolvidas no Brasil e em outros países.

Na natureza, são numerosos minerais com teores elevados de potássio. Conhecem-se 98 com mais de 10% de potássio e, destes, 38 têm mais de 20%, como pode ser constatado no ANEXO I. Embora na sua maioria sejam minerais de fácil abertura química, não são comuns na natureza e grande parte deles são até raros. Não constituem depósitos.

Dentro dos minerais silicatados comuns, com teores elevados de potássio, as micas, pelas suas propriedades cristaló-químicas, são certamente, além dos feldspatos potássicos, os de maior interesse potencial por serem abundantes na natureza e por estarem presentes em muitas rochas.

Sua aplicação direta, como fertilizantes de liberação lenta, deverá exigir, porém, estudos aprofundados de química dos solos / cinética de migração dos íons, certamente variáveis em função das características pedológicas e morfoclimáticas locais. Será necessário definir se, a médio e longo prazos, essa liberação do potássio compensa a exportação resultante da atividade agrícola intensa. A própria composição mineralógica das rochas susceptíveis de aplicação direta na agricultura poderá, ela própria, interferir na cinética de liberação - migração - fixação, pela modificação que

pode provocar no pH dos solos, por exemplo. Será o caso dos carbonatitos⁹, rochas ricas, de carbonatos, com minerais do grupo das micas, a fonte de potássio neste caso.

Por outro lado, minerais como a biotita, ricos de ferro poderão agravar o problema dos latossolos, no que diz respeito aos seus teores em ferro.

Os estudos de materiais e rotas alternativas para a produção de fertilizantes potássicos reveste-se de grande importância para o Brasil dadas as características dos solos, da forte dependência de importações (mais de 86% do consumo do País) e da grande distância e concentração dos países fornecedores.

É nesse sentido que a EMBRAPA, o Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e outras instituições, vêm desenvolvendo, com apoio financeiro oficial, estudos abrangentes, muito promissores, de aproveitamento direto de rochas ricas de potássio, como fertilizantes na agricultura. Os resultados que venham a ser obtidos poderão ser de grande relevância para a agricultura brasileira.

Rotas alternativas para produção de sais de potássio utilizando rochas comuns com teores elevados de potássio, como os que estão a ser pesquisadas e desenvolvidas pelo CETEM/MCT e a COPPE/UFRJ, com obtenção de bons resultados, revestem-se igualmente de muito interesse e deveriam receber amplo apoio.

Pesquisas direcionadas à identificação de materiais alternativos de potássio para fertilizantes como as do IPT/IG-USP, visando produzir termofosfatos potássicos a partir da "rocha potássica" de Poços de Caldas e o da CVRD para o "verdete" de Minas Gerais, considerados como não tendo viabilidade econômica na época, talvez merecessem ser retomados atendendo ao aumento da demanda, ao grande desenvolvimento da indústria agro-pecuária

⁹ **Carbonatito** – Rocha predominantemente carbonatada (mais de 50% de carbonato) de origem ígnea *l.s.*, ocorrendo frequentemente em complexos alcalinos e/ou básico-ultrabásicos.

brasileira e ao surgimento de novos parâmetros sócio-econômicos e de novas tecnologias.

Pretendeu-se com este trabalho dar uma visão geral da importância do potássio na agricultura, de sua escassez em todo o hemisfério sul e da relevância de trabalhos de pesquisa que possam indicar e definir fontes e rotas alternativas de potássio fertilizante.

Nesse sentido considera-se que seria desejável, como já foi referido:

- a criação de uma entidade coordenadora das atividades de P&D composta por representantes dos ministérios da Agricultura, de Minas e Energia e de Ciência e Tecnologia, por pesquisadores e técnicos de Centros de Pesquisa, Universidade, CPRM (Serviços Geológicos), DNPM, PETROBRAS e ANDA que, pelo seu saber, experiência e espírito inovador pudessem contribuir, de forma efetiva, na resolução do problema da grande dependência externa de importações de potássio para fertilizantes (mais de 86% do consumo do País, como já foi dito), produto indispensável à importante, dinâmica e competitiva indústria agropecuária nacional;
- estabelecimento de um plano de prospecção e pesquisa mineral, sistemática e abrangente, de novos depósitos, em que a PETROBRAS poderia desempenhar papel fundamental, como já aconteceu em relação à única mina em produção, em Sergipe, e às importantes reservas que definiu na Amazônia;
- incentivo ao estudo de novos materiais e novos caminhos para produção de fertilizantes que se adaptem às diferentes condições solo/clima e sócio-econômicas do Brasil;
- a inventariação sistemática e a definição geológico-geoquímica de ocorrências de rochas e minerais que pudessem vir a constituir fontes alternativas, tanto para a produção de sais de potássio para fertilizantes, como de materiais para utilização direta na agricultura ou ainda para produção de termofosfato potássico, produto de solubilização lenta, não fabricado no Brasil, que poderia ser uma boa opção nas condições climático-pedológicas prevalentes no País

Como afirma CELSO FURTADO (1999) : *"São muitas as motivações de um pesquisador. Mas o fundamental é ter confiança*

na própria imaginação e saber usá-la. Essa confiança significa a percepção de que se pode intuir uma realidade da qual se conhece apenas um aspecto/.../. O valor do trabalho do pesquisador traduz, portanto, a combinação de dois ingredientes: imaginação e coragem para arriscar na busca do incerto.”

Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, G., *Contribuição à Implantação de um Novo Polo de Fertilizantes no Nordeste do Brasil*, Tese de Doutorado, EP/USP, 2000.
- ANDA, *Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes*, ANDA, 2000, S. Paulo.
- ANDA, *Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes*, ANDA, 2001, S. Paulo
- ANDERSON, E.L., 1916, *Method of producing certain commercial products from potash feldspar*, Patente US1174795.
- ANDREWS, A. B., 1919, *Method of extracting potash and the like*, Patente US1296035.
- ARMELIN, W., 1999, *Current situation and prospects for potash use in Brazil*, Manah S/A, Disponível em: www.fertilizer.org, Acesso em: 26/10/2003.
- ASHCROFT, E. A., 1919, *Extraction and recovery of potassium or potassium salts from potassium-bearing materials*, Patente US1320193.
- AUDEN, A. C., 1920, *Method of extracting potassium salts from potassium-bearing minerals*, Patente US1334940.
- BALTAR, C. A. M., MONTE, M. B. M., ANDRADE, M. C., et. al., 2001, Cloreto de Potássio-CVRD/Mina de Taquari. In: Sampaio, J. A., Luz., A. B. da, Lins, F. F. (eds), *Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil*, 1 ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CETEM.
- BARTHELMY, D., *Mineralogy Database*, disponível em www.webmineral.com. Acesso em: 12/04/2003
- BASSETT, H. P., 1913, *Process of obtaining potash salts from feldspar*, Patente US1072686.
- BASSETT, H. P., 1914, *Process of obtaining potash from feldspar*, Patente US1091034.
- BASSETT, H. P., 1916, *Process of producing a potassium salt from insoluble silicates*, Patente US1194464.
- BASSETT, H. P., 1922, *Process of producing alumina and potash*, Patente US1404083.
- BECKETT, J. S., 1917, *Recovery of alkali*, Patente US1247619.
- BETEJTIN A., 1977, *Curso de Mineralogia*, 3ªed., Editorial Mir, Moscou, 737p.
- BLACKMORE H.S., 1920, *Process of securing water-soluble alkali-metal compounds from water-insoluble substances*, Patente

US1357025.

- CAMPÓRA A., *Situación del potasio en el mundo y sus perspectivas*, In: NIELSON H., SARUDIANSKY R., Fertilizantes Y Enmiendas de origen mineral, 2003, Buenos Aires, Argentina, 283p.
- CARVALHO L.F.A., *Rochas alcalinas como matéria prima para indústria de sais solúveis de potássio*, Boletim número 43, DNPM, 1965.
- CONTI M. E., *Dinâmica de la liberación y fijación de potasio en el suelo*, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, disponível em: www.ppi.org, acesso em 17/07/2002.
- CORDANI, U. & TAIOLI, F. *A Terra, a Humanidade e o Desenvolvimento Sustentável*, In: "Decifrando a Terra", p.517-528, São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- de la ROSA, J., 2003, *Diferenciación geoquímica de SS y Tierra*, Departamento de Geoquímica, Universidade de Huelva, Disponível em: www.uhu.es, acesso em: 26/10/2003.
- CVRD, 2003. Cloreto de Potássio. *Companhia Vale do Rio Doce*. Disponível em www.cvrd.com. Acesso em 20/09/2003
- DASGUPTA, A., 1975. "Fertilizer & Cement from Indian Orthoclase", *Indian Journal of Technology*, v. 13, pp. 359-361
- DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral, *Sumário Mineral*, 1998.
- DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral, *Sumário Mineral*, 1999.
- DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral, *Sumário Mineral*, 2000.
- DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral, *Sumário Mineral*, 2001.
- DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral, *Sumário Mineral*, 2003.
- DOROKHINE, I. et al, *Gisements de Minéraux Utiles et leur Prospection*, Moscou, 1967.
- DYSON, P., 1979. *Production of Alkalis Metal Chlorides*. Patente EP0003429B1
- EMBRAPA, Embrapa-Trigo: Triticale, disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/i/triti.htm>, acesso em: 01/10/2003.
- Extracting potassium from potash feldspar, patente CN1261601-A.
- FERREIRA, Gilson, *CETEM – Relatório Interno*, 2001
- FURTADO C., 1999, *Capitalismo Global*, Paz e Terra, 83p.
- GREENWELL B., 1999, *Canadian Minerals Yearbook- General review*,

- disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/mms/cmty/content/1999/01.pdf>, acesso em: 29/07/2001
- GUARDANI, Roberto, *Fertilizantes potássicos*, Tecnologia de Produção de Fertilizantes, IPT, 1990
- <http://www.ri.ac.uk/History/H.Davy> 29/07/2001
- IPT, *Termofosfato Potássico*, Minas e Geologia Aplicada.
- IPT, Tecnologia de Produção de fertilizantes, 2000.
- Korndörfer G.H., 2003, Apostila Potássio, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Disponível em: <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf>, acesso em: 15/08/2003.
- KRAUSS, A., *Demographic development and its implication for fertilizer use*, AFA 7th International Annual Conference, [www.ipipotash.org], 14 p. Cairo, Egito, jan/fev de 2001.
- KRAUSS, A., *Potassium, integral part for sustained soil fertility*, Regional IPI Workshop on Potassium and Phosphorus, [www.ipipotash.org], 16 p., Lituânia, outubro de 2000.
- KRAUSS, A., *Quality production at balanced fertilization: the key for competitive marketing of crops*, 12th CIRC International Symposium on role of fertilizers in sustainable agriculture, [www.ipipotash.org], 16 p., Suceava, Romênia, 21/22 de agosto de 2000.
- KRAUSS, A., *Balanced fertilization integral part of sustainable soil management*, Expo 2000, Science in Dialogue, [www.ipipotash.org], 14 p., Hanover, Alemanha, 15 de agosto de 2000.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. & NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável. <http://www.cetem.gov.br/publicacoes/>. Série Estudos e Documentos nº 53, 75p., 2003.
- LEITE, P. C., 1985. *Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de Verdete de Abaeté, Fosfato de Araxá e Calcário Magnesiano*, Tese de M. Sc., UFLA, Lavras, SP, Brasil.
- LIDE, David R. (Editor Chefe), *Handbook of chemistry and physics – 75th Edition*, 1994.
- LOPES A. S., 2002, Fertilizantes, Produção de Alimentos e Preservação Ambiental, In: NIELSON H., SARUDIANSKY R., Fertilizantes Y Enmiendas de origen mineral, 2003, Buenos Aires, Argentina, 283p.
- MASON, Brian H., *Princípios de Geoquímica*, Editora Polígono, 1971,

S. Paulo

- MAZUNDER A.K., SHARMA T., RAO T.C., *Extraction of potassium from glauconitic sandstone by the roast-leach method*, International Journal of Mineral Processing, vol 38, pp. 111-123, 1993.
- MMSD – Minerals and Mining Statistics Division, *Potash*, disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/mms/efab/mmsd/minerals/potash.htm>, acesso em: 29/07/2001.
- PERONI R., 2003, *Mineralogia: Estudo dos Minerais*, Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS, Disponível em: http://www.lapes.ufrgs.br/demin/discipl_grad/geologia1/apostilas/5mineralogia_2003.pdf, acesso em: 10/10/2003.
- PIGA L., POCHETTI F., 1992, *Complete beneficiation of leucite by thermal treatment*, International Journal of Mineral Processing, 34, 275-287.
- PONTE & ASMUS, 1976, In: GLOSSÁRIO DE TERMOS GEOLÓGICOS, disponível em: <http://www.agp.org.br/glossario-d.html>, acesso em 14/03/2003.
- POTAFOS, 1996, *Nutrifatos-Informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas*, Arquivo do agrônomo n.10.
- _____, 2002. Disponível em www.ppi-ppic.org. Acesso em 21/04/2002
- POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE, 2003, Disponível em : www.ppi-ppic.org, acesso em: 21/04/2002.
- Production of alkali metal chlorides, patente EP 0003429B1.
- Ramos, D., 2002, *Governo: Petrobras e Vale se somam por Sergipe*, Secretaria de Comunicação Social, Governo de Sergipe, <http://www.agencia.se.gov.br/HomePages/asn.nsf/0/91cad940d2dbbe4603256d59006ddef0?OpenDocument>, acesso em 15/08/2003.
- SANTOS B. A., 1981, *Amozônia-Potencial mineral e perspectivas de desenvolvimento*, Editora Universidade de São Paulo, São Paulo, 1ed.
- SEARLS J.P., *Potash*, In: Mineral Industry Surveys, 2000
- _____, *Potash*, In: Mineral Industry Surveys, 2001
- SHERMAN, D.M., 2003, *Mineralogy*, Department of Earth Sciences, University of Bristol, disponível em: <http://Mineral.gly.bris.ac.uk/Mineralogy>, acesso em 23/10/2003.
- TEIXEIRA W. et al., *Decifrando a Terra*, São Paulo: Oficina de

- Textos, 2000, 557 p.
- THOMPSON, B., 2002. *Efficient fertilizer use-potassium*, International Potash Institute, disponível em www.back-to-basics.net/efu/pdfs/potassium.pdf. Acesso em 20/03/2002
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY 2001, Potash- Mineral Commodities Summary, disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/560301.pdf> acesso em: 30/07/2001.
- VALARELLI, J.V. & GUARDANI R., *Estudos Experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como fertilizantes*, Fertilizantes, v. 3, nº 3: 4-7, 1981.
- VALARELLI, J. V., NOVAIS, R. F., VAZ DE MELO, M. T. et. al., 1993. *Ardósias verdetes de cedro do Abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agrônômica*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 65, pp. 343-375
- VARADACHARI C., *Potash fertilizer from biotite*, Industrial & Engineering Chemistry Research, vol 36, issue 11, pp.4768-4773, 1997.
- YAMADA, T., *Potássio - Situação atual, problemas e perspectivas*. I Simpósio Nacional do Setor de Fertilizantes. VI Encontro Nacional de Rocha Fosfática
- XAVIER R.P., *Silicatos com redes contínuas tridimensionais de tetraedros (Si, Al)O₄ em suas estruturas cristalinas* : apostila do curso mineralogia - ciências da terra GE401 da UNICAMP, Campinas, disponível em: www.ige.unicamp.br/graduacao/ge401/, acesso em 10/03/2001.

Anexo I

K%	NOME	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLEC.
67.30%	Carobbiita	KF	58.10
52.45%	Silvita	KCl	74.55
44.87%	Arcanita	K ₂ SO ₄	174.26
40.27%	Tarapacaita	K ₂ CrO ₄	194.19
39.05%	Klicinitaa	KHC03	100.12
38.67%	Nitro	KNO3	101.10
37.03%	Kafehydrocyanita	K ₄ Fe ⁺⁺ (CN)6·3(H ₂ O)	422.39
36.88%	Chlormanganokaliita	K ₄ MnCl ₆	424.05
35.50%	Hieratita	K ₂ SIF ₆	220.27
32.82%	Butschliita	K ₂ Ca(CO ₃) ₂	238.29
32.82%	Fairchildita	K ₂ Ca(CO ₃) ₂	238.29
32.29%	Elpasolita	K ₂ NaAlF ₆	242.16
31.55%	Misenita	K ₈ H ₈ (SO ₄) ₇	991.28
28.71%	Mercallita	KHSO ₄	136.17
28.69%	Rinneita	K ₃ NaFe ⁺⁺ Cl ₆	408.85
27.46%	Aphthitalita	(K,Na) ₃ Na(SO ₄) ₂	320.33
26.76%	Pyrophosphita	K ₂ CaP ₂ O ₇	292.22
26.58%	Lopezita	K ₂ Cr ₂ O ₇	294.18
26.55%	Baylissita	K ₂ Mg(CO ₃) ₂ ·4(H ₂ O)	294.58
25.90%	Arnhemita	(K,Na) ₄ Mg ₂ (P ₂ O ₇) ₅ ·5(H ₂ O)	452.91
25.33%	Chlorothionita	K ₂ Cu(SO ₄)Cl ₂	308.71
25.07%	Douglasita	K ₂ Fe ⁺⁺ Cl ₄ ·2(H ₂ O)	311.88
24.82%	Kalborcita	K ₆ Al ₄ Si ₆ BO ₂₀ (OH) ₄ Cl	945.31
24.72%	Kaliophilita	KAlSiO ₄	158.16
24.72%	Kalsilita	KAlSiO ₄	158.16
24.47%	Mitscherlichita	K ₂ CuCl ₄ ·2(H ₂ O)	319.58
23.88%	Minguzzita	K ₃ Fe ⁺⁺⁺ (C ₂ O ₄) ₃ ·3(H ₂ O)	491.25
23.81%	Lithosita	K ₆ Al ₄ Si ₈ O ₂₅ ·(H ₂ O)	985.20
23.81%	Syngenita	K ₂ Ca(SO ₄) ₂ ·(H ₂ O)	328.42
23.74%	Erythrosiderita	K ₂ Fe ⁺⁺ Cl ₅ ·(H ₂ O)	329.32
23.16%	Khibinskita	K ₂ ZrSi ₂ O ₇	337.59
22.42%	Archerita	(K,NH ₄)H ₂ PO ₄	130.82
21.85%	Kalistrontita	K ₂ Sr(SO ₄) ₂	357.94
21.32%	Leonita	K ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·4(H ₂ O)	366.69
21.07%	Chlorocalcita	KCaCl ₃	185.53
20.39%	Gregoryita	(Na ₂ ,K ₂ ,Ca)CO ₃	115.06
20.04%	Pyrocoproita	(Mg(K,Na)) ₂ P ₂ O ₇	292.70
20.02%	Ponomarevita	K ₄ Cu ⁺⁺ +4OC10	781.10
19.66%	Wadeita	K ₂ ZrSi ₃ O ₉	397.67
19.64%	Mereiterita	K ₂ Fe ⁺⁺ (SO ₄) ₂ ·4(H ₂ O)	398.23
19.63%	Avogadrita	(K,Cs)BF ₄	149.35
19.54%	Altitita	Na ₃ K ₆ Tl ₂ Al ₂ Si ₈ O ₂₆ Cl ₃	1,200.31
19.42%	Picromerita	K ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·6(H ₂ O)	402.72
19.35%	IMA2000-008	KBSi ₂ O ₆	202.08
19.28%	Grimselita	K ₃ Na(UO ₂)(CO ₃) ₃ ·(H ₂ O)	608.36
19.02%	Panunzita	(K,Na)AlSiO ₄	154.14
19.02%	Triksalilita	(K,Na)AlSiO ₄	154.14
18.91%	Plypita	K ₂ Cu ₂ (SO ₄) ₂ O	413.42
18.84%	Langbeinita	K ₂ Mg ₂ (SO ₄) ₃	415.00
18.81%	Kostylevita	K ₂ ZrSi ₃ O ₉ ·(H ₂ O)	415.69
18.30%	Pseudocotunnita	K ₂ PbCl ₄	427.21
17.91%	Leucita	KAlSi ₂ O ₆	218.25
17.69%	Cyanochroita	K ₂ Cu(SO ₄) ₂ ·6(H ₂ O)	441.96
17.26%	Murunsquita	K ₂ Cu ₃ FeS ₄	452.95
16.42%	Manganolangbeinita	K ₂ Mn ₂ (SO ₄) ₃	476.26
15.83%	Rasvumita	KFe ₂ S ₃	246.99
15.70%	Kainita	MgSO ₄ ·KCl·3(H ₂ O)	248.97
15.62%	Alumoklyuchevskita	K ₃ Cu ₃ AlO ₂ (SO ₄) ₄	751.17

Anexo I

14.07%	Carnallita	$KMgCl_3 \cdot 6(H_2O)$	277.85
14.05%	Microdina	$KAlSi_3O_8$	278.33
14.05%	Orthoclasa	$KAlSi_3O_8$	278.33
13.82%	Montesommaita	$(K,Na)_9Al_9Si_23O_64 \cdot 10(H_2O)$	2,433.32
13.62%	Yavapaiita	$KFe^{++}(SO_4)_2$	287.07
13.53%	Dalyita	$K_2ZrSi_6O_{15}$	577.92
13.33%	Santita	$KBSO_6(OH)_4 \cdot 2(H_2O)$	293.20
13.24%	Tiettaita	$(Na,K)_{17}Fe^{++}TiSi_{16}O_{29}(OH)_{30} \cdot 2(H_2O)$	2,066.91
13.10%	Lemleinilita	$NaK_2(Ti,Nb)_2Si_4O_{12}(O,OH)_2 \cdot 2(H_2O)$	596.73
12.97%	Polyhalita	$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2(H_2O)$	602.94
12.82%	Krausita	$KFe^{++}(SO_4)_2 \cdot (H_2O)$	305.09
12.49%	Palmierita	$(K,Na)_2Pb(SO_4)_2$	469.47
12.18%	Leightonita	$K_2Ca_2Cu(SO_4)_4 \cdot 2(H_2O)$	642.18
11.99%	Shcherbakovita	$(K,Na,Ba)_3(Ti,Nb)_2Si_4O_{14}$	586.87
11.63%	Tinsleyita	$KAl_2(PO_4)_2(OH) \cdot 2(H_2O)$	336.04
11.47%	Ershovita	$Na_4K_3(Fe^{++},Mn^{++},Ti)_2Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot 5(H_2O)$	1,022.20
11.46%	Gwihabaita	$(NH_4,K)(NO_3)$	85.31
11.34%	Umbita	$K_2ZrSi_3O_9 \cdot (H_2O)$	689.36
11.32%	Amicita	$K_2Na_2Al_4Si_4O_{16} \cdot 5(H_2O)$	690.51
10.95%	Fedotovita	$K_2Cu^{++}3O(SO_4)_3or(K,Na)_2(Cu,Zn,Pb)_3S_3O_{13}$	642.55
10.89%	Goldichita	$KFe^{++}(SO_4)_2 \cdot 4(H_2O)$	359.13
10.69%	Charoita	$K_5Ca_8(Si_6O_{15})_2(Si_2O_7)Si_4O_9(OH) \cdot 3(H_2O)$	1,828.68
10.69%	Sanidina	$(K,Na)(Si,Al)_4O_8$	274.30
10.50%	Trilithionita	$KLi_1.5Al_1.5AlSi_3O_{10}F_2$	372.23
10.49%	Minyulita	$KAl_2(PO_4)_2(OH,F) \cdot 4(H_2O)$	372.57
10.43%	Bartonita	$K_3Fe_{10}S_{14}$	1,124.69
10.40%	Tinakita	$K_2Na(Ca,Mn^{++})_2(Ti,Fe)O[Si_7O_{18}(OH)]$	751.73
10.33%	Perialita	$K_8T_4Al_1Si_24O_72 \cdot 20(H_2O)$	3,027.26
10.33%	Humberstonita	$K_3Na_7Mg_2(SO_4)_6(NO_3)_2 \cdot 6(H_2O)$	1,135.32
10.31%	Tokkoita	$K_2Ca_4[Si_7O_{18}(OH)](F,OH)$	758.60
10.20%	Boromuscovita	$KAl_2(Si_3B)O_{10}(OH,F)_2$	383.13
10.07%	Lepidolita	$K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$	388.30
10.06%	Ungemachita	$K_3Na_8Fe^{++}(SO_4)_6(NO_3)_2 \cdot 6(H_2O)$	1,165.54
10.04%	Manaksita	$KNaMn^{++}Si_4O_{10}$	389.36
10.03%	Clinoungemachita	$K_3Na_9Fe^{++}(SO_4)_6(OH)_3 \cdot 9(H_2O)$	1,169.59
9.95%	Polyolithionita	$KLi_2AlSi_4O_{10}(F,OH)_2$	393.12
9.93%	Leucophosphita	$KFe^{++}2(PO_4)_2(OH) \cdot 2(H_2O)$	393.77
9.82%	Litidionita	$KNaCuSi_4O_{10}$	397.97
9.81%	Muscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	398.51
9.77%	Fe-aluminoceladonita	$K_2Fe^{++}2Al_2Si_8O_{20}(OH)_4$	800.71
9.74%	Ferroccladonita	$K_2Fe^{++}Fe^{++}Si_8O_{20}(OH)_4$	802.59
9.72%	Masutomilita	$K(Li,Al,Mn^{++})_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$	402.17
9.71%	Hyalophana	$(K,Ba)Al(Si,Al)_3O_8$	302.06
9.68%	Cetineite	$(K,Na)_3+x(Sb_2O_3)_3(Sb_2S_3)(OH) \cdot (2.8-x)(H_2O)$	726.98
9.66%	Aluminoceladonita	$KAl(Mg,Fe^{++})_2[Si_4O_{10}(OH)]_2$	404.62
9.65%	Taeniolita	$KLiMg_2Si_4O_{10}F_2$	404.98
9.65%	Tainiolita	$KLiMg_2Si_4O_{10}F_2$	404.98
9.60%	IMA2000-048	$K_6Fe_24S_26(Cl,S)$	2,443.24
9.51%	Roscoelita	$K(V,Al,Mg)_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$	411.01
9.44%	Alunita	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	414.21
9.43%	Tiptopita	$K_2(Na,Ca)_2Li_3Be_6(PO_4)_6(OH)_2 \cdot (H_2O)$	829.47
9.38%	Djerfisherita	$K_6Na(Fe,Cu,Ni)_2S_5S_26Cl$	2,500.72
9.36%	Georgechoaita	$KNaZrSi_3O_9 \cdot 2(H_2O)$	417.59
9.34%	Eastonita	$KMg_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$	418.83
9.33%	Phlogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(F,OH)_2$	419.25
9.27%	Chromoccladonita	$KCrMg(Si_4O_{10})(OH)_2$	421.75
9.13%	Vuoriyarvita	$(K,Na)_2(Nb,Ti)_2Si_4O_{12}(O,OH)_2 \cdot 4(H_2O)$	642.34
9.11%	Celadonita	$K(Mg,Fe^{++})(Fe^{++},Al)[Si_4O_{10}](OH)_2$	429.02
9.11%	Boltwoodita	$HK(UO_2)(SiO_4) \cdot 1.5(H_2O)$	429.24
9.05%	Frankamenita	$K_3Na_3Ca_5(Si_{12}O_{30})[F,(OH)]_4 \cdot (H_2O)$	1,295.68
9.02%	Biotita	$K(Mg,Fe^{++})_3[AlSi_3O_{10}(OH,F)_2]$	433.53
8.96%	Gorgeyita	$K_2Ca_5(SO_4)_6 \cdot (H_2O)$	872.98

Anexo I

8.50%	Norrishita	K(Mn+++2Li)Si4O12	460.25
8.48%	Denisovita	(K,Na)Ca2Si3O8(F,OH)	345.98
8.26%	Kamchatkita	KCu++3OCl(SO4)2	473.32
8.24%	Potassium-alum	KAl(SO4)2·12(H2O)	474.39
8.13%	Biphosphammita	(NH4, K)H2PO4	120.29
8.06%	Siderophyllita	KFe++2Al(Al2Si2)O10(F,OH)2	484.90
8.00%	Iquiqueita	K3Na4Mg(Cr+++++O4)B24O39(OH)·12(H2O)	1,466.16
7.81%	Jarosita	KFe+++3(SO4)2(OH)6	500.81
7.72%	Kosnarita	KZr++++2(PO4)3	506.46
7.67%	Ferri-annita	K(Fe++,Mg)3(Fe+++,Al)Si3O10(OH)2	509.88
7.62%	Annita	KFe++3AlSi3O10(OH,F)2	512.88
7.58%	IMA1999-048	KFe++3AlSi3O10F2	515.87
7.52%	Abernathyita	K(UO2)(AsO4)·4(H2O)	520.11
7.47%	Olmsteadita	KFe++2(Nb,Ta)(PO4)2O2·2(H2O)	523.68
7.43%	Willhendersonita	KCaAl3Si3O12·5(H2O)	526.45
7.36%	Pitiglianoita	Na6K2Si6Al6O24(SO4)·2(H2O)	1,062.62
7.32%	Johnwalkita	K(Mn++,Fe+++,Fe++)2(Nb,Ta)(PO4)2O2(H2O,OH)2	480.93
7.31%	Jeppcita	(K,Ba)2(Ti,Fe+++6O)13	641.51
7.29%	Shibkovita	K(Ca,Mn,Na)2(K2-x,[]x)2ZnSi12O30(x~0.8)	1,180.17
7.26%	Niobophyllita	(K,Na)3(Fe++,Mn)6(Nb,Ti)2Si8O24(O,OH,F)7	1,345.90
7.24%	Shafanovskita	(Na,K)6(Mn++,Fe++)3Si9O24·6(H2O)	1,080.50
7.23%	Tetra-ferri-annita	KFe++3Fe++++Si3O10(OH)2	540.75
7.14%	Metavoltina	K4Na4(Fe++,Zn)Fe+++6(SO4)12O2·20(H2O)	2,189.12
7.13%	Hendricksita	K(Zn,Mg,Mn)3Si3AlO10(OH)2	493.25
7.12%	Weeksita	K2(UO2)2Si6O15·4(H2O)	1,098.82
7.06%	Chromphyllita	(K,Ba)(Cr,Al)2[AlSi3O10](OH,F)2	415.64
7.02%	Euchlorina	KNaCu++3(SO4)3O	556.92
6.91%	Davyina	Na4K2Ca2Si6Al6O24(SO4)Cl2	1,131.67
6.78%	Zippeita	K4(UO2)6(SO4)3(OH)10·4(H2O)	2,306.88
6.70%	Astrophyllita	(K,Na)3(Fe++,Mn)7Ti2Si8O24(O,OH)7	1,312.74
6.69%	Nephelina	(Na,K)AlSiO4	146.08
6.65%	Fenaksita	(K,Na,Ca)4(Fe++,Fe+++,Mn)2Si8O20(OH,F)	1,058.91
6.62%	IMA1998-050	Na4K4[Ba2(H2O,OH)2]Mg[Ti8(Si4O12)4(O,OH)8]·8H2O	2,361.35
6.60%	Kupletskita	(K,Na)3(Mn,Fe++)7(Ti,Nb)2Si8O24(O,OH)7	1,333.33
6.57%	Kremersita	(NH4,K)2Fe+++Cl5·(H2O)	297.73
6.54%	Labuntzovita	Na4K4[Ba2(H2O,OH)2]Fe[Ti8(Si4O12)4(O,OH)8]·8H2O	2,392.90
6.53%	Fuenzalidaita	K6(Na,K)4Na6Mg10(SO4)12(IO3)12·12(H2O)	4,191.42
6.50%	IMA1998-052	Na2K2Ba1-xTi4(Si4O12)2(O,OH)4·5H2O	1,203.04
6.36%	Bystrita	(Na,K)7Ca(Si6Al6)O24S4·5·(H2O)	1,106.92
6.32%	Volkovskita	KCa4[B5O8(OH)4][B(OH)3]Cl·4(H2O)	618.83
6.27%	Giuseppetita	(Na,K,Ca)7·8(Si,Al)12O24(SO4,Cl)1·2	1,121.57
6.25%	Merlinoita	(K,Ca,Na,Ba)7Si23Al9O64·23(H2O)	2,625.60
6.22%	Canasita	(Na,K)6Ca5Si12O30(OH,F)4	1,257.57
6.13%	Gobbinaita	(Na2,Ca)2K2Al6Si10O32·12(H2O)	1,339.93
6.10%	Kalifersita	(K,Na)5Fe+++7Si20O50(OH)6·12(H2O)	2,242.17
6.07%	Kuzmenkoita	(K,Na)2(Mn,Fe)(Ti,Nb)4[Si4O12]2(OH)4·5(H2O)	1,095.05
6.06%	Franzinita	[(Na,K)30Ca10][Si30Al30O120](SO4)10·2(H2O)	5,804.06
6.05%	Phillipsita	(K,Na,Ca)1·2(Si,Al)8O16·6(H2O)	645.77
6.03%	Illita	(K,H3O)(Al,Mg,Fe)2(Si,Al)4O10[(OH)2,(H2O)]	389.34
5.96%	Labuntsovita	(K,Ba,Na)8(Ti,Nb)9[(Si,Al)4O12]4(O,OH)10·n(H2O)	2,231.80
5.95%	Montdorita	(K,Na)(Fe++,Mn++,Mg)2.5[Si4O10](F,OH)2	493.04
5.94%	Sitinakita	Na2K(Ti,Nb)4O4(SiO4)2(O,OH)·4(H2O)	658.10
5.91%	Latiumita	(Ca,K)8(Al,Mg,Fe)(Si,Al)10O25(SO4)	1,124.01
5.80%	Selwynita	NaK(Be,Al)Zr2(PO4)4·2(H2O)	673.96
5.76%	Carlosruizita	K6(Na,K)4Na6Mg10(Se+++++O4)12(IO3)12·12(H2O)	4,754.15
5.72%	Odolsovita	K2Na4Ca3Ti2Be4Si12O38	1,367.20
5.70%	Hummerita	KMgV+++++5O14·8(H2O)	686.22
5.68%	Niobokupletskita	K2Na(Mn,Zn,Fe)7(Nb,Zr,Ti)2Si8O26(OH)4(O,F)	1,377.37
5.65%	Lovdarita	K2Na6Be4Si14O36·9(H2O)	1,383.50
5.59%	Sogdianita	(K,Na)2(Li,Fe+++,Al)3ZrSi12O30	1,049.22
5.54%	Farmacosiderita	KFe+++4(AsO4)3(OH)4·6·7(H2O)	705.84
5.49%	Glauconita	(K,Na)(Fe+++,Al,Mg)2(Si,Al)4O10(OH)2	426.93
5.48%	Lecontita	(NH4,K)Na(SO4)·2(H2O)	178.39

Anexo I

5.19%	Tounkita	(Na,Ca,K)8Al6Si6O24(SO4)2Cl-(H2O)	1,204.49
5.17%	Hidrodelhayelita	KCa2AlSi7O17(OH)2·6(H2O)	756.93
5.16%	Rastsvetalvita	Na27K8Ca12Fe3Zr6Si52O144(O,OH,H2O)6Cl2	6,063.62
5.13%	Ashcroftina-(Y)	K5Na5(Y,Ca)12Si28O70(OH)2(CO3)8·8(H2O)	3,810.20
5.12%	Yuksporita	(K,Ba)(Na,Sr)Ca2(Si,Ti)4O11(F,OH)·n(H2O)	535.04
5.00%	Lourensalsita	(K,Ba)2(Ti,Mg,Ca,Fe)4(Si,Al,Fe)6O14(OH)12	937.50
4.96%	Quadridavyna	(Na,K)6Ca2Al6Si6O24Cl4	1,103.19
4.92%	Priderita	(K,Ba)(Ti,Fe+++)8O16	715.42
4.83%	Ammonioleucita	(NH4,K)AlSi2O6	202.45
4.78%	Mountanita	(Ca,Na2,K2)2Si4O10·3(H2O)	409.00
4.77%	Paulingita	(K2,Ca,Na2,Ba)5Al10Si35O90·45(H2O)	1,804.02
4.73%	Phillipsita-K	(K,Na,Ca)1-2(Si,Al)8O16·6(H2O)	661.10
4.72%	Francoanellita	H6(K,Na)3(Al,Fe+++)5(PO4)8·13(H2O)	1,242.49
4.68%	Sacrofanita	(Na,Ca,K)9Si6Al6O24[(OH),(SO4),(CO3),Cl]4·n(H2O)	1,168.52
4.67%	Zircophyllita	(K,Na,Ca)3(Mn,Fe+++)7(Zr,Nb)2Si8O27(OH,F)4	1,423.34
4.66%	Satimolita	KNa2Al4(B2O5)3Cl3·13(H2O)	838.41
4.65%	Chabazita-K	(K2,Ca,Na2,Mg)[Al2Si4O12]·6(H2O)	504.66
4.59%	Ashcroftina-(Ce)	K5Na5(Ce,Ca)12Si28O70(OH)2(CO3)8·8(H2O)	4,256.27
4.55%	Levina	(Ca,Na2,K2)Al2Si4O12·6(H2O)	515.67
4.50%	Yingjiangita	(K2,Ca)(UO2)7(PO4)4(OH)6·6(H2O)	2,607.53
4.47%	Monteregianita-(Y)	(Na,K)6(Y,Ca)2Si16O38·10(H2O)	1,574.86
4.39%	Mantiennaite	KMg2Al2Ti(PO4)4(OH)3·15(H2O)	890.69
4.38%	Hidroxiapofilita	KCa4Si8O20(OH,F)·8(H2O)	759.07
4.37%	Fluorapofilita	(K,Na)Ca4Si8O20(F,OH)·8(H2O)	760.47
4.34%	Miserita	K(Ca,Ce)5Si8O22(OH,F)2	901.19
4.31%	Mangan-neptunita	KNa2Li(Mn,Fe+++)2Ti2Si8O24	906.78
4.31%	Apofilita	KCa4(Si4O10)2F·8(H2O)	907.20
4.31%	Neptunita	KNa2Li(Fe+++ ,Mn)2Ti2Si8O24	907.69
4.29%	Spodiofilita	(Na,K)4(Mg,Fe+++)3(Fe+++ ,Al)2(Si8O24)	910.57
4.28%	Poudretteita	KNa2B3Si12O30	912.90
4.22%	Liottita	(Ca,Na,K)8(Si,Al)12O24[(SO4),(CO3),Cl,OH]4·(H2O)	1,204.89
4.20%	Yimengita	K(Cr,Ti,Fe,Mg)12O19	837.35
4.14%	Magbasita	KBa(Al,Cr)(Mg,Fe+++)6Si6O20F2	943.31
4.06%	Sveita	KAl7(NO3)4Cl2(OH)16·8(H2O)	963.13
4.02%	Berezanskita	KLi3Ti2Si12O30	972.69
3.98%	Clinoptilolita-K	(K,Na,Ca)2·3Al3(Al,Si)2Si113O36·12(H2O)	1,375.59
3.95%	Milarita	K2Ca4Al2Be4Si24O60·(H2O)	1,980.55
3.89%	Compreignacita	K2(UO2)6O4(OH)6·8(H2O)	2,008.53
3.87%	Matveevita	KTiMn2Fe+++ +2(PO4)4(OH)3·15(H2O)	1,009.69
3.85%	Rameauita	K2CaU++++ +6O20·9(H2O)	2,028.57
3.85%	Voltaita	K2Fe+++ +5Fe+++ +3Al(SO4)12·18H2O	2,028.99
3.82%	Eifelita	KNa3Mg4Si12O30	1,022.30
3.80%	Sugilita	KNa2(Fe+++ ,Mn+++ ,Al)2Li3Si12O30	1,028.28
3.78%	Spheniscidita	(NH4,K)(Fe+++ ,Al)2(PO4)2(OH)·2(H2O)	413.28
3.77%	Vishnevita	(Na,Ca,K)6(Si,Al)12O24[(SO4),(CO3),Cl]2·4·n(H2O)	1,037.80
3.77%	Zincovoltaita	K2Zn5Fe+++ +3Al(SO4)12·18(H2O)	2,076.71
3.77%	Rhodizita	(K,Cs)Al4Be4(B,Be)12O28	778.83
3.76%	Chayesita	K(Mg,Fe+++)4Fe+++ (Si12O30)	1,040.72
3.75%	Batisita	(Ba,K,Na)3Ti2Si4O14	624.94
3.71%	Paulingita-K	(K2,Ca,Na2,Ba)5Al10Si35O90·45(H2O)	3,789.13
3.71%	Haigerachita	KFe+++ +3(H2PO4)6(HPO4)2·4(H2O)	1,052.58
3.67%	Anortocásio	(Na,K)AlSi3O8	266.25
3.64%	Burnsita	KCdCu7O2(SeO3)2Cl9	1,074.36
3.63%	Paulkerrita	K(Mg,Mn)2(Fe+++ ,Al)2Ti(PO4)4(OH)3·15(H2O)	970.02
3.61%	Filipsita-Na	(Na,K,Ca)1-2(Si,Al)8O16·6(H2O)	649.86
3.56%	Filipsita-Ca	(Ca,K,Na)1-2(Si,Al)8O16·6(H2O)	658.41
3.52%	Potassicrichterita	(K,Na)(CaNa)2Mg5[Si8O22](OH,F)2	832.34
3.51%	Potassic-fluorichterita	(K,Na)(CaNa)Mg5[Si8O22]F2	834.33
3.51%	Brannockita	KSn2Li3Si12O30	1,114.35
3.51%	Darapoisita	KNa2Li(Mn,Zn)2ZrSi12O30	1,115.35
3.46%	Calcioandyróbertsita	KCaCu5(AsO4)4[As(OH)2O]2·2(H2O)	1,129.55
3.45%	Dehnrnita	6CaO·(Na,K)2O·2P2O5·(H2O)	566.46

Anexo I

3.24%	Microsommita	(Na,Ca,K)7-8(Si,Al)12O24(Cl,SO4)2-3	1,086.58
3.22%	Kinoshitalita	(Ba,K)(Mg,Mn,Al)3Si2Al2O10(OH)2	485.68
3.22%	Stilpnomelana	K(Fe++,Mg,Fe+++,Al)8(Si,Al)12(O,OH)27·2(H2O)	1,216.03
3.21%	Jonesita	Ba4(K,Na)2Ti4Al2Si10O36·6(H2O)	1,829.86
3.20%	Rhodesita	KHCa2Si8O19·5(H2O)	732.57
3.19%	Tuscanita	K(Ca,Na)6(Si,Al)10O22(SO4,CO3,(OH)2)·(H2O)	1,101.39
3.15%	Sadanagaita	(K,Na)Ca2(Fe+++,Mg,Al,Ti)5[(Si,Al)8O22](OH)2	931.99
3.12%	Rubiclina	(Rb,K)AlSi3O8	313.11
3.11%	Magnesiumastrophyllita	(Na,K)4Mg2(Fe++,Fe+++,Mn)5Ti2Si8O24(O,OH,F)7	1,257.91
3.10%	Paulingita-Ca	(Ca,K,Na,Ba)5[Al10Si35O84]·34(H2O)	3,409.72
3.09%	Chessexita	(K,Na)4Ca2Mg3Al8(SiO4)2(SO4)10(OH)10·40(H2O)	2,528.59
3.09%	Atlasovita	Cu6Fe+++Bi+++O4(SO4)5·KCl	1,264.97
3.07%	Potassicferrisadanagaita	(K,Na)Ca2(Fe++,Mg)2(Fe+++,Al)2[Si5Al3O22](OH,F,O)2	954.53
3.03%	Potassicadanagaita	(K,Na)Ca2(Fe+++(Al,Fe+++))2[Si5Al3O22](OH)2	966.86
3.03%	Delhayelita	(Na,K)10Ca5Al6Si32O80(Cl2,F2,SO4)3·18(H2O)	3,231.17
2.99%	Herschelita	(Na,Ca,K)AlSi2O6·3(H2O)	261.30
2.97%	Ferrokinoshitalita	(Ba,K)(Fe++,Mg)3(Si2Al2)O10(OH,F)2	526.29
2.96%	Ofretita	(K2,Ca,Mg)2.5Al5Si13O36·15(H2O)	1,453.72
2.89%	Osumilita-(Mg)	(K,Na)(Mg,Fe++)2(Al,Fe+++)(Si,Al)12O30	1,015.74
2.86%	Heulandita-K	(K,Na,Ca)2-3Al3(Al,Si)2Si13O36·12(H2O)	2,367.04
2.85%	Carletonita	KNa4Ca4Si8O18(CO3)4(OH,F)·(H2O)	1,027.61
2.84%	Steaicyita	K1-x(Ca,Na)2ThSi8O20(x=0.2to0.4)	85.70
2.82%	Katayamalita	KCa7Li3Ti2(Si6O18)2(OH,F)2	1,384.24
2.80%	Osumilita-(Fe)	(K,Na)(Fe++,Mg)2(Al,Fe+++)(Si,Al)12O30	1,047.28
2.78%	Baratovita	KCa7(Ti,Zr)2Li3Si12O36F2	1,408.90
2.70%	Ajoita	(K,Na)Cu7AlSi9O24(OH)6·3(H2O)	1,302.14
2.67%	Turkestanita	Th(Ca,Na)2(K1-x,[I]x)Si8O20·n(H2O)	879.42
2.65%	Mazzita	K2CaMg2(Al,Si)36O72·28(H2O)	2,808.04
2.63%	Iraqita-(La)	K(La,Ce,Th)2(Ca,Na)4(Si,Al)16O40	1,634.63
2.62%	Fedorita	KNa4Ca4(Al,Si)16O36(OH,F)4·6(H2O)	1,493.94
2.53%	Hydrobiotita	[K(Mg,Fe)3(Al,Fe)Si3O10(OH,F)2]·[(Mg,Fe+++,Al)3(Si,Al)4O10(OH2)4]	464.42
2.51%	Lennilenapeita	K6-7(Mg,Mn,Fe++,Fe+++,Zn)48(Si,Al)72(O,OH)216·16(H2O)	8,425.53
2.50%	Hanksita	KNa22(SO4)9(CO3)2Cl	1,564.92
2.46%	Erionita-K	(K2,Ca,Na)2[Al4Si14O36]·15(H2O)	1,428.24
2.43%	Kaliprocloro	(H2O,Sr)(Nb,Ti)(O,OH)6·(H2O,K)	321.15
2.42%	Panethita	(Na,Ca,K)2(Mg,Fe+++,Mn)2(PO4)2	323.06
2.41%	Sosedkoita	(K,Na)5Al2(Ta,Nb)22O60	5,030.82
2.41%	Margaritasita	(Cs,K,H3O)2(UO2)2V2O8·(H2O)	974.70
2.41%	Ferrierita-K	(K,Na)2Mg(Si,Al)18O36·9(H2O)	1,300.52
2.36%	K-clorohastingsita	(K,Na)Ca2(Fe+++,Mg)4Fe+++[Si6Al2O22](Cl,OH)2	994.80
2.29%	Levyna-Na	(Na2,Ca,K2)Al2Si4O12·6(H2O)	513.13
2.28%	Afghanita	(Na,Ca,K)8(Si,Al)12O24(SO4,Cl,CO3)3·(H2O)	1,200.45
2.22%	Straczekita	(Ca,K,Ba)2V8O20·3(H2O)	880.68
2.19%	Chabazite-Sr	(Sr,Ca,K2,Na2)[Al2Si4O12]·6(H2O)	534.42
2.18%	Obradovicita	H4(K,Na)Cu++Fe+++(AsO4)(MoO4)5·12(H2O)	1,257.18
2.17%	Na-farmacosiderita	(Na,K)2Fe+++(AsO4)3(OH)5·7(H2O)	902.63
2.16%	Potassicparagaita	(K,Na)Ca2(Mg,Fe++)5Si8O22(OH,F)2	906.89
2.08%	Tobelita	(NH4,K)Al2(Si3Al)O10(OH)2	376.27
2.01%	Clinoptilolita	(Na,K,Ca)2-3Al3(Al,Si)2Si13O36·12(H2O)	1,364.31
2.01%	Clinoptilolita-Na	(Na,K,Ca)2-3Al3(Al,Si)2Si13O36·12(H2O)	1,364.31

Coletânea Fertilizantes e sustentabilidade na agricultura: uma abordagem minero-química-metalúrgica

Editores: F. E. Lapido Loureiro & Ricardo Melamed

- Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável – F. E. Lapido Loureiro & Marisa Nascimento.

- Calcário agrícola no Brasil – Samir Nahass e Joaquim Severino.

- Implications on soil chemical interactions on the management of fertilizers in oxisols – Ricardo Melamed (CETEM / MCT)

- Impactos radiológicos na indústria do fosfato – Horst Fernandes, Mariza Franklin, Mônica Aquino Pires do Rio e F. E. Lapido Loureiro.

- Crítica ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados em alta solubilidade - A. Pinto Chaves e C. A. Ikeda Oba

- Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado. C. A. Ikeda Oba

- Enxofre: ontem indispensável à Guerra, hoje imprescindível à Paz. Sua Importância na Indústria dos Fertilizantes e na Agricultura – Gildo de Araújo S. C. de Albuquerque.

- Micronutrientes: suas fontes e importância numa agricultura sustentável: as especificidades brasileiras – Rubens J. Campo e Mariângela Hungria.

- Rotas Alternativas para Produção de Fertilizantes Fosfatados - F. Lapido Loureiro, Cristiano H de Oliveira & Ramon Veras de Araújo.

- Processo de produção de fertilizantes fosfatados sem impactos ambientais - F. Pereira e E. Bilal

- *As Terras-raras nos minérios fosfatados e sua recuperação como subproduto. Estudo de caso* - F. Pereira, E. Bilal e Francisco Lápido Loureiro.

- *Zeólitas: função e importância na melhoria da capacitação dos solos agrícolas* – Marisa Bezerra de Melo Monte e Ana Cristina Pereira Duarte.

- *Nitrogênio fertilizante: importância e condicionantes. Panorâmica Mundial e Particularidades Brasileiras* - L. A. Fonseca de Barros.

COLETÂNEA

Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura:
uma Abordagem Mínero-Química-Metalúrgica
Editores: F.E. Lapido Loureiro & Ricardo Melamed

- (V) - Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável - F. E. Lapido Loureiro (CETEM / MCT) & Marisa Nascimento (COPPE / UFRJ)
- (V) - Calcário Agrícola no Brasil - Samir Nahass (MME) & Joaquim Severino (UFPR)
- (V) - Implications of soil chemical interections on the manegement of fertilizers in oxisols - Ricardo Melamed (CETEM / MCT)
- (V) - Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato - Horst Fernandes, Mônica Aquino Pires do Rio & Mariza Franklin (IRD /CNEN)
- (V) - Fertilizantes e Sustentabilidade. O Potássio na Agricultura Brasileira - Fontes e Rotas Alternativas - Marisa Nascimento (COPPE / UFRJ) & F. E. Lapido Loureiro (CETEM / MCT)
- (#) - Crítica ao Modelo Brasileiro de Fertilizantes Fosfatados de Alta Solubilidade - A. Pinto Chaves & C. A. Ikeda Oba - EP/ USP
- (#) - Fabricação de um Fertilizante Organo-Fosfatado - C. A. Ikeda Oba - EP/USP
- (X) - Enxofre - Ontem Indispensável à Guerra, Hoje Imprescindível à Paz. Sua Importância na Indústria dos Fertilizantes e na Agricultura - Gildo de Araújo S. C. de Albuquerque (CETEM / MCT)
- (X) - Micronutrientes - Álvaro Vilela de Resende - EMBRAPA / Planaltina
- (+) - Rotas Alternativas para Produção de Fertilizantes Fosfatados - F. E. Lapido Loureiro, Cristiano H. de Oliveira & Ramon Veras de Araújo (CETEM / MCT)
- (+) - Processo de Produção de Fertilizantes Fosfatados com Redução de Impactos Ambientais - Estudo de Caso -

Fernando Pereira, Essaid Bilal, V. Bourgier (EMSE / França),
F.E. Lapido Loureiro (CETEM / MCT) & D. Grassi (INTI / Argentina)

- (+) - As Terras-Raras nos Minérios Fosfatados e sua Recuperação como Subproduto. Estudo de Caso - Fernando Pereira, Essaid Bilal, V. Bourgier (EMSE / França), F.E. Lapido Loureiro (CETEM / MCT) & D. Grassi (INTI / Argentina)
- (?) - Zeólitas: Função e Importância na Melhoria da Capacitação dos Solos Agrícolas - Marisa Bezerra de Melo Monte & Ana Cristina Pereira Duarte - CETEM/MCT
- (?) - Nitrogênio Fertilizante - Importância e Condicionantes. Panorâmica Mundial e Particularidades Brasileiras - L. A. Fonseca de Barros - FOSFÉRTIL

Situação em novembro de 2004:

- (V) - Edição eletrônica em => www.cetem.gov.br/publicações/series/
- (#) - Em fase de editoração
- (X) - Entregue ao Conselho Editorial