

Cátia de Oliveira Siqueira

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE ROCHAS E MINERAIS
ALTERNATIVOS AOS FERTILIZANTES CONVENCIONAIS NO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2011



UFRJ

Cátia de Oliveira Siqueira

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS AOS
FERTILIZANTES CONVENCIONAIS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Rio de Janeiro

Março 2011

Cátia de Oliveira Siqueira

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS AOS
FERTILIZANTES CONVENCIONAIS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Aprovada em: 03/março/2011

Por:

Orientador: Prof. Dr. José Mário Coelho (UFRJ)

Dr. Adão Benvindo da Luz (CETEM)

Prof. Dr. Luiz Carlos Bertolino (UERJ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo excelente aprendizado em geologia, agradeço aos meus professores, em especial o meu orientador José Mario Coelho. Gostaria de agradecer também aos meus amigos da Geologia, pela ajuda e incentivo e aos meus familiares pelo apoio nesta fase de minha vida.

RESUMO

SIQUEIRA, Cátia de Oliveira. **Análise do Potencial de Rochas e Minerais Alternativos aos Fertilizantes Convencionais no Estado do Rio de Janeiro**. 2011. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso de fertilizantes alternativos, no estado do Rio de Janeiro, bem como a demanda atual e futura de fertilizantes no Brasil. Os solos brasileiros são pobres em nutrientes, necessitando de quantidades significativas de fertilizantes: Nitrogênio —N— Fósforo —P— e Potássio —K—. O Brasil é um dos maiores importadores de fertilizantes do mundo, devido à dimensão da sua indústria agrícola, à insuficiente produção de nutrientes agrícolas e às características dos seus solos, pobres em fósforo e potássio. O país possui percentuais modestos das reservas e produção mundiais, inferiores a 5%, enquanto a importação de agrominerais aumenta a cada ano. Visando contribuir para reduzir o consumo de fertilizantes, que requerem elevado consumo de energia para sua fabricação, pode-se utilizar a rochagem. Esta técnica pode melhorar a produtividade e qualidade de muitos cultivares, principalmente nas pequenas e médias propriedades. Há diversas experiências bem sucedidas na aplicação de rochas e minerais alternativos, em diversas localidades do mundo. Estes fatos justificam o desenvolvimento de novas fontes e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes e insumos minerais aplicados à indústria agrícola. Com relação ao estado do Rio de Janeiro, foi realizado um levantamento de possíveis rejeitos de mina (produção de brita, rochas ornamentais), para uso como fertilizantes alternativos, de litologias e minerais que podem ser utilizados em rochagem e daqueles que, pelas suas características químico-mineralógicas, tem potencial para remineralização do solo. O estado do Rio de Janeiro possui uma grande variedade de rochas, minerais e rejeitos de minas, com potencial de aplicação como fertilizantes alternativos na agricultura.

Palavras-chave: Agrominerais; Fertilizantes Alternativos; Rio de Janeiro.

ABSTRACT

SIQUEIRA, Cátia de Oliveira. **Analysis of Rocks and Minerals Potential Alternative to Conventional Fertilizers** 2011. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The purpose of this work is to evaluate, on the state of Rio de Janeiro, the use of alternative fertilizers as well as current and future demand of fertilizers in Brazil. Brazilian soils are nutrients deficient requiring significant amounts of fertilizers: Nitrogen—N— Phosphorus—P— and Potassium—K. Due to the size of its agricultural industry, insufficient production of agricultural nutrients and inadequate characteristics of its soils, low in phosphorus and potassium, Brazil is a major importer of fertilizers. The country has a modest percentage of global reserves producing less than 5%, while importation of agrominerals increases every year. In order to reduce the consumption of fertilizers, which require high energy consumption for its manufacture, the rock for crops can be used. This technique can improve productivity and quality of many cultivars, especially in small and medium companies. There are several successful experiences in the application of alternative rocks and minerals in many places around the world. These facts justify the development of new sources and technological routes for production of fertilizers and mineral resources applied to the agricultural industry. In regard to the state of Rio de Janeiro, it was made a study of possible mine tailings (production of crushed rocks, ornamental rocks) to use as fertilizer and also alternative rocks and minerals that can be used in rock for crops and those that through their chemical and mineralogical characteristics have the potential for soil remineralization. The state of Rio de Janeiro offers a large variety of rocks, minerals and mine tailings which can be applied as alternative fertilizers in agriculture.

Key-Words: Agrominerals; Alternative Fertilizers; Rio de Janeiro.

Lista de Figuras

Figura 1 A relação geral entre rochas e solos e fertilidade do solo em diferentes ambientes geológicos e geotectônicos na América do Sul.....	3
Figura 2 Disponibilidade de terras no mundo.....	13
Figura 3 Matriz de produção de fertilizantes.....	14
Figura 4 Consumo brasileiro de nutrientes no ano de 2008.....	15
Figura 5 Consumo mundial de fertilizantes contido de nutrientes NPK em 2008.....	16
Figura 6 Consumo, importação, produção e exportação de produtos da indústria de base de fertilizantes, em 1000 t de nutrientes (NPK).....	17
Figura 7 Preços das principais <i>commodities</i> dos fertilizantes fosfatados – históricos (2002-2005) e em forte ciclo ascendente (2006 a julho de 2008).....	18
Figura 8 Os preços das principais <i>commodities</i> da cadeia do NPK, em 2008 e 2009.....	19
Figura 9 Altura e diâmetro padrão de árvores <i>Eucalyptus</i> em função da idade e tratamento....	29
Figura 10 Localização geográfica do estado do Rio de Janeiro.....	31

Lista de Tabelas

Tabela 1 Disponibilidade e produção primária dos principais agrominerais-2008.....	5
Tabela 2 Tipos de rochas e minerais fontes de nutrientes.....	23
Tabela 3 Análise química da amostra 3B.....	24
Tabela 4 Análise da fertilidade do solo da amostra 3B.....	25
Tabela 5 Análise da fertilidade do solo de amostras de solos antes e depois da aplicação do pó de rocha.....	25
Tabela 6 Média de peso (em gramas) de massa verde por tratamento.....	27
Tabela 7 Média de peso de capim tratado com rocha e vidro.....	28
Tabela 8 Áreas potenciais de rochas e minerais como fertilizantes alternativos no estado do Rio de Janeiro.....	50
Tabela 9 Dados obtidos junto ao portal do DNPM sobre rochas alcalinas no estado do Rio de Janeiro.....	53
Tabela 10 Levantamento de recursos minerais fontes de nutrientes no estado do Rio de Janeiro.....	54

Lista de Anexo

Anexo 1 Mapa Geológico do Rio de Janeiro.....	62
---	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANDA- Associação Nacional para Difusão de Adubos
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSF- Cráton do São Francisco
DAP- Fosfato Diamônico
DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral
DRM- Departamento de Recursos Minerais
FAEP- Federação da Agricultura do Estado do Paraná
GEOMITEC- Geologia e Mineração Trabalhos Técnicos
GEOSOL- Geologia e Sondagens
MAP- Fosfato Monoamônico
RCSB- Rifte Continental do Sudeste do Brasil
SSP- Superfosfato Simples
TSP- Superfosfato Triplo
TTG- Tonalitos-Trondhjemitos-Granodioritos

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas.....	vii
Lista de Anexo.....	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	viii
1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1- Objetivos.....	1
1.2- Metodologia.....	2
1.3- Solos e Nutrientes.....	2
2- PRINCIPAIS AGROMINERAIS.....	5
2.1- Fosfato.....	5
2.1.1- Mineralogia e geologia.....	6
2.1.2- Reservas e produção.....	6
2.2- Potássio.....	7
2.2.1- Mineralogia e geologia.....	7
2.2.2- Reservas e produção.....	8
2.3- Enxofre.....	9
2.3.1- Mineralogia e geologia.....	9
2.3.2- Reservas e produção.....	10
2.4- Calcário.....	10
2.4.1- Mineralogia e geologia.....	11
2.4.2- Reservas e produção.....	12
3- ANÁLISE DO MERCADO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAIS.....	13
3.1- Cadeia Produtiva de Fertilizantes NPK.....	13
3.2- Mercados Mundial e Nacional.....	15
3.3- A Dinâmica dos Preços.....	18
3.4- Desafios e Oportunidades para o Mercado Brasileiro.....	20
4- TÉCNICAS DE ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA AOS FERTILIZANTES CONVENCIONAIS.....	22
4.1- Fontes de Fertilizantes Alternativos.....	22
4.2- Ensaios Experimentais com Aplicação de Pó de rocha.....	23
4.2.1- Aplicação de rochas vulcânicas ultramáficas como fonte de P e K.....	23
4.2.2- Ensaios Experimentais Realizados em Brasília.....	26
4.2.2.1- Experimento em recipiente com cultivo de feijão.....	26
4.2.2.2- Experimentos em recipientes com cultivo de capim <i>napier</i>	28

4.2.2.3- Experimento de campo com <i>Eucalyptus pellita</i>	28
5- POTENCIAL DE ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS AOS FERTILIZANTES CONVENCIONAIS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	31
5.1- Geologia do Estado do Rio de Janeiro.....	31
5.2- Áreas com Potencial de Rochas e Minerais Alternativos aos Fertilizantes Convencionais.....	50
6- CONCLUSÃO.....	55
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

1- INTRODUÇÃO

Os nutrientes necessários ao bom desenvolvimento das plantas, com exceção do nitrogênio, são de origem mineral. Mesmo a agricultura orgânica ou biológica, necessita de aditivos minerais, principalmente fósforo e potássio (LUZ *et al.*, 2010). Com o objetivo de aumentar a produção e produtividade da agricultura, ocorreu uma maior procura por fertilizantes em todo o mundo, o que provocou um aumento da demanda e a elevação de seus preços.

Os solos brasileiros são pobres em nutrientes, necessitando de quantidades significativas de fertilizantes (NPK). A produção nacional desses fertilizantes teve baixo crescimento nos últimos anos, com importações crescentes para atender à demanda. O Brasil é um dos maiores importadores de fertilizantes do mundo, devido à dimensão da sua indústria agrícola, a insuficiente produção de nutrientes agrícolas e às características dos seus solos (pobres em fósforo e potássio).

Visando contribuir para reduzir o consumo e a importação de fertilizantes convencionais, os quais requerem elevado consumo de energia para sua fabricação, pode-se utilizar a rochagem. Esta técnica pode melhorar a produtividade e qualidade de muitos cultivares, principalmente nas pequenas e médias propriedades (LAPIDO-LOUREIRO & RIBEIRO, 2009).

Existem diversas experiências bem sucedidas na aplicação de rochas e minerais como fertilizantes alternativos, em diversas partes do mundo e no Brasil. O uso da rochagem na remineralização do solo e manutenção da sua fertilidade é relativamente recente, sendo destacada como uma técnica promissora (LUZ *et al.*, 2010). A rochagem pode ser usada como uma alternativa ou em conjunto com os fertilizantes convencionais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (LEONARDOS *et al.*, 2000).

1.1- Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é identificar e localizar, no estado do Rio de Janeiro, rochas, minerais e possíveis rejeitos de minas com potencial de fertilizantes alternativos, fontes de macronutrientes (K, P, Ca, Mg) e micronutrientes, para uso na produção agrícola. Foram avaliados, a demanda atual, comércio exterior e projeções futuras de fertilizantes e agrominerais no Brasil, bem como o uso de fertilizantes alternativos.

1.2- Metodologia

Inicialmente, foi feito um levantamento bibliográfico, onde foram pesquisados trabalhos nacionais e internacionais sobre o tema, nos quais se destacam como principais referências os trabalhos feitos por Leonardos *et al.* (1987, 2000), Theodoro & Leonardos (2006) e Bakken *et al.* (2000), além de trabalhos realizados pelo DNPM, como Economia Mineral do Brasil (2009), pelo CETEM, como Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações (2008) e Agrominerais para o Brasil (2010), dentre outros.

Foi realizado um levantamento de litologias (Tabela 8), no estado do Rio de Janeiro, que podem ser utilizadas em rochagem e daquelas que, pelas suas características químico-mineralógicas, tem potencial para remineralização do solo, sendo apresentado um resumo da geologia do estado do Rio de Janeiro e as regiões onde as rochas e minerais alternativos estão concentrados, tendo como principal trabalho consultado Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro (SILVA & CUNHA, 2001).

Realizou-se também uma pesquisa junto ao Cadastro Mineiro (DNPM), com propósito de apurar dados a respeito das rochas alcalinas no estado do Rio de Janeiro (Tabela 9). Outro levantamento (Tabela 10) foi feito no banco de dados da CPRM (GEOBANK) para verificar possíveis rejeitos de minas (produção de brita, rochas ornamentais, dentre outros), fontes alternativas de nutrientes, no estado do Rio de Janeiro. Foram confeccionadas tabelas para a exposição dos levantamentos realizados (Tabela 8, 9, 10).

1.3- Solos e Nutrientes

De acordo com Lepsch (2000), as plantas retiram dos solos quinze elementos essenciais à vida, que estão divididos em macro e micronutrientes, sendo os macronutrientes os elementos absorvidos em quantidades relativamente maiores, como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Os micronutrientes são usados em quantidades muito pequenas, são eles: boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel, cobalto e zinco. É a presença destes elementos em quantidades, formas e ambientes adequados, que indicam a fertilidade do solo.

As principais reações químicas que ocorrem no solo são: hidrólise, oxidação, redução e solubilização, estes processos liberam principalmente o sódio, potássio, cálcio e magnésio.

Segundo Leonardos *et al.* (1987), os processos de superfície são os responsáveis pela migração e distribuição de elementos nutrientes nas camadas de solo e estão relacionados aos mecanismos de movimentação das placas tectônicas. A natureza e quantidade de nutrientes encontrados em uma determinada região é o resultado direto dos processos tectônicos (Figura 1) e suas interações com o clima.

Existem duas situações extremas de fertilidade do solo: as margens de placas e no interior de placas. Nas margens de placas tectônicas elementos crustais como Si, Al, K, Na, Be, Li, Zn, Mo, F e B são misturados com elementos recém-chegados do manto, como Ca, Mg, Cu, Co, Ni, S, V, Cr e Se. Quando periodicamente detritos de rocha são incorporados ao solo, seja por processos vulcânicos, fluviais ou glaciais, o resultado são solos naturalmente férteis.

Em contrapartida, no interior de placas tectônicas predomina rochas sedimentares, freqüentemente formadas por rochas quimicamente simples como os ortoquartzitos, folhelhos, calcários, evaporitos, com específicos ou quase nenhum nutrientes. A estabilidade tectônica do interior de placas leva a pouca erosão e intensa lixiviação. Esta é a situação de um típico ambiente laterítico onde os componentes das rochas do solo, minerais primários e nutrientes se perdem. Os nutrientes e o balanceamento químico do solo precisam ser restaurados, mas neste tipo de ambiente a utilização do fertilizante NPK, que é altamente solúvel pode ser inadequada (LEONARDOS *et al.*, 1983).

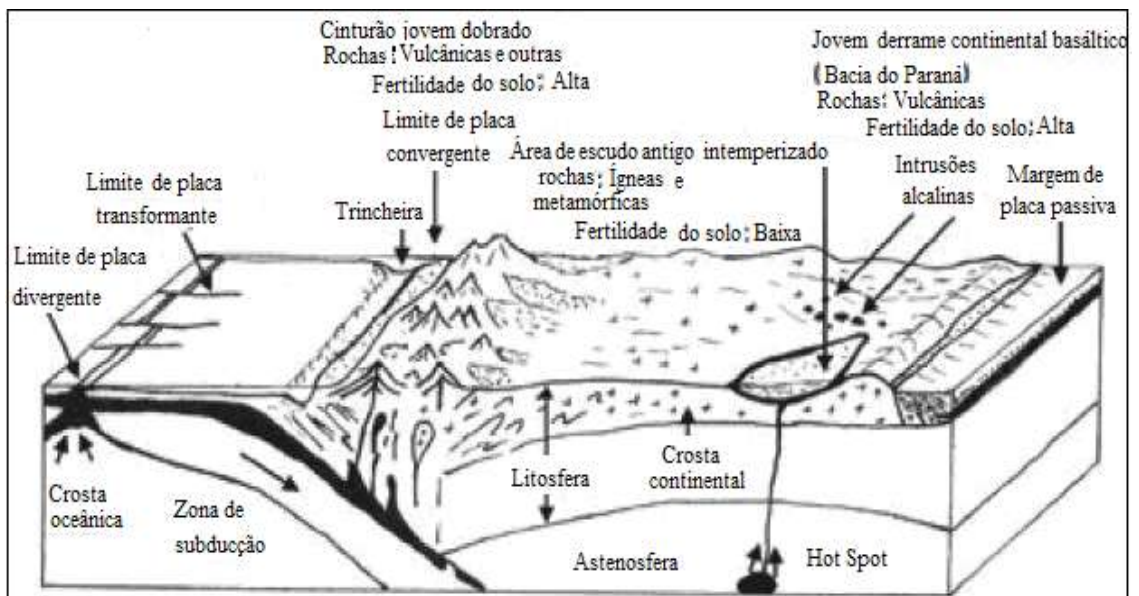


Figura 1- A relação geral entre rochas, solos e fertilidade do solo em diferentes ambientes geológicos e geotectônicos na América do Sul.

Fonte: Leonardos *et al.*, 2000.

Os latossolos apresentam maior representação geográfica no Brasil (LEPSCH, 2002). São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, resultado de enérgicas transformações no material constitutivo.

Sob o clima tropical úmido e condições tectônicas estáveis em que a maioria dos solos brasileiros lixiviados tem evoluído, a decomposição química dos minerais primários deixa um resíduo no solo (laterítico) formado por óxidos e hidróxidos de elementos refratários (MELFI & PEDRO, 1977; KRONBERG *et. al.*, 1979, *apud* LEONARDOS *et al.*, 2000).

2- PRINCIPAIS AGROMINERAIS

Os agrominerais são produtos da indústria extrativa mineral que fornecem os elementos químicos para a indústria de fertilizantes ou para utilização direta pela agricultura. Compreendem as *commodities* minerais de fosfato, potássio, enxofre e calcário utilizado para corretivo da acidez dos solos (KULAIF & FERNANDES, 2010). Neste tópico serão abordados os principais usos, características mineralógicas e geologia de cada agromineral, bem como suas reservas e produção nacional (Tabela 1).

Tabela 1
Disponibilidade e produção primária dos principais agrominerais - 2008.

AGROMINERAIS (10 ³ t)	BRASIL			
	Reserva Medida	Reserva Indicada	Reserva Total	Produção
Calcário	45.318.712	27.773.114	73.051.826	114.000
Enxofre	48.506	207	48.713	513
Fosfato	231.986	105.420	337.406	6.300
Potássio	935.466	308.138	1.243.604	383

Fonte: DNPM, 2009, *apud* Rodrigues *et al.*, 2010.

2.1- Fosfato

O fósforo, expresso em P₂O₅ (pentóxido de difósforo), é o grande responsável pela geração de energia para a produção vegetal. É crucial para a fotossíntese e para a reprodução além de participar ativamente do processo de crescimento e sustentação corporal dos vegetais e animais (DNPM, 2009).

O fósforo é um elemento abundante na natureza, é encontrado principalmente em carbonatitos, granitos e diabásios. O tipo mais comum são os fosfatos de cálcio do grupo da apatita, estes minérios podem ser utilizados diretamente, ou após beneficiamento, na manufatura de produtos comerciais. Sua principal aplicação é na agricultura, como fertilizante. As rochas fosfáticas de origem sedimentar são as mais adequadas para aplicação direta, pois são formadas por agregados microcristalinos de carbonato-apatita, com uma área específica razoavelmente bem desenvolvida (LAPIDO-LOUREIRO *et al.*, 2008).

2.1.1- Mineralogia e geologia

A apatita é um mineral-minério de fósforo (com teor variando de 5 a 15% de P_2O_5) que se encontra, quase sempre, presente nas rochas carbonatíticas. A maioria dos minérios de fósforo dessas rochas pertence ao grupo da apatita, representado pela fórmula: $Ca_5(F, Cl, OH)(PO_4)_3$.

As variedades fluorapatita, hidroxiapatita e, mais raramente, a cloroapatita ocorrem nas rochas de origem ígnea, principalmente em carbonatitos. Na maioria dos depósitos sedimentares predominam as variedades de carbonato-apatita e carbonato-fluorapatita – francolita (MCCLELLAN & KAUVENBERGH, 1990; ZAPATA & ROY, 2004, *apud* LAPIDO-LOUREIRO, 2008). A fosforita é uma variedade fibrosa da apatita, se constituindo num fosfato tricálcico de origem sedimentar, geralmente associada a carbonatos de cálcio e magnésio, óxidos de ferro e alumínio e traço de urânio (DNPM, 2009).

No Brasil, os materiais fosfáticos ocorrem em cinco ambientes geológicos diferentes: ambientes magmáticos- complexos alcalino-carbonatíticos mesozóicos em que os minérios de mais elevados teores se formaram por enriquecimento supergênico de carbonatitos apatíticos e/ ou piroxenitos apatíticos; ambientes ortomagmáticos- complexos alcalino-carbonatíticos, proterozóicos, metamorfizados, nos quais ocorreram também concentrações residuais; ambientes metassedimentares- nas bacias intracratônicas de idade proterozóica; ambientes sedimentogênicos- nas bacias marginais mesozóicas; e ambientes lateríticos- materiais fosfatados aluminosos resultantes da lateritização de rochas sedimentares e metassedimentares, com teores elevados de fósforo (CPRM, 1997; SOUZA, 2001, ARAÚJO, 2003; LOUREIRO & NASCIMENTO, 2003, *apud* LAPIDO-LOUREIRO, 2008).

2.1.2- Reservas e produção

De acordo com DNPM (2009), as reservas brasileiras de fosfato em 2008, somaram 337 milhões de toneladas de P_2O_5 contido (medida + indicada), o que representa aproximadamente 0,72% das reservas mundiais. Essas reservas estão localizadas principalmente em Minas Gerais (66%), Goiás (13%), São Paulo (6%) e Santa Catarina (4,6%).

Segundo exposto no Sumário Mineral do DNPM (2009), no ano de 2008, o Brasil ficou em sexto lugar em produção de rocha fosfática, que alcançou 6,727 milhões de toneladas de concentrado, com teores de 34 a 37% de P_2O_5 . O estado de Minas Gerais é líder

em produção desse insumo com 50,8% de participação, seguido de Goiás com 35,5%, São Paulo com 9,7% e o restante pelos estados da Bahia e Tocantins.

2.2- Potássio

Potássio é um termo genérico usado para uma grande variedade de minerais potássicos. O potássio está amplamente distribuído, mas devido a sua alta reatividade e afinidade com outros elementos nunca ocorre em sua forma elementar. Teores mais elevados são observados nos minerais evaporíticos e nos silicatos de potássio (DNPM, 2009).

O principal uso dos sais de potássio é na agricultura, onde eles fornecem um dos três elementos nutrientes mais importantes, essenciais para o desenvolvimento das plantas, pois ativa a catálise biológica, tem funções reguladoras da osmose, promove a síntese do açúcar e a sua ida para os tecidos de armazenagem (NASCIMENTO *et al.*, 2008). Várias aplicações industriais, incluindo a manufatura de vidros especiais, sabões, detergentes, absorvem o restante da produção (DNPM, 2009).

O teor de potássio nas rochas varia muito, nos granitos o teor é em média de 3,8% de K_2O , nos andesitos 3,2%, nas rochas basálticas 0,7%. Nas rochas ultrabásicas, os teores variam de 2-14% de K_2O . Rochas alcalinas como os nefelina sienitos/fonolitos podem se enriquecer em potássio por metassomatismo como é o caso do Planalto de Poços de Caldas (MG), onde se atingem teores de até 12-13% (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

A leucita é um silicato rico em potássio. As micas pelos seus teores de potássio são bons indicadores de rochas potenciais para aplicação na remineralização de solos, sendo a flogopita, biotita e muscovita as que possuem teores mais elevados (4-17% de K_2O). O K-feldspato como o ortoclásio, pode conter de 8-15% de K_2O , porém sua solubilização natural é muito lenta. Rochas ricas de micas, como alguns carbonatitos, xistos, e rochas vulcânicas como kimberlitos, são fontes potenciais de K, Ca, Mg e de micronutrientes (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

2.2.1- Mineralogia e geologia

Somente os cloretos e sulfatos são considerados de interesse econômico, pois possuem bom teor de potássio e fácil solubilização. Os principais minerais de potássio dos evaporitos de potássio são: silvita (KCl), contendo teor de aproximadamente 52,5% de K_2O ; carnalita ($KCl.MgCl_2.6H_2O$), contendo 17% de K_2O ; cainita ($KCl.MgSO_4.3H_2O$), contendo 19% de

K_2O ; langbeinita ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), contendo 23% de K_2O ; polialita ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$), contendo 15,6% de K_2O ; schoenita ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$), contendo 23,4% de K_2O ; singernita ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$), contendo 28% de K_2O (DNPM, 2009).

A silvita é o mineral industrial com a maior percentagem de potássio. Constitui-se ainda minério típico de potássio, uma mistura de silvita e halita (NaCl) que se designa por silvinita (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Os depósitos de minerais como halita, silvita e carnalita foram originados por evaporação gradual de águas salinas, em bacias fechadas, pouco profundas. Estas camadas salinas foram formadas no Paleozóico superior, Permiano e Devoniano. As camadas de sais de potássio estão freqüentemente interstratificadas com outros sais (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Um dos mecanismos prováveis de formação dessas camadas é o seguinte: a água dos rios transporta, em solução, diversos sais solúveis e quando deságua em mares fechados em que a evaporação seja igual ou superior ao aporte das águas fluviais, a concentração dos sais aumenta progressivamente. Pela elevação 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. Dessa forma se explica a alternância, de camadas mais ricas de KCl, NaCl ou de argilas estéreis. Atualmente esses depósitos são encontrados, com freqüência, a grandes profundidades. Os depósitos de halita podem também ter sido formados quando volumes consideráveis de água marinha foram isolados dos oceanos por formação de barras arenosas e subseqüentes concentração de NaCl por evaporação (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Devido ao material salino possuir alta plasticidade e propriedade de passar ao estado fluido quando submetido a elevadas pressões, as deformações tectônicas podem dar origem a morfologias complexas, tornando-se comum os domos e elevações (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

2.2.2- Reservas e produção

Segundo DNPM (2009), as reservas brasileiras medidas de potássio, em termos de K_2O são da ordem de 13 bilhões de toneladas incluindo-se aí as reservas de silvinita e carnalita. Atualmente os depósitos mais pesquisados encontram-se no estado de Sergipe (Bacia Sedimentar de Sergipe) e Amazonas (Bacia Sedimentar do Amazonas-Solimões).

Embora essas reservas apresentem considerável ordem de grandeza, as reservas efetivamente lavráveis (mineráveis) são substancialmente inferiores (aproximadamente 1,0 bilhão de t).

A produção de potássio no Brasil está restrita ao Complexo Mina/Usina Taquari/Vassouras, no Estado de Sergipe, operado pela Companhia Vale do Rio Doce (VALE). Em 2008, a produção atingiu 606,71 mil t de KCl, correspondendo a 383,26 mil t de K₂O equivalente, tendo sido, essa produção, inferior à observada no ano anterior, quando foram produzidas 670,97 mil t de KCl, correspondendo a 423,85 mil t de K₂O equivalente. Em 2008, a produção nacional de KCl representou apenas 8,66% do consumo interno aparente, não suprimindo a demanda interna pelo produto (DNPM, 2009).

A lavra e o processamento dos minerais de potássio seguem tradicionalmente três rotas: mineração subterrânea convencional seguida do processo de flotação; mineração por dissolução seguida da cristalização fracionada dos sais; evaporação solar a partir de salmouras, seguido de flotação ou com algumas variantes como separação eletrostática ou cristalização a frio (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

CETEM/MCT e COPPE/UFRJ desenvolveram metodologia para extração de potássio da Rocha Potássica de Poços de Caldas, com um rendimento superior a 96%, formação de um licor sódico-potássico e de material zeolítico, como resíduo (NASCIMENTO, 2004, *apud* NASCIMENTO *et al.*, 2008).

2.3- Enxofre

O enxofre é utilizado em vários setores da indústria na forma de ácido sulfúrico (H₂SO₄), dióxido de enxofre (SO₂) e sulfureto de hidrogênio (H₂S). Suas principais aplicações são nas indústrias metalúrgicas, de pigmentação, celulose, do petróleo, assim como em baterias, detergentes, fungicidas, cosméticos, explosivos, no tratamento da água, entre outros. No entanto, o principal uso do enxofre é na indústria de fertilizantes, onde através do ácido sulfúrico são obtidos três produtos: ácido fosfórico, superfosfato simples e sulfato de amônia (DNPM, 2009).

2.3.1- Mineralogia e geologia

O Enxofre pode ocorrer em sua forma nativa (S) ou formando minerais, sendo os mais comuns os sulfatos (SO₄⁻²) e sulfetos (S⁻²). Na forma elementar, o enxofre ocorre nos depósitos de origem vulcânica, bacias evaporíticas e domos salinos (DNPM, 2009).

Na forma de minerais ocorre como sulfatos, gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4), que se encontram associados a carbonatos e argilas em seqüências evaporíticas e podem ser reduzidos com carvão para obtenção do SO_2 , e sulfetos (calcopirita, pirrotita, esfalerita, galena, arsenopirita, pirita), cujo principal mineral é a pirita (FeS_2), podem ser encontrados em uma enorme gama de ambientes geológicos que incluem os vulcanogênicos, hidrotermais e sedimentares (DNPM, 2009).

A extração do enxofre se dá como subproduto da mineração de minérios de sulfeto metálico ou de carvão mineral. As outras formas de ocorrência de enxofre são gasosas, presentes no gás natural na forma de H_2S , em pântanos e mangues, também na forma de H_2S (DNPM, 2009).

2.3.2- Reservas e produção

O Brasil detém apenas 1,2% das reservas mundiais de enxofre, que somam 48,5 milhões de toneladas. Essas reservas estão distribuídas da seguinte forma: reservas de enxofre associadas ao petróleo e gás natural e recuperadas no refino, realizado pela Petrobrás. Estas reservas não se encontram computadas acima e são difíceis de obter, pois o enxofre contido no petróleo e no gás natural varia enormemente; reservas de enxofre associadas aos folhelhos pirobetuminosos; reservas de enxofre associadas ao carvão no sul do Brasil; e reservas de enxofre como subproduto de sulfetos e enxofre nativo (DNPM, 2009).

Sua produção foi originalmente como enxofre elementar proveniente de depósitos de origem vulcânica, posteriormente passou a ser recuperado a partir de sulfetos (pirita) e atualmente, a maior produção é através do refino de petróleo e recuperado a partir de gás natural e de metalurgias de metais não ferrosos. Denomina-se de subproduto o enxofre obtido da mineração de sulfetos metálicos, como ouro, cobre, zinco e chumbo. O processo de recuperação chama-se ustulação, sendo produzido o ácido sulfúrico. O enxofre produzido no Brasil provém de três fontes: folhelho pirobetuminoso (5%), beneficiamento do petróleo (28%) e processo de ustulação de sulfetos metálico (67%) (DNPM, 2009).

Segundo o DNPM (2009), o Brasil produziu em 2008, praticamente 513 mil toneladas de enxofre, o que representa um aumento de 92% em relação à produção de 1998. No entanto, esta produção foi insuficiente para abastecer o mercado interno, tendo em vista que o consumo aparente do Brasil em 2008 foi de 2,8 milhões de toneladas.

2.4- Calcário

O calcário é um dos bens minerais de maior gama de aplicações na indústria, por exemplo, a indústria do cimento, a indústria da cal, produção de brita, metalúrgica, química, de tintas e a indústria de produção de corretivos de acidez dos solos, que é a segunda maior consumidora de calcário (DNPM, 2009).

A extensão continental (8,5 Mkm²) e a geodiversidade do Brasil, associados a expressivos domínios de ambientes cársticos (*Karst*), condicionam uma abundância relativa da disponibilidade primária de rochas calcárias, na medida em que esses recursos, independentemente das características mineralógicas (calcítica e magnesiana), podem ser absorvidos como insumos pelas modernas técnicas agrícolas na correção da acidez do solo (rochagem/calagem) (RODRIGUES *et al.*, 2010).

Os solos brasileiros são, em sua maioria, ácidos. As culturas em geral são tolerantes à acidez, mas é num ambiente de neutralidade que as plantas adquirem máxima produtividade. E, uma das maneiras de se corrigir a acidez do solo é através da utilização do calcário, que traz benefícios como: elevação do pH, fornecimento de Ca e Mg, redução ou eliminação dos efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe, aumento da disponibilidade e maior aproveitamento de N, K, Ca, Mg, S e Mo, maior atividade microbiana, com isso, melhoria na mineralização da matéria orgânica e fixação de N, melhoria nas propriedades físicas do solo, implicando maior aeração e circulação de água, auxiliando no desenvolvimento das raízes e da planta (DNPM, 2009).

2.4.1- Mineralogia e geologia

Genericamente conceitua-se calcário como sendo uma rocha de origem sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos, constituída predominantemente de carbonato de cálcio podendo, em razão da estrutura e/ou presença de outro composto, receber denominações variadas e, quando submetida a processo de metamorfismo, passa a denominar-se mármore (SAMPAIO & ALMEIDA, 2008).

A calcita (CaCO₃) é o principal constituinte mineralógico dos calcários e mármore com elevada pureza. A aragonita (CaCO₃) possui a mesma composição química da calcita, entretanto difere na estrutura cristalina, trata-se de um mineral metaestável, cuja alteração resulta na calcita. Outros minerais carbonatados, notadamente, siderita (FeCO₃), ankerita (Ca₂MgFe(CO₃)₄) e a Magnesita (MgCO₃), estão comumente associados ao calcário. (SAMPAIO & ALMEIDA, 2008).

2.4.2- Reservas e produção

Segundo o DNPM (2009), o somatório das reservas medidas, indicadas e inferidas, de calcário é da ordem de 100 bilhões de toneladas. Analisando por regiões se tem 35% das reservas brasileiras de calcário na Região Sudeste.

No ano de 2008, a produção brasileira de calcário foi de 114 Mt e desta, aproximadamente 74 Mt foram destinadas à indústria cimenteira, 23 Mt foram destinadas à produção de calcário agrícola, 12 Mt à produção de cal e o restante aos demais setores da indústria, inclusive produção de brita. A região Sudeste se destaca como a maior produtora, 33% da produção nacional. O Brasil detém reservas suficientes ao atendimento da demanda interna (RODRIGUES *et al.*, 2010).

3. ANÁLISE DO MERCADO DE FERTILIZANTES CONVENCIONAIS

Atualmente existe uma demanda global crescente de alimentos, o que provocou aumento nos preços dos fertilizantes, elevando os custos. É preciso equacionar o suprimento dos fertilizantes a custos competitivos, para as diversas cadeias produtivas (NOGUEIRA, 2008).

O agronegócio brasileiro necessita aprimorar o mercado de fertilizantes, para que possa tirar proveito das oportunidades promissoras no mercado internacional e se tornar o principal fornecedor global de alimentos, pois o Brasil possui uma das maiores áreas com possibilidade de expansão da agricultura no mundo (Figura 2) (PEREIRA, 2010).

Neste tópico são analisadas a situação atual e as perspectivas do mercado de fertilizantes, considerando-se a demanda e os preços, a conjuntura internacional e as políticas públicas relevantes ao setor.

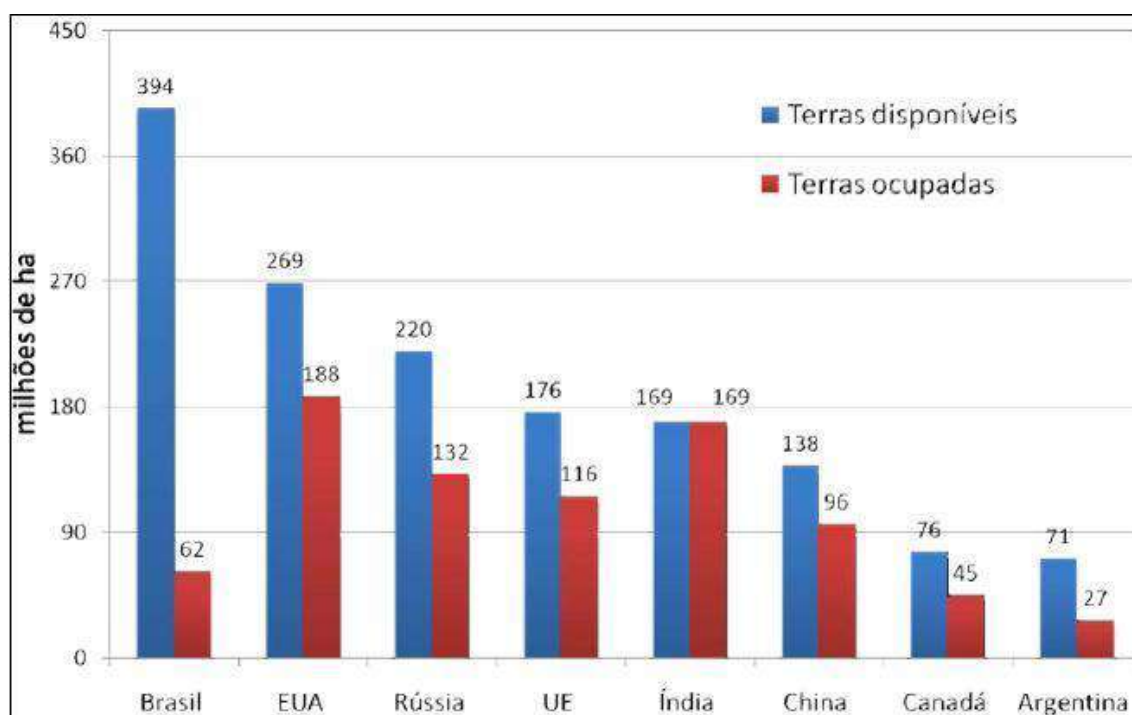


Figura 2- Disponibilidade de terras no mundo.

Fonte: ING, 2009.

3.1- Cadeia Produtiva de Fertilizantes NPK

Os fertilizantes NPK têm suas matérias-primas básicas (Figura 3) fornecidas pela indústria extrativa mineral, que são: gás natural (subprodutos das refinarias de petróleo e

nitrogênio), enxofre, rocha fosfática e rochas potássicas. A indústria de fabricação de produtos químicos inorgânicos produz as matérias-primas básicas e intermediárias, que são: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, amônia anidra. A indústria de fabricação de fertilizantes simples produz os seguintes fertilizantes: superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (TSP), fosfatos de amônio (MAP e DAP), nitrato de amônio, sulfato de amônio, uréia, cloreto de potássio, termofosfatos, rocha fosfática parcialmente acidulada. As misturas e formulações são realizadas pela indústria de fabricação de produtos finais fertilizantes, mistos e granulados complexos (NPK), sendo o último elo de produção dentro da cadeia do NPK (KULAIIF, 2009).

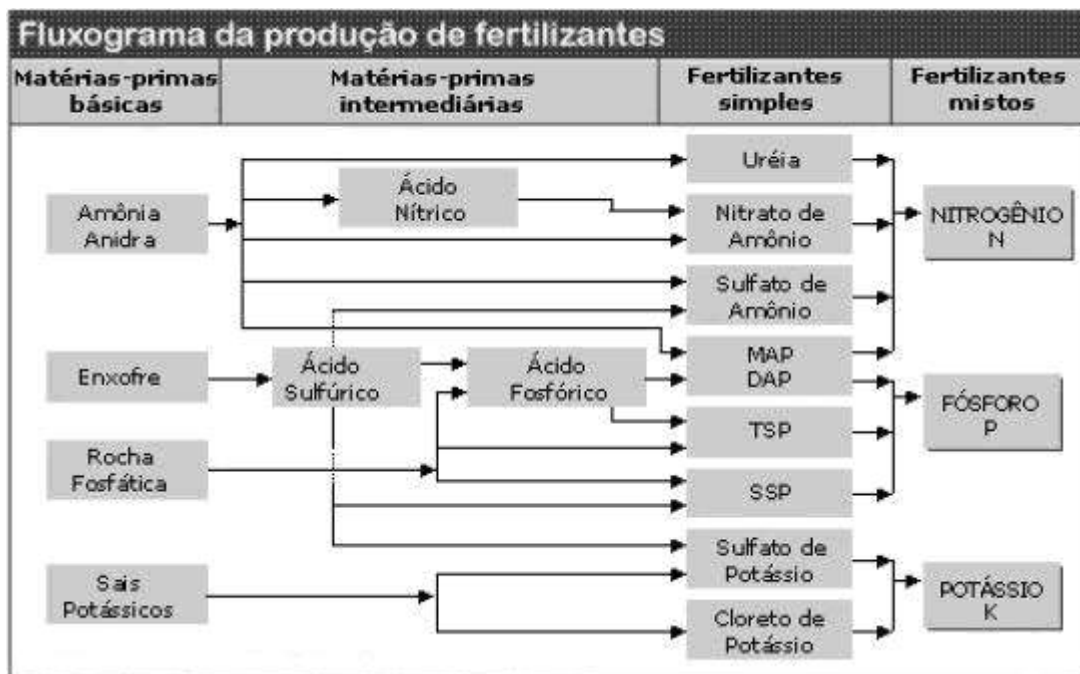


Figura 3- Matriz de produção de fertilizantes.

Fonte: Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 2009.

As matérias-primas para a produção de amônia anidra são o gás natural (e as frações dele recuperadas), as naftas, os gasóleos, os gases residuais de refinaria e os resíduos líquidos provenientes do processamento do petróleo, ou do óleo de xisto e outras rochas betuminosas, todos como fornecedores de hidrogênio, e a atmosfera para o nitrogênio. O nitrogênio pode ser utilizado na forma de nitrato de amônia, nitrato de sódio, nitrofosfatos, fosfato de amônia e uréia (KULAIIF, 2009). É essencial para todas as células viva, sendo parte do RNA e do DNA. É fundamental para a construção dos blocos de proteínas garantindo alta produtividade e qualidade.

Os concentrados fosfáticos, contendo 30% a 38% de P_2O_5 , são as fontes primárias e únicas de fósforo dos fertilizantes fosfatados, a obtenção da rocha fosfática e do seu concentrado se dá no âmbito da indústria extrativa mineral (KULAIF, 2009).

O enxofre é uma matéria-prima de origem mineral que é a base para a fabricação do ácido sulfúrico e pode ser extraído de minas a grandes profundidades ou ser obtido como subproduto de minérios que possuam esse elemento como impureza ou recuperado nos processos de limpeza do gás natural e petróleo (FAEP, 2008).

O potássio é obtido principalmente do cloreto de potássio, que ocorre na natureza na forma de minérios em depósitos sedimentares. Alternativamente, minerais contendo potássio, como os verdetes e feldspatos, vêm sendo utilizados na aplicação direta (KULAIF, 2009).

3.2- Mercados Mundial e Nacional

O Brasil é o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes (cerca de 6% do consumo mundial), porém produz apenas 2%, sendo assim um grande importador deste produto (Figura 4). O Brasil é o terceiro maior importador de fertilizantes, sendo os Estados Unidos o primeiro seguido da China. Os países que dominam a produção de fertilizantes são China, Estados Unidos, Rússia, Canadá e Índia, o Brasil ocupa o nono lugar no *ranking* de produção de fertilizantes.

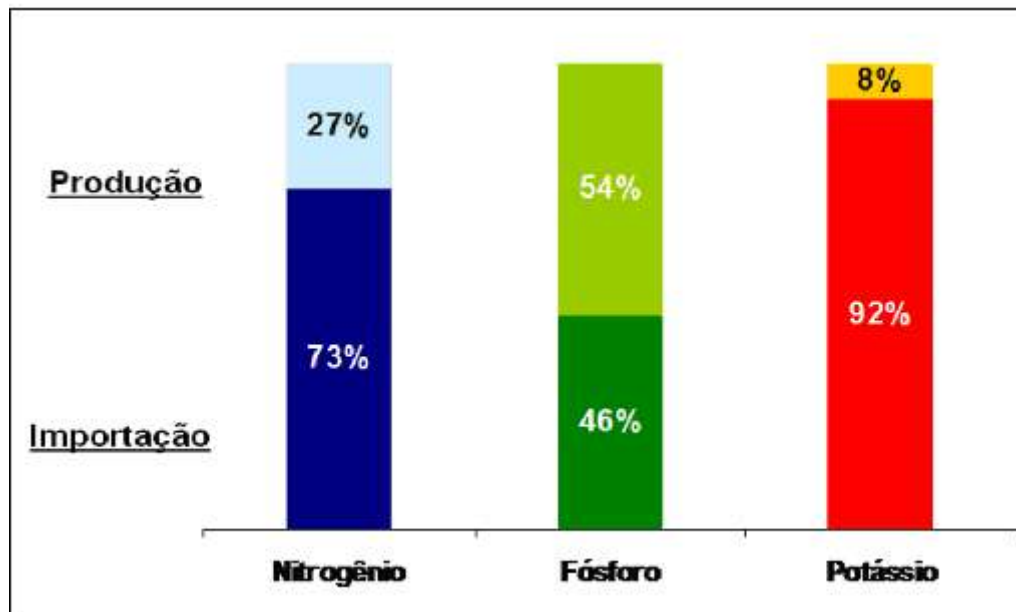


Figura 4- Consumo brasileiro de nutrientes no ano de 2008.

Fonte: ANDA e SIACESP, 2009.

O consumo mundial de fertilizantes NPK, em 2008, foi de aproximadamente 165,0 milhões de toneladas (Figura 5), sendo o consumo total de fertilizantes finais no Brasil, totalizado por quantidades dos três elementos contidos em nutrientes (NPK), de 9,4 milhões de toneladas (se totalizado por produtos seria de 22,4 milhões de t) (KULAIF, 2009). De acordo com os dados da ANDA, no ano de 2010, a quantidade de fertilizantes entregues ao consumidor final até novembro foi de 22,7 Mt (valor totalizado por produtos), alcançando crescimento de 8,5% em relação ao mesmo período de 2009, quando foram entregues 20,9 Mt.

Segundo ANDA (2010), a produção nacional de fertilizantes intermediários de janeiro-novembro/2010 somou 8,68 milhões de toneladas, contra 7,75 milhões de toneladas em 2009. Enquanto a produção dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados aumentou 5,6% e 10,8% respectivamente, os potássicos registraram queda de 7,6%. A taxa de crescimento do volume produzido é inferior à taxa de crescimento do consumo. A diferença foi suprida com importações que foram de 14,1 milhões de toneladas até novembro de 2010, enquanto que de janeiro a dezembro de 2009 as importações de fertilizantes intermediários foram de 11,0 Mt. Apenas 30% das matérias-primas e produtos intermediários são fabricados no país, sendo 70% suprido por importações (KULAIF, 2009).

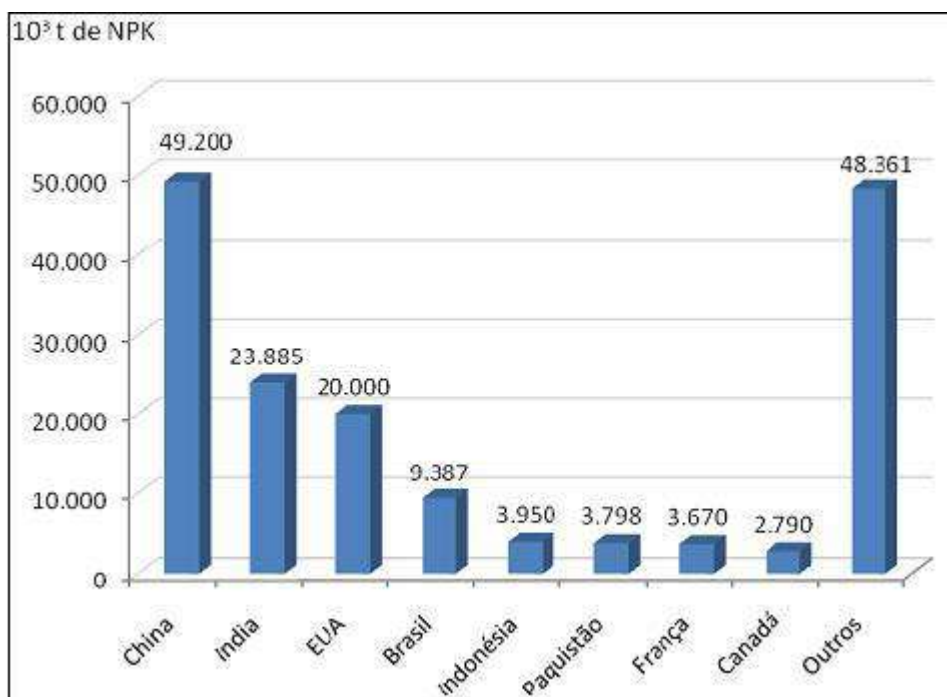


Figura 5- Consumo mundial de fertilizantes contido de nutrientes NPK em 2008.
Fonte: Kulaif, 2009.

Os fertilizantes fosfatados registraram queda, nas entregas, de 1,0%, passando de 3,18 milhões de toneladas em 2009 para 3,15 milhões de toneladas em 2010. Vale destacar que com o início do período de chuvas, as entregas para safra de verão apresentaram reversão do ritmo de queda, apontando para o trimestre setembro/novembro crescimento de 17,2% nas entregas de P_2O_5 , em relação ao mesmo período de 2009 (ANDA, 2010).

Em termos de nutrientes, as entregas de fertilizantes nitrogenados apresentaram evolução de 10,1%, passando de 2,34 milhões de toneladas em 2009 para 2,58 milhões de toneladas em 2010, em função do aumento de demanda para as culturas de cana de açúcar, algodão, café, milho e arroz (ANDA, 2010).

Os fertilizantes potássicos obtiveram um crescimento nas entregas de 21,4%, retomando patamares históricos, atingindo 3,56 milhões de toneladas em 2010 em relação ao volume de 2,93 milhões de toneladas em 2009. Na fórmula média, o teor de K_2O passou de 14,0% em 2009 para 15,6% em 2010 (ANDA, 2010).

A produção total brasileira (de matérias-primas e de produtos intermediários fertilizantes) é muito pequena, comparada ao consumo e à importação (Figura 6), que apresentam uma tendência de aumento a elevadas taxas anuais. Em valores monetários, as importações de matérias-primas e produtos intermediários NPK (fosfato, potássio e enxofre) atingiram, em 2008, US\$ 11,3 bilhões, quando em 2007 eram de US\$ 5,1 bilhões, ambas, cifras de grande expressão (ANDA, 2009, *apud* KULAIF, 2009).

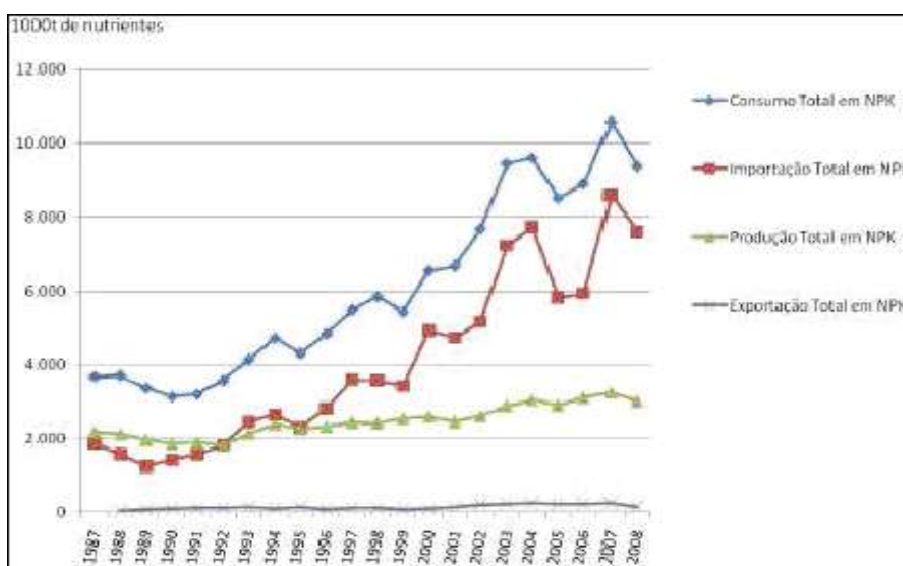


Figura 6- Consumo, importação, produção e exportação nacional de produtos da indústria de base de fertilizantes, em 1000 t de nutrientes (NPK).

Fonte: ANDA, 2009, *apud* Kulaif, 2009.

3.3- A Dinâmica dos Preços

O período de 2003 a 2008 (até outubro) foi caracterizado por um *boom* dos preços das *commodities* (Figura 7), quando recordes altista foram atingidos e sucessivamente ultrapassados, tendo, os preços do petróleo e dos metais aumentado em média 200%, enquanto os preços do enxofre e da rocha fosfática subiram 2.250% e 550%, respectivamente (RODRIGUES, 2009, *apud* KULAIF, 2009).

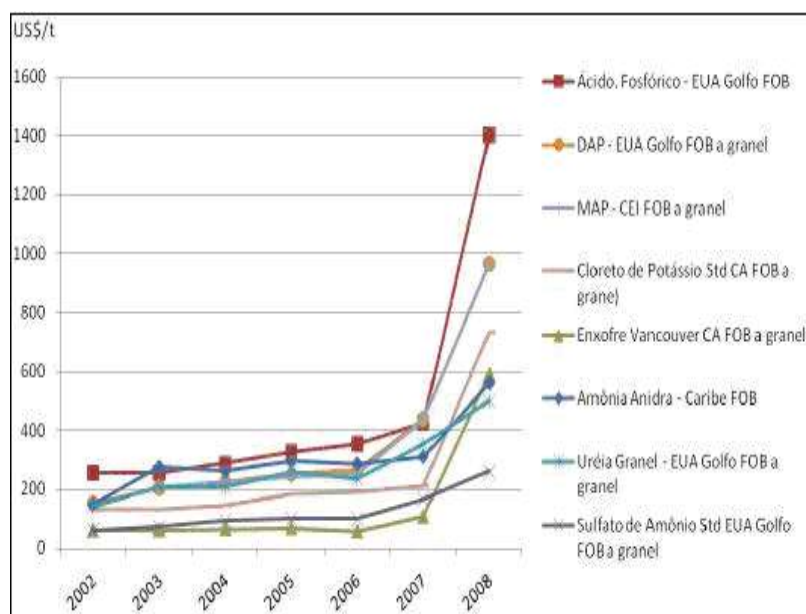


Figura 7- Preços das principais commodities dos fertilizantes fosfatados – históricos (2002-2005) e em forte ciclo ascendente (2006 a julho de 2008).
 Fonte: Kulaif, 2009.

A partir de outubro de 2008, porém, houve o movimento em sentido contrário, um forte fluxo descendente dos preços, devido à crise de 2008(Figura 8).

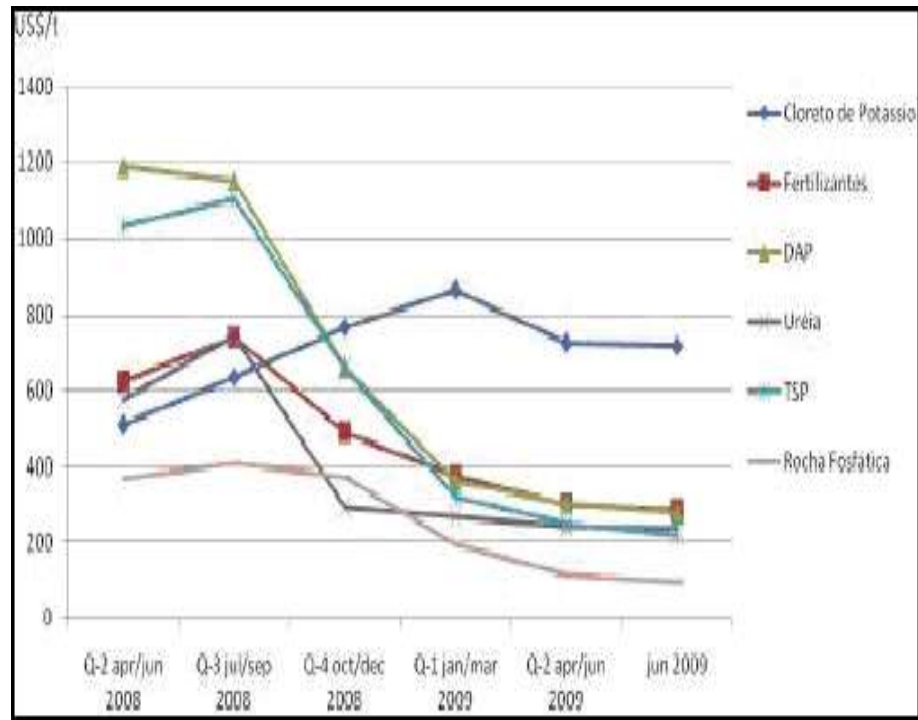


Figura 8- Os preços das principais commodities da cadeia do NPK, em 2008 e 2009.

Fonte: BM (2009b), Commodity Price Data, Development Prospects Group, *apud* Kulaif, 2009.

Diferentemente do que aconteceu em 2009, os preços dos fertilizantes aumentaram no fim de 2010. Os estoques de matérias-primas intermediárias para a produção de fertilizantes disponíveis nas indústrias encerraram 2010 em um patamar ligeiramente inferior ao de 2009. Ainda que a diferença apurada seja mínima (0,5%), o resultado consolidou a recuperação do segmento depois da crise de 2008. A expectativa é de que 2011 seja mais um ano de crescimento, sobretudo em virtude dos preços elevados, nos mercados internacional e nacional, da maior parte das *commodities* agrícolas produzidas no país, em um movimento que também tem valorizado as cotações do próprio insumo, que depende de derivados do nitrogênio e, por isso, guarda estreita relação com as oscilações do petróleo (LOPES, 2011).

No período de alta de preços, a demanda mundial pelos principais macronutrientes da agricultura teria inesperadamente crescido mais do que a produção mundial ofertada desses elementos, impulsionando seus preços para cima. Existiria então escassez de oferta, com dificuldade de resposta a uma demanda aquecida e acrescida por fertilizantes. No crescimento acelerado da procura por fertilizantes, principalmente dos países emergentes estaria a grande razão para a subida dos preços das *commodities* agrominerais. As oscilações dos preços dos fertilizantes também estão diretamente relacionadas à oscilação dos preços dos recursos

naturais não renováveis (KULAIIF, 2009). O consumo global de fertilizantes aumentou aproximadamente 31% no período de 1996 a 2008, impulsionado por um aumento de 56% da demanda nos países em desenvolvimento (NOGUEIRA, 2008).

No Brasil o aumento dos preços de fertilizantes reflete o fato de que o mercado internacional destes produtos também se encontra aquecido provocando a escassez, devido à demanda crescente por alimentos e biocombustíveis que estimulou produtores de todas as regiões a plantar mais, consumindo assim mais fertilizantes. Conseqüentemente, as fábricas e minas de fertilizantes mundiais não conseguiram acompanhar o ritmo de crescimento da demanda por adubos. Todos estes fatores somados levaram ao aumento do preço por estes produtos (NOGUEIRA, 2008).

3.4- Desafios e Oportunidades para o Mercado Brasileiro

A dependência das importações no setor brasileiro de fertilizantes, em um cenário internacional de escassez, tem provocado um debate interno sobre novas políticas públicas e estratégias privadas para melhorar o funcionamento desse mercado (NOGUEIRA, 2008). O Brasil possui recursos naturais para garantir o suprimento futuro de alimentos no mundo, mas para que isto ocorra, é necessário superar alguns desafios.

A ampliação da produção de fertilizantes enfrenta restrições ambientais, por este motivo é necessário a identificação dos prováveis impactos ambientais negativos que podem representar obstáculos à viabilização de empreendimentos nas fases de mineração, beneficiamento e industrialização, é importante identificar ações e medidas capazes de atenuar este efeito (DIAS & LAJOLO, 2010).

Outro grande desafio enfrentado pela indústria de fertilizantes é a cobrança de tributos e taxa de câmbio alta, sendo assim, desfavorável à competitividade. Existem várias barreiras, dificultando a viabilidade econômica de novos projetos de unidades industriais.

A infraestrutura precisa de maiores investimentos, de melhorias e criação de portos, ferrovias e aumento da capacidade de armazenagem. Existe a necessidade de ações e políticas concretas de governo, em conjunto com o empresariado nacional (RODRIGUES, 2009, *apud* KULAIIF, 2009).

De acordo com estudos realizados por Kulaif (2009), a projeção do consumo de fertilizantes até 2030 em um cenário vigoroso (crescimento do PIB de 4,6% a.a.), mostra que o consumo mais do que duplica.

O setor brasileiro de fertilizantes possui boas oportunidades de crescimento, o país reúne as maiores áreas agrícolas disponíveis, bem como 20% do volume de água doce do mundo, existindo efetivas possibilidades do Brasil se tornar o maior produtor de grãos, carnes e biocombustíveis do mundo.

Para que tal ocorra é necessário medidas como o aumento da produção de fertilizantes NPK, com implantação de novos projetos, desenvolvimento tecnológico com pesquisas de novas rotas de processos, desenvolvimento de circuitos alternativos, aproveitamento de subprodutos e técnicas de rochagem como alternativa aos fertilizantes convencionais.

4- TÉCNICAS DE ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA AOS FERTILIZANTES CONVENCIONAIS

Na restauração de solos degradados e lixiviados aos mesmos níveis de nutrientes de solos naturais altamente férteis é necessário devolver a estes solos pobres em nutrientes seus compostos inorgânicos perdidos. A natureza repõe estes nutrientes periodicamente por meio de muitos processos geológicos. Esta reposição de nutrientes perdidos pelo solo também pode ser feita pelo homem utilizando rochas locais ricas em nutrientes (LEONARDOS *et al.*, 2000).

Segundo Leonardos *et al.* (2000), rochas foram aplicadas com sucesso em terras escocesas cultivadas por James Hutton, o fundador da Geologia Moderna. Dezenas de estudos teóricos e experimentais foram realizados na África, América do Norte e América Latina, que tiveram sucesso suportando a idéia de utilização de rochas nativas como fertilizantes. No Brasil, os dados existentes (LEONARDOS *et al.*, 1976, 1987 e FYFE *et al.*, 1983) mostram uma grande variedade de rochas locais que podem ser aplicadas com sucesso.

Os solos tropicais apresentam baixa fertilidade inerente. Esta situação é comum nos solos brasileiros e contribui para a baixa sustentabilidade no setor agrícola do Brasil. Enquanto o uso da terra na agricultura aumentou 76% em 27 anos, o uso de agroquímicos tóxicos aumentou 276% (STRAATEN, 2002, *apud* THEODORO & LEONARDOS, 2006).

Visando contribuir na reversão deste quadro de insustentabilidade na agricultura diminuindo a aplicação de agrotóxicos, bem como a importação de fertilizantes industriais utiliza-se a rochagem (*rock for crops*). Este é um termo que deriva de rocha e significa a aplicação direta, na agricultura, de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante de aplicação direta. É um processo de fertilização do solo, também designado por petrofertilização (LUZ *et al.*, 2010).

Esta técnica se apresenta como uma alternativa vantajosa economicamente e ambientalmente, na remineralização dos solos ou como fonte de nutrientes para solos pobres ou degradados, beneficiando principalmente os pequenos e médios agricultores, pois é uma técnica de baixo custo e natural.

4.1- Fontes de Fertilizantes Alternativos

De acordo com estudos de Leonardos *et al.* (1987), são muitas as rochas e minerais que podem ser utilizados como fonte alternativa de nutrientes para as plantas, mas devem ser

aplicadas de acordo com a necessidade e características de cada tipo de solo, levando-se em consideração o clima e cultura a ser cultivada e em quantidades adequadas.

Neste tópico serão listadas algumas rochas e minerais que podem ser significativos na remineralização dos solos (Tabela 2). Outras possíveis fontes alternativas de nutrientes podem ser os rejeitos e resíduos de minas de minerais não-metálicos e pedreiras (produção de brita, rochas ornamentais) (LUZ *et al.*, 2010).

Tabela 2
Tipos de rochas e minerais fontes de nutrientes.

Rochas/Minerais	Nutrientes
Rochas Básicas (Basalto, Anfibólito, Clorita Xisto)	Ca, Mg, S, P, K
Granitos e Gnaisses	K e outros
Basalto/Gabro	Mg, Ca, etc.
Carbonatito	Ca, Mg, P, K
Rochas Ultrabásicas Alcalinas Leucíticas	K, Mg, Ca, e outros
Kimberlito	K, Mg, e outros
Rochas Silicáticas Alcalinas (Sienitos e Nefelina Sienitos)	K e outros
Mármore	Ca, Mg
Calcários (Calcítico e Dolomítico)	Ca, Mg
Riolitos/Riodacitos	P, K
Zeólita	Mg, Ca, K
Apatita/Fluorapatita	P
Gipsita	S, Ca
Feldspatos/Argilominerais/Piroxênios/Anfibólios/Vermiculita/Biotita	K e outros
Fonolito	K, Mg, Ca e outros

Fonte: Leonardos *et al.* (1987); Luz *et al.* (2010).

4.2- Ensaios Experimentais com Aplicação de Pó de rocha

Diversos trabalhos foram realizados com o objetivo de analisar o potencial do emprego do pó de rocha na remineralização, recuperação e fertilização de solos pobres em nutrientes. Neste tópico serão expostos ensaios executados com a finalidade de avaliar o potencial de rochas como fertilizantes naturais.

4.2.1- Aplicação de rochas vulcânicas ultramáficas como fonte de P e K

Experimentos foram realizados por Theodoro & Leonardos (2006), com o objetivo de aplicação de rochas locais em assentamentos agrários, em comparação com os fertilizantes NPK e nenhum fertilizante. Foram selecionadas rochas vulcânicas ultramáficas

ultrapotássicas da Mata da Corda em Minas Gerais (GIBSON *et al.*, 1995, *apud* THEODORO & LEONARDOS, 2006).

A mineralogia destas rochas era composta por grandes cristais de olivina e flogopita em uma matriz de olivina, diopsídio, flogopita, peroviskita, richterita, kalsilita, apatita, melilita e zeólitas. Em geral são rochas contendo de 29,91% a 36,11% de sílica, alta concentração de magnésio (cerca de 16,8%), potássio (7,0%) e fósforo (5,0%) (MORAES *et al.*, 1988; LEONARDOS & MEYER, 1991; GIBSON *et al.*, 1995, *apud* THEODORO & LEONARDOS, 2006).

Foram selecionadas oito áreas pilotos para os experimentos. Os testes foram realizados em culturas sazonais como milho, melancia, cana-de-açúcar, mandioca e arroz com aplicação de 2,5 a 3 t/ha de rocha ao longo da plantação e mantendo a dimensão de 0,5 ha para cada parcela experimental. Os resultados obtidos na análise química de rochas vulcânicas da Mata da Corda encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3
Análise química da amostra 3B.

Amostras	3B
SiO ₂	30,18
TiO ₂	6,16
Al ₂ O ₃	6,98
Fe ₂ O ₃	14,09
FeO	0,77
MnO	0,20
MgO	10,22
CaO	7,16
Na ₂ O	<0,5
K ₂ O	2,13
P ₂ O ₅	2,37

Fonte: Theodoro & Leonardos, 2006, modificado.

Nota: Óxidos de elementos maiores são expressos em peso%.

A fertilidade do solo também foi analisada a partir das amostras de rochas da Mata da Corda e seu resultado é apresentado na Tabela 4. Com base nos dados das Tabelas 3 e 4, a amostra 3B foi selecionada como melhor material para ser usado nas plantações por apresentar alta concentração de P₂O₅ (2,37%), MgO (10,22%), K₂O (2,13%), baixa concentração de Al₂O₃ (6,98%) e Fe₂O₃ (14,09%), alta perda de ignição (19,47%), o que

indica alto conteúdo de montmorilonita/nontronita/vermiculita e alto pH. Estes dados ajudaram a comprovar a solubilidade do pó de rocha (THEODORO & LEONARDOS, 2006).

Tabela 4
Análise da fertilidade do solo de amostra 3B.

Amostra	pH	Al Meq/100cc	Ca+Mg Meq/100cc	P (mg/l) ppm	K(mg/l) ppm	Sat. Al (%)
3B	5,97	0,05	57,9	3038	188	0

Fonte: Theodoro & Leonardos, 2006, modificado.

A análise de acompanhamento da fertilidade do solo foi realizada por cinco anos completos em quatro áreas denominadas 19, 21, 79 e 129, nas outras quatro áreas o acompanhamento foi limitado e descontínuo. Os resultados estão apresentados na Tabela 5 (THEODORO & LEONARDOS, 2006).

Tabela 5
Análise da fertilidade do solo de amostras de solos antes e depois da aplicação do pó de rocha.

Área	Parâmetros	Antes da aplicação da rocha	Após 1ºsafra	Após 2ºsafra	Após 5 anos
19	pH	5,20	5,90	5,6	6,5
	Al Meq/100cc	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ca+Mg Meq/100cc	2,7	5,6	5,6	3,6
	P (mg/l) ppm	3	40	52	10
	K(mg/l) ppm	9	79	108	17,7
	Sat. Al (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
21	pH	3,76	6,40	5,5	4,8
	Al Meq/100cc	1,75	0,0	0,0	0,0
	Ca+Mg Meq/100cc	0,5	7,2	5,8	0,5
	P (mg/l) ppm	3	3,39	271	25
	K(mg/l) ppm	31	85	57	15
	Sat. Al (%)	75	0,0	0,0	1,2

Fonte: Theodoro & Leonardos, 2006.

Tabela 5
Análise da fertilidade do solo de amostras de solos antes e depois da aplicação do pó de rocha (continuação).

79	pH	3,6	7,3	7,4	6,5
	Al Meq/100cc	3,25	0,0	0,0	0,0
	Ca+Mg Meq/100cc	0,4	10,3	10,6	4,2
	P (mg/l) ppm	0	11	21	8,2
	K(mg/l) ppm	15	132	81	15
	Sat. Al (%)	88	0,0	0,0	0,0
129	pH	4,36	5,5	5,5	4,7
	Al Meq/100cc	1,0	0,0	0,0	0,0
	Ca+Mg Meq/100cc	0,7	3,9	3,7	2,2
	P (mg/l) ppm	9	77	47	35,5
	K(mg/l) ppm	93	167	93	19
	Sat. Al (%)	52	0,0	0,0	0,0

Fonte: Theodoro & Leonardos, 2006.

4.2.2- Ensaios Experimentais Realizados em Brasília

A Universidade de Brasília realizou ensaios experimentais em recipientes e em campo de solos lateríticos, com o objetivo de testar materiais de rocha local que já se encontrava disponível como subproduto residual de indústrias extrativas.

O pó de rocha era de três tipos: (I) basaltos pigeoníticos; (II) muscovita-biotita-clorita-carbonato xisto e (III) fonolito. Fertilizante NPK, rocha fosfática, micronutrientes e calcário dolomítico foram utilizados nos experimentos para fins comparativos (LEONARDOS *et al.*, 1987).

4.2.2.1- Experimento em recipiente com cultivo de feijão

Os ensaios foram realizados em estufa, onde 126 recipientes foram preenchidos com 12 kg de solo laterítico virgem da fazenda da Universidade tomados em profundidades de 10 a 30 cm. O projeto experimental envolveu 42 tratamentos, como pode ser observado na tabela 6, cada tratamento foi repetido três vezes (LEONARDOS *et al.*, 1987).

Os experimentos tiveram os seguintes materiais aplicados: N- nitrato de amônia (N=35%); 84,5 kg/ha ou 0,32 g/recipiente. P- superfosfato triplo; 174 kg/ha ou 1 g/recipiente. K- cloreto de potássio; 100 kg/ha ou 0,5 g/recipiente (LEONARDOS *et al.*, 1987).

Tabela 6
Média de peso (em gramas) de massa por tratamento.

Tratamento	(a) sozinho		(b) com calcário dolomítico		(c) com basalto	
	1º safra	2ª safra	1º safra	2ª safra	1º safra	2ª safra
000	8,0	1,6	5,7	2,8	12,0	3,3
N00	3,3	1,2	3,7	1,8	11,3	1,8
N0K	4,3	1,6	3,0	1,7	9,3	3,7
N0K _A	5,0	2,2	6,0	3,5	20,0	4,2
N0K _C	11,0	2,3	10,0	2,8	8,3	2,5
NP0	109,3	9,8	96,7	9,9	259,3	36,5
NP _E 0	47,3	14,8	44,6	17,5	47,6	14,0
NP _E K	53,0	12,3	50,0	17,0	55,0	15,3
NP _E K _A	41,0	16,1	34,0	14,3	39,2	21,8
NP _E K _C	45,5	24,6	43,7	27,3	35,0	16,0
NPK	136,7	15,7	170,3	17,5	223,0	43,5
NPK _A	126,0	16,6	144,3	18,0	259,6	80,0
NPK _C	249,3	27,8	260,3	40,5	308,3	48,8
NPK + m	116,3	8,0	150,2	11,7	260,6	56,5

Fonte: Leonardos *et al.*, 1987.

Nota: P_E= rocha fosfática Araxá (P₂O₅~28%) 28 kg/ha ou 1,42 g/recipiente; K_A=fonolito (K₂O=5%) 60 kg K₂O eq./ha ou 6 g/recipiente; K_C=mica xisto (K₂O=3,5%) 60 kg K₂O eq./ha ou 8,75 g/recipiente; m= micronutrientes, 50 kg/ha; (b) = calcário dolomítico- 6 t/ha ou 30 g/recipiente; (c) = basalto- 6t/ha ou 30 g/recipiente.

Os resultados preliminares, mostrados na Tabela 6, indicam um efeito positivo do pó de rocha no crescimento das plantas de feijão. Os tratamentos com maiores valores registrados foram: NPK_C(c), NPK + m(c), NPK_C(b), NPK_A(c), todos com valores muito maiores que o tratamento somente com NPK (a) que mostrou um efeito residual consideravelmente menor do que os tratamentos com rocha.

O aumento da produtividade devido à calagem foi consideravelmente menor do que usando o basalto, pois no basalto os nutrientes se encontram mais disponíveis. O basalto dentre os outros tipos de rochas obteve os melhores resultados, seguido por mica xisto. Apesar do grande efeito residual, fonolito não mostrou um efeito muito significativo, provavelmente devido à presença de K no solo e o fato de que o feijão não exige uma grande quantidade de potássio. Os resultados também mostram que o feijão não pode crescer em um solo laterítico virgem, sem repor os nutrientes (LEONARDOS *et al.*, 1987).

4.2.2.2- Experimentos em recipientes com cultivo de capim *napier*

Segundo Leonardos *et al.* (1987), o experimento é realizado em estufa com o objetivo de avaliar o efeito de uma série de tipos de rocha e do vidro silicato-fosfato de Fyfe *et al.* (1978) quando adicionados ao solo laterítico. Um total de 27 recipientes foram preenchidos com 12 kg de solo, divididos em nove diferentes tratamentos com três repetições. Somente para o tratamento três, superfosfato foi adicionado; em todos os outros tratamentos, o fosfato foi adicionado como rocha sedimentar fosfática (P-rocha) de Patos de Minas.

As rochas foram aplicadas em doses equivalentes a 3 t/ha. Nos tratamentos 4, 5 e 6, doses de 5 t/ha também foram aplicadas (resultados entre parênteses). Rocha sedimentar fosfática e vidro foram usados em quantidades de 1 t/ha, e o superfosfato em 300 kg/ha. Os resultados da Tabela 7 referem ao peso cumulativo de capim (massa verde) coletado a cada três meses por um período de um ano.

Tabela 7
Média de peso de capim tratado com rocha e vidro.

Tratamento	Descrição	Peso (g)	Aumento de massa em relação a 1 (%)
0	Solo sem adição	63,5	—
1	Rocha P	80,4	0
2	Calcário+rocha P	100,9	17
3	Calcário + superfosfato	102,7	19
4	Verdete+ rocha P	93,3 (105,4)	9
5	Olivina basalto + rocha P	94,1 (100,9)	10
6	Mica xisto + rocha P	104,2 (103,5)	20
7	Migmatito + rocha P	112,5	29
8	Vidro	144,1	75

Fonte: Leonardos *et al.*, 1987.

Nestes experimentos, rochas produziram ganhos de 10-29%, enquanto o vidro fosfato mostrou um aumento de 75%. A mudança de rocha fosfática para superfosfática e o aumento de dosagem de 3 para 5 t/ha não mostraram ganhos significativos na massa de capim.

4.2.2.3- Experimento de campo com *Eucalyptus pellita*

O ensaio foi realizado dentro de um experimento de reflorestamento realizado pelo Departamento de Agricultura da Universidade de Brasília na fazenda experimental de Água Limpa. O experimento ocupa uma pequena parcela onde 12 linhas, de nove eucaliptos, foram

plantadas. A parcela consiste de quatro tratamentos, cada uma com 27 plantas distribuídas em três ensaios (LEONARDOS *et al.*, 1987).

No tratamento 1 (NPK) foi ministrado 170 g de NPK (5-10-2) por buraco. No tratamento dois (basalto), foi utilizado 2 kg de pó de rocha. No tratamento três foi utilizado calcário (2 kg) + NPK e tratamento quatro, basalto + NPK. Os resultados foram plotados na Figura 9, estes mostram que o uso do basalto sozinho produz ganhos maiores que o NPK (LEONARDOS *et al.*, 1987).

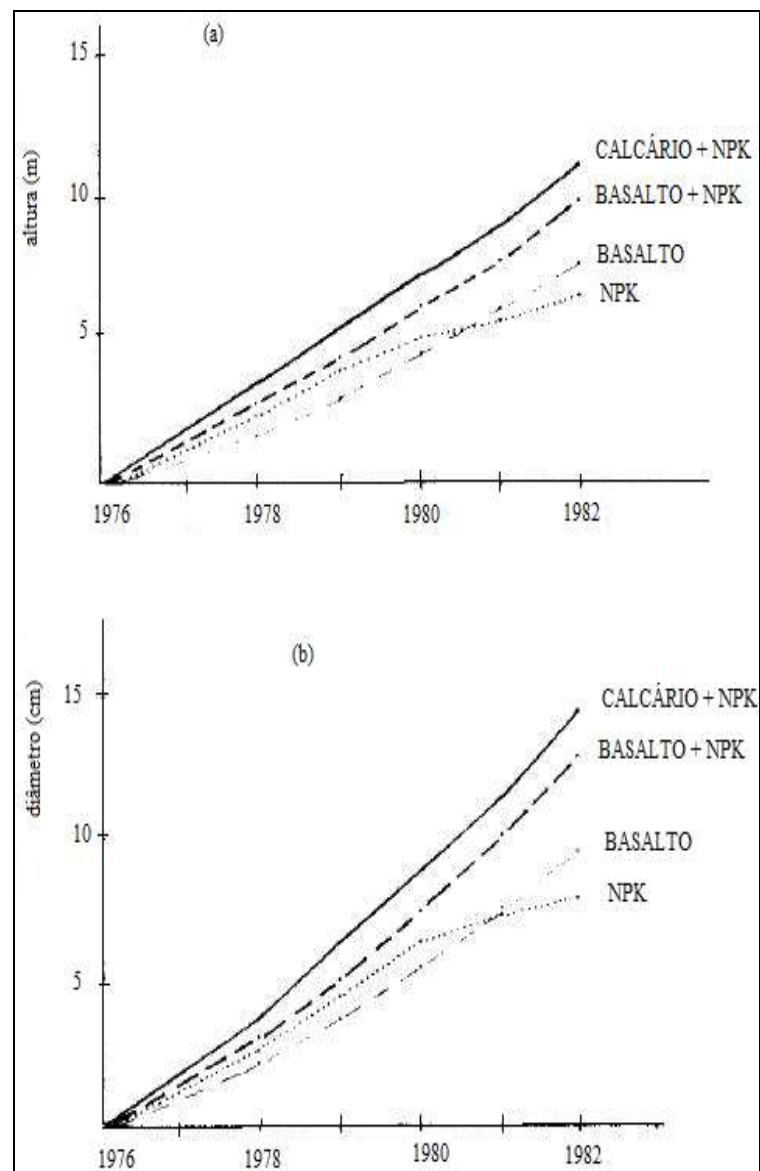


Figura 9- Altura (a) e diâmetro padrão (b) de árvores *Eucalyptus* em função da idade e tratamento.

Fonte: Leonardos *et al.*, 1987.

Através do estudo dos experimentos expostos, pode ser concluído que o uso de petrofertilizantes consistindo de mistura de rochas ou vidros derivados de rocha fornece uma inteligente alternativa para a agricultura em solos lateríticos promovendo a conservação do solo e aumento da produtividade.

5- POTENCIAL DE ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS AOS FERTILIZANTES CONVENCIONAIS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

O estado do Rio de Janeiro, situado na Região Sudeste, possui uma área de 44.268 km². A Figura 10 apresenta o mapa do Estado do Rio de Janeiro, com as principais rodovias de acesso, cidades mais importantes e estados limítrofes.



Figura 10- Localização geográfica do estado do Rio de Janeiro.
Fonte: DRM, 2009.

5.1- Geologia do Estado do Rio de Janeiro

O estado do Rio de Janeiro está geotectonicamente contido na Província Mantiqueira. O arcabouço geotectônico da Região Sudeste do Brasil é formado por um núcleo estável no Neoproterozóico, designado de Cráton do São Francisco (CSF) (ALMEIDA 1977, 1981, *apud* SILVA & CUNHA, 2001), circundado por orógenos instalados no Neoproterozóico, durante a Orogênese Brasileira/Pan-Africana. Esses orógenos foram inicialmente designados de Faixa

Brasília a oeste, Faixa Ribeira a sul-sudeste e Faixa Araçuaí a leste. A compartimentação tectônica dos terrenos que compõem a geologia deste estado está vinculada à evolução tectono-metamórfica da Faixa Ribeira (SILVA & CUNHA, 2001).

O estado do Rio de Janeiro pode ser dividido em três domínios tectono-magmáticos, são eles: Domínio Juiz de Fora/Paraíba do Sul; Domínio Serra do Mar e Domínio Região dos Lagos.

A geologia do Rio de Janeiro é composta principalmente de rochas para e orto derivadas de idade principalmente Proterozóica, ocorre também rochas ígneas graníticas e alcalinas além das rochas sedimentares presentes nas Bacias Terciárias (Anexo 1).

Arqueano

- Complexo Mantiqueira

Segundo Silva & Cunha (2001), o embasamento retrabalhado dos metassedimentos meso-neoproterozóicos no noroeste do estado é composto por ortognaisses e tonalíticos bandados do Complexo Mantiqueira de idade arqueana.

Sua ocorrência é restrita ao extremo-noroeste do estado, próximo às divisas com os estados de Minas Gerais e São Paulo. Sua área de exposição é muito restrita, com cerca de 35km de comprimento na direção NE-SW por 4km de largura. Acha-se intercalado em metassedimentos do Complexo Embu, a sul, e do Grupo Andrelândia, a norte. A unidade é injetada pelos granitóides da Suíte Pedra Selada (SILVA & CUNHA, 2001).

Trata-se de hornblenda-biotita ortognaisses tonalíticos finamente bandados, com alternância de bandas quartzo-feldspáticas e bandas máficas. Intercalações métricas a decimétricas de anfibolitos, geralmente boudinados, são freqüentes, fornecendo à associação afinidades com os terrenos bimodais arqueanos, do tipo TTG (tonalitos-trondhjemitos-granodioritos) (SILVA & CUNHA, 2001).

Paleoproterozóico

- Complexo Região dos Lagos

É constituído por ortognaisses bandados/dobrados, de composição tonalítica a granítica, com abundantes paleodiques anfibolíticos deformados. Várias fases de granitóides

intrusivos não deformados cortam os gnaisses. Enclaves xenolíticos de metamargas ocorrem em áreas restritas. Em alguns locais encontram-se parcialmente fundidos, com geração de venulações graníticas sintectônicas à deformação regional. Constitui um extenso bloco na região centro-leste do estado, com cerca de 125km de comprimento, com largura variável de 50km no sul e mínima de 4km mais a norte. Petrograficamente são biotita-plagioclásio-microclina ortognaisses tonalíticos a graníticos, localmente com variações portadoras de hornblenda (SILVA & CUNHA, 2001).

- Complexo Juiz de Fora

Este complexo inclui ortognaisses tipo TTG (tonalitos-trondhjemitos-granodioritos) com intercalações de gnaisses máficos, toleíticos (гнаisses bimodais) e ortognaisses potássicos. Foram caracterizadas duas unidades informais: a primeira, dominante e metamorfizada em fácies granulito é constituída predominantemente de granodioritos/tonalitos a hornblenda-biotita- clino e ortopiroxênio, do tipo TTG; e a outra em fácies anfibolito compreende, basicamente, biotita-hornblenda ortognaisse de composição tonalítica a granodiorítica (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Quirino

A Suíte Quirino foi descrita nos arredores das cidades de Vassouras, Paracambi e Valença. Entre as zonas de cisalhamento Paraíba do Sul e Valença. Gnaisses correlatos afloram em uma extensa faixa de orientação geral NE-SW. O protólito dos gnaisses foi interpretado como ortoderivado e o caráter intrusivo destas rochas foi inferido a partir da observação de xenólitos de quartzitos, rochas calcissilicáticas e anfibolitos, muito semelhantes às encaixantes (Complexo Paraíba do Sul) (HEILBRON, 1993, *apud* SILVA & CUNHA, 2001).

A unidade é constituída de hornblenda gnaisses, hornblenda-biotita gnaisses e biotita granitóides homogêneos, localmente ocorrendo também anfibolitos (SILVA & CUNHA, 2001). As investigações geoquímicas realizadas nos ortognaisses da Unidade Quirino revelaram a existência de duas suítes cálcio-alcalinas: uma de médio- a alto-K e outra de alto K (VALLADARES *et al.*, 1997). Várias fases de granitóides intrusivos não deformados cortam os gnaisses.

Meso/Neoproterozóico

- Grupo Andrelândia

Constitui uma estreita faixa composta por metassedimentos de fácies anfíbolito, que ocupa o extremo NW do estado, junto à divisa com os estados de Minas Gerais e São Paulo. A faixa tem 32 km de comprimento, com largura variando de 4 a 10 km, estendendo-se para os dois estados limítrofes. São cianita-sillimanita-granada-biotita gnaisses, com intercalações de quartzito (SILVA & CUNHA, 2001).

- Complexo Embu

A caracterização original do Complexo Embu é devida a Hasui (1975) (*apud* SILVA & CUNHA, 2001). Ocorre na extremidade NW do estado, em uma extensa faixa de direção NE-SW, com 120km de comprimento e largura máxima de 16km no sul, estendendo-se daí para o estado de Minas Gerais. Apresenta importantes intercalações de granitos do tipo S. Outras intercalações correspondem a ortognaisses granulíticos do Complexo Juiz de Fora.

Foram reportados metassedimentos pelíticos, gnáissicos ou xistosos, com sillimanita e granada, rochas calcissilicáticas, gnaisses kinzigíticos, gnaisses semipelíticos e, subordinadamente, gonditos. Localmente ocorrem expressivos estratos de quartzitos feldspáticos grossos.

- Complexo Paraíba do Sul

Após a depuração conceitual e cartográfica foram definidas duas faixas principais de ocorrência do complexo. Na primeira, exposta nas regiões ocidental e norte do estado, estendendo-se desde a divisa com São Paulo até o Espírito Santo, foram distinguidas três unidades informais: São Fidélis, Italva e Itaperuna. A outra faixa, em trabalhos anteriores designada de Lumiar - Rio Bonito, com prolongamentos no sentido de Campos, está situada na região da Serra do Mar e contém litotipos aqui agrupados na Unidade São Fidélis. Várias lentes menos expressivas, em especial dessa última unidade, encontram-se dispersas em meio a rochas ortognaissicas, charnockíticas e granitóides, sendo uma das mais notáveis a definida na região da cidade do Rio de Janeiro. Na literatura mais moderna, há uma tendência à hierarquização da unidade como Grupo e a subdivisão da unidade aqui cartografada como

Complexo Paraíba do Sul em um Grupo Paraíba do Sul e um Grupo Italva (e.g. HEILBRON *et al.*, 2000, *apud* SILVA & CUNHA, 2001).

A Unidade São Fidélis consiste de granada-biotita-sillimanita gnaisses quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios anatéticos, *in situ*, ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaisses calcissilicático e quartzito são frequentes. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática e quartzito. Em raros domínios com baixas taxa de *strain* estruturas turbidíticas são preservadas. A Unidade Italva é caracterizada principalmente pela presença de mármore, que se encontram tectonicamente imbricados com granada-biotita-sillimanita gnaisses quartzo-feldspáticos, a quartzo-anfibólio-clinopiroxênio gnaisses (rochas calcissilicáticas). Machado Filho *et al.* (1983) (*apud*, TUPINAMBÁ *et al.*, 2007), separaram este conjunto do Complexo Paraíba do Sul e o batizaram de Grupo Italva. Segundo Tupinambá *et al.* (2007), o Grupo Italva é composto por um conjunto metavulcano-sedimentar, rico em mármore e anfíbolitos. A Unidade Itaperuna consiste de gnaisses quartzo-feldspático aluminoso a granada-biotita-sillimanita com ou sem ortopiroxênio eventualmente com intercalações de gnaisses calcissilicático (SILVA & CUNHA, 2001).

- Complexo Búzios

Segundo Silva & Cunha (2001), Fonseca *et al.* (1979) designaram de Sequência de Búzios aos paragnaisses deste complexo expostos no cabo Búzios. Neste trabalho tal unidade foi ampliada para NE, no sentido de Carapebus. Optou-se, também, por incluir no Complexo Búzios as rochas supracrustais da serra de Sapetiba (São Pedro d'Aldeia) e da região entre Maricá, Saquarema e Casimiro de Abreu. Essa porção do complexo foi designada anteriormente de Unidade Palmital (REIS, 1980, *apud* SILVA & CUNHA, 2001).

Rodrigues *et al.* (1997) (*apud* SILVA & CUNHA, 2001) caracterizaram em detalhe os paragnaisses de Búzios, identificando três associações litológicas: metapelítica, calcissilicática e anfíbolítica. A primeira consiste em sillimanita-biotita-xisto, sillimanita-cianita-K-feldspato gnaisses, biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses, granada-quartzo gnaisses e quartzito feldspático. A segunda compreende duas formas de ocorrência: níveis de até 20 cm de espessura, boudinados e intercalados nas associações pelítica e anfíbolítica, e níveis de biotita-diopsídio gnaisses com espessura de no máximo seis metros. A terceira associação é constituída de anfíbolito, diopsídio-anfibólio gnaisses e granada-anfibólio gnaisses.

Apesar do metamorfismo de alto grau, de acordo com Silva & Cunha (2001) foram descritas estruturas sedimentares bem preservadas em zonas de baixo *strain*. Em Cabo Frio

(forte São Mateus) alguns domínios gnáissicos são constituídos pela alternância de “bancos” de espessura decimétrica compostos por metarenitos feldspáticos e bancos de espessura centimétrica a decimétrica de metapelitos/grauvacas. Essas estruturas rítmicas representam depósitos turbidíticos metamorfizados. Os efeitos do metamorfismo de alto grau são sentidos de forma distinta, com as bandas pelíticas/grauvaqueanas geralmente mostrando efeito de fusão parcial, ao passo que as bandas quartzíticas foram poupadas do fenômeno. A esses níveis turbidíticos acham-se associados anfíbolitos, geralmente granadíferos, podendo representar horizontes vulcanoclásticos.

Neoproterozóico/Cambriano

- Complexo Rio Negro

Foram individualizadas duas unidades litoestratigráficas nesse complexo: Rio Negro e Duas Barras. A unidade Rio Negro, ocorre na forma de extenso e estreito envelope na porção mediana e meridional do Batólito Serra dos Órgãos, com direção NE-SW, e estende-se por cerca de 160 km, com média de 4 km de largura. É constituído por gnaisses bandados, de composição tonalítica e trondhjemítica (TTG), com texturas porfirítica recristalizada e augen (SILVA & CUNHA, 2001).

Os gnaisses mostram forte foliação de baixo a médio ângulo. Intercalações de metagabros, metaquartzo dioritos e paleodiques anfíbolíticos são comuns, enquanto que gnaisses granulíticos de composição enderbítica ocorrem localmente (гнаisses Archer e Tingüi). Intrusões e apófises de granitóides do Batólito Serra dos Órgãos, adjacente, e de leucogranitos S, são observadas. A unidade engloba também os seguintes plútons cronocorrelatos: Gnaisse Archer, Gnaisse Tingüi, Complexo Trajano de Moraes e Complexo Capim Angola (SILVA & CUNHA, 2001).

A unidade Duas Barras ocorre em duas faixas, a primeira com cerca de 120 km de comprimento e menos de 1 km de largura média que contorna a borda sul do Batólito Serra dos Órgãos. A segunda, situada na borda norte do batólito, na região de Duas Barras, tem cerca de 35 km de comprimento por 1-2 km de largura aflorante. É uma fácies homogênea, foliada, de granulação grossa, porfirítica e de composição tonalítica a trondhjemítica, injetada por leucogranitos tipo S. Trata-se de uma suíte expandida, de composição variando de metagabro a hornblenda-biotita metagranodiorito, predominando amplamente os termos tonalíticos. Os metagabros e dioritos são cálcio-alcalinos e apresentam texturas cumuláticas

(TUPINAMBÁ, 1999, *apud* SILVA & CUNHA, 2001); variam de foliados a isotrópicos, e são associados à trondhjemitos, eventualmente com assimilação, representando material juvenil de arco magmático.

- Leucogranito Gnaiss Serra do Paquequer

Essa unidade foi originariamente descrita por Barbosa & Grossi Sad (1985) (*apud* SILVA & CUNHA, 2001), como Gnaiss Granitóide da unidade Rio Negro. Os trabalhos sistemáticos de mapeamento desenvolvidos por Silva & Cunha (2001) levaram à correlação dessa unidade com os leucognaisses descritos como Unidade Bom Jardim, da Suíte Serra dos Órgãos (TUPINAMBÁ, 1999) (*apud* SILVA & CUNHA, 2001). Conseqüentemente, ambas as unidades são aqui tratadas conjuntamente, sob a designação de Leucogranito Gnaiss Serra do Paquequer.

Ocorre na forma de diversas lentes com até 20 km de comprimento por 2-4 km de largura, nas porções central e norte do Batólito Serra dos Órgãos, estendendo-se até a cidade de Cantagalo. Nessa última localidade está associado aos paragnaisses parcialmente fundidos do Complexo Paraíba do Sul, sua mais provável rocha-fonte. A discriminação cartográfica dessa unidade é ainda precária, necessitando de trabalhos adicionais para sua melhor caracterização. São leucogranitóides tendo muscovita como principal acessório, ocorrendo ainda biotita, granada, sillimanita e localmente, relictos de anfibólio. Lentes de mármore e megablocos de restitos paragnáissicos bandados e parcialmente fundidos (estruturas migmatíticas) ocorrem freqüentemente. Tais características sugerem sua classificação como granito do tipo S (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Serra dos Órgãos

Trata-se do maior batólito granítico exposto no estado, apresentando uma forma extremamente alongada, com cerca 140 km de comprimento por 20 km de largura média. O batólito é envolvido nas bordas W e S pelos ortognaisses do Complexo Rio Negro, no qual é intrusivo, e na borda norte pelo Leucogranito Gnaiss Serra do Paquequer. Na porção nordeste é intrusivo nos paragnaisses do Complexo Paraíba do Sul (SILVA & CUNHA, 2001).

Silva & Cunha (2001), devido à falta de detalhamento cartográfico suficiente, optaram por discriminar da unidade principal (Unidade Serra dos Órgãos), uma fácies marginal do batólito (Unidade Santo Aleixo), onde a fácies regional, de composição granodiorítica, é muito enriquecida em xenólitos das supracrustais encaixantes (parcialmente fundidos), constituindo um migmatito.

Não são raros, nos hornblenda granodioritos regionais, porfiroblastos pós-tectônicos de granada crescidos às expensas da assimilação dos gnaisses aluminosos. Somente através de mapeamento de semidetalhe será possível obter-se uma discriminação cartográfica consistente para essas porções do batólito. Injeções de leucogranito S ocorrem com frequência.

A Unidade Serra dos Órgãos é constituída de hornblenda-biotita granitóide de granulação grossa e composição expandida de tonalítica a granítica, de composição cálcio-alcalina, possui texturas e estruturas magmáticas preservadas com foliação tangencial em estado sólido superimposta. Localmente podem ser observados enclaves e paleodiques anfibolíticos. A Unidade Santo Aleixo, fácies marginal do Batólito Serra dos Órgãos, é constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragnaisse parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção). Intrusões tardias de leucogranito tipo-S são comuns (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Desengano

Ocorre na região nordeste do estado, estendendo-se na direção NE por cerca de 200 km, desde Niterói até as proximidades de Italva. É composto por cerca de uma dezena de lentes estreitas (1-4 km) e alongadas (até 100 km) inseridas nos paragnaises pelíticos e grauvaqueanos do Complexo Paraíba do Sul. Na suíte foram englobados os granitos Santa Tereza, Quartéis, Carapebus, Serra da Concórdia e Cassarotiba. É constituída de granito tipo-S com granada, muscovita e biotita de granulação grossa, texturas granoblástica e porfirítica (augen) com forte foliação transcorrente. Localmente podem ser observados domínios e "manchas" charnockíticas portadoras de granada e ortopiroxênio. Xenólitos e restitos de paragnaises parcialmente fundidos (migmatitos de injeção) ocorrem com frequência (SILVA & CUNHA, 2001).

-Suíte Rio de Janeiro

A Suíte Rio de Janeiro, como originariamente definida por Silva (1999) (*apud* SILVA & CUNHA, 2001), inclui granitóides foliados e ortognaisses, predominantemente peraluminosos, caracterizados como de derivação crustal (granitos tipo-S): granitos Pão de Açúcar, Corcovado e Cosme Velho. Ocupa a maior extensão da região metropolitana do Rio de Janeiro, estendendo-se daí por cerca de 20 km na direção NE, com uma largura de cerca de 10 km.

Os granitos Pão de Açúcar e Corcovado são plútons foliados, com forte e contínuo, *fabric* tangencial. A fácies dominante é o Granito Corcovado, caracterizado por biotita e granada como acessórios principais. O Granito Pão de Açúcar é uma fácies subordinada, tendo biotita, e localmente hornblenda, como principais acessórios. Bolsões e manchas irregulares, portadoras de ortopiroxênio, ocorrem em alguns domínios. O leucogranito gnáissico Cosme Velho é um leucogranito tipo-S com muscovita, granada e biotita, de granulação média, textura granoblástica e forte foliação tangencial. Xenólitos e restitos de paragnaisses são comuns.

- Suíte Bela Joana

Ocorre sob a forma de dois corpos alongados, de direção NE-SW, situados nos quadrantes norte e nordeste do estado. Consistem em granitóides, freqüentemente porfiríticos, com fenocristais euédricos de feldspato, sendo constituídos de quartzo, feldspato, orto e clinopiroxênio em pequenos prismas, granada e pouca biotita, apresentando, próximo aos contatos, foliação cataclástica que imprime uma textura gnáissica. Petrograficamente, os termos mais freqüentes são os charnoenderbitos com variações para charnockitos e noritos (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Ilha Grande

Sua ocorrência é restrita ao litoral sudoeste do estado. Na Ilha Grande constitui um plúton com 20 km de comprimento por 6 km de largura, alternado com faixas paralelas de granitóides da Suíte Serra dos Órgãos. No continente constitui um corpo com 24 km de comprimento por 2 km de largura intercalado nos metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul, e uma ocorrência menor (7 km x 2 km) no pontão W da restinga de Marambaia. As

rochas dessa suíte são composicionalmente indistinguíveis da Suíte Bela Joana, a não ser pela presença mais rara de granada. Inclui variações de charnockito a enderbito, passando por quartzo monzonito. Representam variedades de granitos tipo-C, conforme admitido para a Suíte Bela Joana, com os quais são correlacionados (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Natividade

A unidade tem ocorrência restrita ao extremo noroeste do estado na forma de diversos corpos alongados segundo a direção NE. Os plútons estão alojados nos metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul. A Suíte Natividade constitui em hornblenda-biotita granito e granodiorito, foliado, porfiríticos, associado a domínios peraluminosos de leucogranito tipo-S (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Angelim

Tal como os demais granitóides do regime colisional, essa suíte ocorre em lentes alongadas na direção NE e encaixadas nas supracrustais do Complexo Paraíba do Sul. A faixa principal estende-se das proximidades de São José do Ribeirão até as proximidades da divisa com o Estado do Espírito Santo. Outra lente menor ocorre a norte da serra de Santo Eduardo, estendendo-se daí para o norte e ultrapassando o limite com o Estado do Espírito Santo. Composta por granada-hornblenda-biotita tonalito a granito com textura porfirítica (porfiroclástica) e forte foliação transcorrente. Suíte mista envolvendo domínios peraluminosos de granito tipo S, ricos em granada e domínios metaluminosos tipo I, ricos em hornblenda não discriminados (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Rio Turvo

Ocorre na forma de plútons alongados na direção NE-SW, no limite nordeste do estado, entre as cidades de Resende e Barra Mansa, encaixado nos metassedimentos do Complexo Embu/Grupo Andrelândia. Machado *et al.* (1989) e Valladares (1996) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001) classificaram a suíte como composta por leucogranitos peraluminosos do tipo-S, sintectônicos à fase deformacional principal. São muito ricos em restitos de paragnaisses encaixantes. São granitóides porfiríticos, com pórfiros recristalizados

de feldspatos e matriz a quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita, granada e sillimanita (VALLADARES, 1996, *apud* SILVA & CUNHA).

- Suíte Serra das Araras

As rochas dessa unidade têm sua principal área de distribuição ao longo da região norte do estado, numa faixa de direção NE-SW, desde a cidade de Itaperuna, a nordeste, até o extremo-sudoeste do estado, na cidade de Angra dos Reis, passando pela represa do Ribeirão dos Lajes. No presente trabalho a Suíte Serra das Araras inclui duas fácies: Granito Serra das Araras e Granito Serra das Abóboras. Ainda como corpos correlatos ocorrem os granitos: Quebra Cangalha, Lagoinha, Serra do Ipiranga, Serra das Abóboras, Serra da Concórdia, Serra das Frecheiras, Ribeirão Laranjeira e Parati-Mirim. O Granito Rio Turvo, eventualmente correlacionável, foi aqui abordado como Suíte Rio Turvo (SILVA & CUNHA, 2001).

São granada-biotita granitos, foliados do tipo-S, predominantemente leucocráticos, exibindo variedades porfiríticas. São muito ricos em restitos de paragneisses e, localmente, ocorrem blastomilonitos com níveis de calcissilicáticas deformadas. Também são frequentes enclaves de possíveis paleodiques anfibolíticos, além de injeções tardias de composição granítica (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Pedra Selada

As rochas dessa suíte foram primeiramente descritas por Heilbron (1993) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001), nos arredores de Pedra Selada, a norte de Resende. Os granitos Serra do Lagarto, este situado a leste da localidade de Carlos Euler e forma a serra do Lagarto (HEILBRON, 1993, *apud* SILVA & CUNHA, 2001), Paiol Velho e Taquaral (VALLADARES, 1996, *apud* SILVA & CUNHA, 2001), foram neste trabalho agrupados nessa suíte. Excetuando o granito Taquaral, que é intrusivo em rochas do Complexo Paraíba do Sul, os demais granitos são intrusivos em rochas do Grupo Andrelândia.

Heilbron (1993) (*apud* SILVA & CUNHA, 2001) descreveu os granitos Pedra Selada e Serra do Lagarto como porfiróides, contendo megacristais subédricos de K-feldspato de até 12cm de comprimento. A matriz é rica em biotita, com proporções menores de quartzo, plagioclásio e K-feldspato. Apresentam enclaves máficos ricos em anfibólio e lentes quartzo

dioríticas. Os contatos são gradacionais e bruscos com um leucogranito gnáissico, que ocorre como *sills* ou bolsões no interior dos granitos.

- Suíte Varre-Sai

Esta suíte é representada por quatro corpos situados na porção NE do estado, aflorantes nas proximidades das localidades de Varre-Sai, Porciúncula e norte de Miracema, estendendo-se para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. São encaixados no Complexo Paraíba do Sul, onde ocorrem na forma de corpos alongados. São biotita-hornblenda granitos, foliados, eventualmente bandados, porfíricos (porfiroclásticos), apresentando domínios isotrópicos em zonas de baixo *strain* (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Santo Antônio de Pádua

Nesta suíte foram englobados os anfibólio granitóides miloníticos a ultramiloníticos, inicialmente designados como Granito Miracema (CANINÉ, 1992, *apud* SILVA & CUNHA 2001), engloba também o Granito Itajara. Ocorrem no noroeste do estado, entre as localidades de Santo Antônio de Pádua e Baltazar, na forma de cristas extremamente alongadas que se destacam no interior do Complexo Paraíba do Sul no qual são intrusivos.

Apresentam composição monzonítica a quartzo monzonítica, contendo (quartzo), mesopertita, clinopiroxênio e anfibólio. A textura ultramilonítica, totalmente recristalizada sob a forma de agregados poligonais com tamanho de grão milimétrico (blastomilonito), indica recristalização em níveis crustais profundos. A presença de manchas portadoras de ortopiroxênio, cortando a estrutura milonítica, é localmente observada. A fácies Itajara é composta por uma matriz de quartzo, microclina, plagioclásio, hornblenda, e biotita. Trata-se de um granito do tipo-I (SILVA & CUNHA, 2001).

- Suíte Getulândia

São aqui agrupados os granitóides do tipo I, intrusivos no Complexo Paraíba do Sul. A suíte engloba os corpos de Arrozal, Getulândia e Vassouras (MACHADO, 1984, *apud* SILVA & CUNHA, 2001) e o Maciço de Parati (CPRM/DRM, 1983, *apud* SILVA & CUNHA, 2001). O granito Getulândia ocorre entre as cidades de Barra Mansa e Rio Claro. Machado

(1997) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001) descreveu as rochas pertencentes a esta suíte como biotita-anfibólio granitos e biotita granitos, de composição monzogranítica a granodirítica, com texturas inequigranulares e porfiríticas, meso e leucocráticos. São comuns cristais centimétricos de feldspato em uma matriz foliada rica em biotita, que às vezes pode ocorrer como segregações e/ou agregados de máficos (*schieren*), realçando a orientação da rocha. A suíte apresenta enclaves de microgranitóides máficos.

- Plútons Toleiíticos Máficos/ Complexo Básico Gleba Ribeira

O plúton de Gleba Ribeira apresenta forma meio elíptica, segundo NE-SW, aqui foi renomeado de Complexo, agrupando numerosos plútons cronocorrelatos. Em especial: i) a Intrusão Ultrabásica de Areal, descrita em detalhe por Leonardos (MORAES *et al.*, 1935, *apud* SILVA & CUNHA, 2001); ii) o peridotito da fazenda Laranjeiras, entre Areal e Portões; iii) o Maciço Gábrico de Amparo (MATOS *et al.*, 1980, *apud* SILVA & CUNHA, 2001); iv) o corpo intrusivo de exposto a oeste da Vila de Amparo, entre Nova Friburgo e São José do Ribeirão; v) o Metagabro da Tijuca (HEILBRON *et al.*, 1993, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001) no município do Rio de Janeiro.

Levantamentos da GEOMITEC (1981) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001) descrevem esse Complexo como formado por noritos, olivina gabros e melanoritos grossos, injetados por micronoritos e micromelanodioritos. Termos protoclasticos de borda imprimem às rochas uma estrutura gnáissica. A intrusão é cortada por veios e diques pegmatíticos e aplíticos.

Afloram as seguintes fácies: diopsídio peridotito lherzolítico, lherzolito augítico e serpentinito com remanescentes de olivina. Porta veios garnieríticos, que constituem o protominério do níquel, única ocorrência desse metal conhecida no estado.

O Maciço Gábrico de Amparo é um olivina gabro, ocorrendo fácies félsicas de composições granodiorítica e tonalítica associadas (MATOS *et al.*, 1980) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Ludka *et al.* (1997) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001), detalharam petrográfica e o magmatismo do plúton Amparo como sendo constituído de gabro-norito toleiítico.

O metagabro da Tijuca é um piroxênio tonalito, diorito, quartzo diorito e tonalito e foi cartografado como um corpo de diorito intrusivo (LAMEGO, 1948, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Helmbold *et al.* (1965) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001), definiram esta unidade como intrusões básicas e intermediárias, interpretadas como “metamorfizadas” e gnaissificadas. A intrusão ultrabásica de Areal é constituída de serpentinito, peridotito

serpentinizado, brecha peridotítica, diopsídio peridotito, lherzolito, lherzolito augítico (SILVA & CUNHA, 2001).

- Granitóides Pós-tectônicos Cambrianos

Como produtos finais da granitogênese brasileira têm sido cartografados numerosos corpos de granitos pós-tectônicos que se distribuem especialmente no Domínio Serra do Mar. De acordo com Silva & Cunha (2001), foram cartografados 23 desses granitóides, destacando-se, pela sua expressão aflorante, aqueles denominados: Silva Jardim, Sana, Pedra Branca, Suruí, Mangaratiba e Nova Friburgo. O granito São Pedro é expressivo no mapa por formar um enxame de pequenos corpos, estando o conjunto ocupando uma área de formato circular. Os demais corpos distribuídos na área recebem as seguintes denominações: Mambucaba, Angra, Carrasquinho, Morro do Côco, Itaoca, São José do Ribeirão, Cassorotiba, Caju, Anta, Teresópolis, Frades, Andorinha, Ipiranga, Cesário Alvim, Utinga e Favela.

Os granitos em pauta apresentam, em geral, formas circulares discordantes das estruturas regionais NE-SW das encaixantes, com as quais mostram contatos abruptos e térmicos. Veios e diques aplíticos são constantes, o mesmo acontecendo com bolsões pegmatíticos de formato irregular. Embora a maioria desses plútons esteja representada por (hornblenda)-biotita granitos tipo-I, também ocorre uma ampla variedade de rochas com variada composição: sienogranítica, monzogranítica (adamelítica), granodiorítica, tonalítica e quartzo diorítica. Allanita, titanita, apatita, opacos e zircão são minerais acessórios comuns. Os granitos possuem microclina desenvolvendo-se em cristais que chegam a ter 5 cm de comprimento, imprimindo à rocha uma textura porfirítica ou porfiróide (SILVA & CUNHA, 2001).

- Maciço Alcalino de Canaã

O maciço localiza-se a nordeste de Duque de Caxias, nos contrafortes da serra dos Órgãos, apresentando uma área exposta aproximada de 20km². Constitui em nefelina sienito, albita-microclina-nefelina sienito/litchfieldito, nordmarkito, foiaíto, pulaskito, hornblenda sienito, hedenbergita sienito, traquito com bandamento magmático e pegmatitos de estágios tardios com safirina.

A fácies dominante é um litchfieldito com estrutura bandada e conspícua foliação de fluxo. GEOSOL/DRM (1981) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001) reuniram sob a designação de Maciço de Canaã todas as rochas alcalinas expostas em torno da vila de Canaã e as classificaram como: sienito nefelínico, traquito, essexito, nordmarkito, hornblenda sienito, piroxênio sienito, álcali-sienito. Zimbres (1982, 1987, 1988) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Petrograficamente descreveu sienitos subsaturados em sílica, com nefelina, litchfielditos, sienitos levemente subsaturados a supersaturados, álcali-sienitos e pegmatitos alcalinos.

Mesozóico/Cenozóico (Cretáceo/Terciário)

- Intrusivas Alcalinas

O plutonismo alcalino (*pipes*, *stocks* e *plugs*) concentra-se preferencialmente na região litorânea centro-sudeste do estado, com destaque para a região de Rio Bonito. Esse evento magmático está relacionado à Reativação Wealdeniana (ALMEIDA, 1967, 1969, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001), na Província Serra do Mar (ALMEIDA, 1983, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Foram discriminados cartograficamente os seguintes plútons: Maciço Alcalino da Serra do Mendanha, Maciço Alcalino Morro dos Gatos, Maciço Alcalino de Rio Bonito, Maciço Alcalino Soarinho, Complexo Alcalino Itaúna, Maciço Alcalino do Morro São João, Intrusão Alcalina da Ilha de Cabo Frio, Maciço Serra dos Tomazes, Intrusão Alcalina Marapicu, Maciço Alcalino de Itatiaia, Maciço Alcalino de Tinguá, Maciço Alcalino Passa Quatro e Suíte Alcalina de Tinguá. Constituem em sienitos, nefelina sienitos, foiaítos, fonolitos, traquitos, tinguáitos, pulaskitos, umptekitos.

A maior parte das intrusões ocorre sob a forma de plútons circunscritos ou também na forma de diques. Valença (1975) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001) descreveu rochas de composição básica, associadas aos maciços do Morro de São João e da Ilha do Cabo Frio, dentre as rochas alcalinas sieníticas, destacou sienitos nefelínicos, pulaskitos ou umptekitos ligeiramente subsaturados ou saturados e foiaítos.

Os maiores maciços são os de Passa Quatro e Itatiaia. Em direção a leste-sudeste afloram os corpos de Morro Redondo, Serra dos Tomazes, Tinguá, Mendanha e Marapicu. Os maciços de Passa Quatro e Itatiaia são formados por sienitos, nefelina sienitos, pulaskitos, nordmarkitos e apresentam granitos alcalinos associados.

Cenozóico/Terciário

A tectônica Cenozóica levou à formação de um sistema de pequenas bacias sedimentares continentais tafrogenéticas: “Rifte Continental do Sudeste do Brasil” (RICCOMINI, 1989, FERRARI & SILVA 1997, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001); “Sistema de Riftes Continentais da Serra do Mar” (ALMEIDA, 1976; MELO *et al.*, 1985, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001).

- Bacia de São José do Itaboraí

A Bacia de São José do Itaboraí é uma depressão elíptica de orientação geral ENE, com dimensões máximas de 1.400m x 500m e espessura de sedimentos máxima em torno de 100m, situada cerca de 25 km a leste da cidade de Niterói (RODRIGUES FRANCISCO & CUNHA, 1978; RICCOMINI & RODRIGUES FRANCISCO, 1992, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Essa bacia foi implantada compreende três unidades sedimentares:

- Formação Itaboraí (OLIVEIRA, 1956, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001), de natureza carbonática e constituída por calcários travertinos intercalados com calcários clástico-argilosos (FERRARI, 1990, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001), contendo fósseis de gastrópodes, ostracodes, vegetais e vertebrados, atribuída ao Paleoceno Inferior;
- Unidade Intermediária, composta por sedimentos rudáceo-psamíticos contendo fósseis de mamíferos e répteis com idades atribuídas ao Paleoceno Superior (RODRIGUES FRANCISCO & CUNHA, 1978, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Em discordância angular ocorre a Unidade Superior;
- Unidade Superior, também rudáceo-psamítica com restos fósseis de vertebrados e idade pleistocênica (RODRIGUES FRANCISCO & CUNHA, 1978; RICCOMINI & RODRIGUES FRANCISCO 1992, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Um dique de rocha ultrabásica de aproximadamente 150m e direção N45°E corta rochas do embasamento e sedimentos carbonáticos e conglomeráticos, terminando sob a forma de um derrame de lava (KLEIN & VALENÇA, 1984, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001). Segundo estes autores essa rocha é um ankaramito, melanocrático, composto por fenocristais de titano-augita, analcita, opacos, plagioclásio e apatita, com amígdalas preenchidas por zeólitas e clorita.

- Bacia de Macacu

A Bacia de Macacu aflora a nordeste da Baía de Guanabara, estendendo-se na direção ENE por aproximadamente 25 km, com 15 km de largura, nas imediações das cidades de Itaboraí e Magé, e da Ilha do Governador. A espessura conhecida da bacia é de aproximadamente 200m (FERRARI & SILVA, 1997, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001). O embasamento da bacia é constituído de paragneisses e rochas alcalinas. A Bacia de Macacu é constituída por duas unidades sedimentares: a Formação Macacu de Meis & Amador (1977) (*apud*, SILVA & CUNHA, 2001), uma sucessão de lentes e camadas pouco espessas de sedimentos predominantemente arenosos, arredondados e pouco consolidados, de idade plio-pleistocênica; e a unidade “pré-Macacu”, definida pelos mesmos autores como “produto da colmatação de blocos tectonicamente rebaixados no Terciário Médio”.

- Grupo Barreiras

As flutuações do nível do mar e as alterações paleoclimáticas foram as principais causas da formação das planícies litorâneas brasileiras. Uma das unidades mais expressivas da faixa litorânea é o Grupo Barreiras, que se estende desde o Amapá até o Rio de Janeiro, aflorando sob a forma de extensos tabuleiros ou falésias de vários metros de altura. O Grupo Barreiras aflora na região de Carapebus-Quiçamã e, mais restritamente, próximo às cidades de Búzios e Macaé, sendo a área de maior expressão na região do delta do rio Paraíba do Sul (SILVA & CUNHA, 2001).

Esse pacote sedimentar é constituído de três unidades: areias grossas a conglomeráticas, com matriz caulínica e estruturas de estratificação cruzada planar na base do pacote; uma unidade intermediária composta de interlaminações de areias grossas quartzosas com matriz areno-argilosa e argilas arroxeadas levemente arenosas; e, no topo do pacote, um nível de argilas de cores vermelha e branca (FERRARI *et al.*, 1981, *apud*, SILVA & CUNHA, 2001).

- Bacia de Volta Redonda

A Bacia de Volta Redonda está localizada no sul do Estado do Rio de Janeiro, na região do médio vale do rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Barra Mansa, Volta Redonda e Pinheiral. A Bacia de Volta Redonda, juntamente com as bacias de São Paulo,

Taubaté e Resende, compõe o segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), que constitui um complexo de vales tectônicos, serras e bacias sedimentares com orientação ENE-WSW, de idade Eoceno-Oligoceno (RICOMINI, 1989, *apud*, MARQUES *et al.*, 2006).

Segundo Sanson (2006) (*apud*, MARQUES *et al.*, 2006), a estratigrafia da bacia é descrita da seguinte forma:

- Formação Ribeirão dos Quatis, depósitos predominantemente conglomeráticos, com arenitos subordinados, dispostos em inconformidade sobre o embasamento proterozóico, interpretados como depósitos típicos de um sistema fluvial entrelaçado conglomerático, anterior à fase principal de evolução do RCSB;
- Formação Resende constituída principalmente por arenitos arcoseanos e conglomerados finos, com estratificações cruzadas, relacionados a um sistema de canais fluviais entrelaçados, com participação pouco expressiva de lamitos arenosos e arenitos lamosos esverdeados associados a fluxos de detritos em um contexto de leques aluviais;
- Basanito Casa de Pedra, derrames ultramáficos alcalinos, posicionados por Sanson (2006) (*apud*, MARQUES *et al.*, 2006) entre as formações Resende e Pinheiral. A rocha apresenta textura porfirítica, maciça, ou com vesículas e amígdalas, com feições que sugerem a existência de, pelo menos, dois derrames superpostos;
- Formação Pinheiral: conglomerados e arenitos, maciços ou estratificados, apresentando um padrão de intercalação entre as fácies arenosas e rudáceas, com expressiva sedimentação pelítica. Estes depósitos apresentam-se discordantemente sobre a Formação Resende e, em algumas localidades, sobre o Basanito Casa de Pedra;
- Sedimentos neogênicos: depósitos areno-argilosos, com grânulos e seixos de quartzo dispersos; sedimentos quaternários: ocorrem duas fases distintas, sendo a primeira fase representada por depósitos de terraços de cascalho pleistocênicos (AMADOR & CASTRO, 1976, *apud*, MARQUES *et al.*, 2006). A segunda fase compreende depósitos arenosos e areno-argilosos, aluviais e coluviais.

- Bacia de Resende

A Bacia Sedimentar de Resende está localizada no segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989, *apud*, RAMOS *et al.*, 2006), no extremo oeste do estado do Rio de Janeiro, abrangendo os municípios de Barra Mansa

(Distrito de Floriano), Quatis, Porto Real, Resende e Itatiaia. A bacia tem 47 km de comprimento, sendo alongada no sentido ENE-WSW, com seu eixo na direção N75E (RAMOS *et al.*, 2006).

Ramos *et al.* (2006), propõe a seguinte divisão estratigráfica da sucessão de depósitos aluviais terciários da Bacia de Resende: Formação Ribeirão dos Quatis constitui o registro de um antigo sistema fluvial de tipo entrelaçado com depósitos conglomeráticos e arenitos; Formação Resende constitui em depósitos de leques aluviais, lamitos arenosos e arenitos lamosos derivados, bem como depósitos fluviais axiais à bacia. Segundo Ramos *et al.* (2006), é dividida em dois membros, Membro Itatiaia composição marcadamente rica em detritos derivados da erosão dos maciços alcalinos estão em posição estratigráfica lateral e contato gradacional e/ou interdigitado com os depósitos típicos da Formação Resende e Membro Acácias que constitui em conglomerados, arenitos arcoseanos e camadas pelíticas; e Formação Floriano compreende sucessão de arenitos e pelitos.

- Bacia de Taubaté

A Bacia de Taubaté aflora numa área restrita, situada a oeste da cidade de Itatiaia. Bacia de Taubaté pode ser dividida em três grandes seqüências deposicionais: Tremembé, Taubaté e Paraíba do Sul. É composta por arenitos, conglomerados, argilitos (SILVA & CUNHA, 2001).

Cenozóico/Quaternário

Os depósitos sedimentares quaternários ocorrentes na região costeira do estado do Rio de Janeiro são mais bem desenvolvidos na porção que vai de Niterói até o limite com o Estado do Espírito Santo, do que no setor de Parati até Mangaratiba.

Entre os depósitos quaternários estão: depósitos colúvio-aluvionares formador por Cascalhos, areias e lamas; depósitos praias marinhos e/ou lagunares formados por areias quartzosas marinhas e/ou lagunares, recobertas por areias eólicas em matriz secundária composta por argilas e óxidos de ferro; depósitos flúvio-lagunares constituídos de areias, cascalhos, lamas e ocorrências de turfas; depósitos praias eólicos marinhos e/ou lagunares formados por areias (SILVA & CUNHA, 2001).

5.2- Áreas com Potencial de Rochas e Minerais Alternativos aos Fertilizantes Convencionais

A partir de dados obtidos em Silva & Cunha (2001), foi feito um levantamento no estado do Rio de Janeiro das principais áreas potenciais fonte de rochas e minerais alternativos para aplicação na agricultura. O resultado é apresentado na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8
Áreas potenciais de rochas e minerais como fertilizantes alternativos no estado do Rio de Janeiro.

Insumos	Localização	Unidade Hospedeira	Idade	Descrição
K, Ca	Região centro-leste do RJ.	Complexo Região dos Lagos	Paleoproterozóico	(Hornblenda)-biotita ortognaisse cálcio-alcálico.
K, Ca	Limite nordeste da Folha Volta Redonda, até as imediações da cidade de Três Rios, na porção central da folha.	Suíte Quirino	Paleoproterozóico	(Hornblenda)-biotita ortognaisse cálcio-alcálico de alto K, composição tonalítica a granítica.
Ca, Mg, K, P	Região central e norte do RJ.	Complexo Paraíba do Sul	Meso/Neoproterozóico	Metacalcário dolomítico e calcítico, mármore, granada-biotita-sillimanita gnaisse quartzofeldspático, pegmatitos e rochas calcissilicáticas.
K, Ca	Faixa que ocupa a porção SW-NE do RJ.	Suíte Serra dos Órgãos	Neoproterozóico	Hornblenda-biotita granitóides, composição de tonalítica a granítica, cálcio-alcálico.
K	Resende.	Suíte Pedra Selada	Neoproterozóico	Granitos porfiróides, com megacristais K-feldspato.

Fonte: Elaborado a partir de dados de SILVA & CUNHA, 2001.

Tabela 8
Áreas potenciais de rochas e minerais como fertilizantes alternativos no estado do Rio de Janeiro (continuação).

Mg, Ca	Distribuídos pela região central do RJ	Plútons Toleiíticos Máficos	Cambriano	noritos, olivina gabros, serpentinito.
K,	Amplamente distribuídos pelo Domínio Serra do Mar.	Granitóides pós-tectônicos	Cambriano	(Hornblenda)-biotita granitóides do tipo-I, com pórfiros de microclina.
K, P	Nordeste de Duque de Caxias.	Maciço Alcalino de Canaã	Cambriano	Nefelina sienito, albita-microclina-nefelina sienito/litchfieldito, hornblenda sienito, traquito e pegmatitos.
K, P	Região litorânea centro-sudoeste do RJ.	Intrusivas Alcalinas	Cretáceo/Terciário	Sienitos, nefelina sienitos, foiaítos, fonolitos, traquitos.

Fonte: Elaborado a partir de dados de Silva & Cunha, 2001.

Apesar da indicação da possível presença de P em certas litologias, no estado do Rio de Janeiro, descritas na Tabela 8, seus teores são baixos (menos de 0,50 %), não foram observadas fontes com alto teor de P no estado.

Análises químicas feitas por Valladares *et al.* (1997), em ortognaisses pertencentes ao Suíte Quirino, demonstram que os teores de K_2O para as suítes cálcio-alcalinas de alto K variam entre 3,72 e 6,94 %.

Os gnaisses, mármores e anfíbolitos do Complexo Paraíba do Sul podem estar associados a faixas pegmatíticas, como no município de Cantagalo. Estes corpos são fontes potenciais de potássio, pois possuem, em sua mineralogia, K-feldspato e micas. Outras áreas de concentração de pegmatitos no estado do Rio de Janeiro são: Barra Mansa-Barra do Pirai, Paraíba do Sul, Niterói-Rio Bonito, Abreu-Glicério (MENEZES, 1997, *apud* MARQUES, 2009).

A Unidade Italva, do Complexo Paraíba do Sul, ou Grupo Italva (TUPINAMBÁ *et al.*, 2007), se destaca por apresentar espessas camadas de mármore, nos arredores de Cantagalo e

Italva, exploradas há dezenas de anos por empresas cimenteiras nacionais e estrangeiras (TUPINAMBÁ *et al.*, 2007).

Suíte Serra dos Órgãos, que se estende desde as proximidades de Duque de Caxias até Duas Barras, também abrange o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, uma unidade de conservação, dificultando, atividades mineradoras na região. Em pesquisa no Cadastro Mineiro (2011) do DNPM, foi observado dez processos ativos, para as substâncias granito e gnaisse, no município de Petrópolis e Teresópolis, estes processos são referentes a concessão de lavra (2), requerimento de pesquisa (1), autorização de pesquisa (6), licenciamento (2), requerimento de lavra (1), com principal uso para brita. Nova Friburgo possui 9 processos ativos e nenhuma concessão de lavra. Em Duque de Caxias, para as mesmas substâncias, foram detectados 18 processos ativos, sendo dois de concessão de lavra, somando 37 processos ativos para os municípios pesquisados.

As rochas alcalinas intrusivas são destacadas como principais fontes alternativas potenciais, de potássio, no estado do Rio de Janeiro. São representadas por diversos maciços, como o Mendanha, no município de Nova Iguaçu, onde durante décadas, álcali sienito e traquito foram explorados.

Além do Mendanha, existem outros corpos intrusivos com álcali sienito, tais como Soarinho, Itatiaia, Ilha da Vitória e Ilha dos Búzios. Entretanto, a maioria não pode ser explorada por se situar em área de proteção ambiental. No Estado do Rio de Janeiro, ocorrem rochas similares em Itatiaia, Soarinho e Ilha de Cabo Frio (SICHEL *et al.*, 2008; MOTOKI & SICHEL, 2008; MOTOKI *et al.*, 2008d, *apud* PETRAKIS *et al.*, 2010). Dentre esses, Itatiaia e Ilha de Cabo Frio não podem ser explorados pelo fato de se localizarem em áreas de proteção ambiental. As rochas sieníticas de Tanguá, o corpo vizinho de Soarinho, eram exploradas, porém a mineração atualmente está inativa.

Devido à elevada importância das rochas alcalinas que possuem altos teores de potássio (6 a 14%), foi realizada uma pesquisa junto ao portal Cadastro Mineiro do DNPM, onde foram apurados os requerimentos de área para pesquisa, e futura exploração de nefelina sienito e outras substâncias como, sienito, fonolito, foiaíto e traquito e situações legais, no estado do Rio de Janeiro, conforme a Tabela 9.

Tabela 9
Dados obtidos junto ao portal do DNPM sobre rochas alcalinas no estado do Rio de Janeiro.

Processos	Nefelina sienito, sienito		Fonolito	
	Ativos	Inativos	Ativos	Inativos
Requerimento de pesquisa	1	62	-	-
Autorização de pesquisa	14	38	-	-
Requerimento de Lavra	-	1	-	-
Concessão de Lavra	8	2	-	-
Disponibilidade	-	39	-	1
Licenciamento	-	1	-	-

Fonte: Cadastro Mineiro, 2011.

No levantamento realizado, foi observado que para as substâncias minerais, traquito e foiaíto, não existem processos cadastrados. Para as substâncias nefelina sienito e sienito, existem oito processos ativos de concessão de lavra. Para fonolito não existem processos ativos, apenas um inativo de disponibilidade, em Itaboraí/São Gonçalo.

O fonolito é o equivalente vulcânico do sienito. Testes de campo realizados pela UNESP de Botucatu/SP demonstraram que o fonolito tem alto potencial de remineralização de solos, e trabalhos realizados na fazenda do Grupo Curimbaba, demonstraram que o fonolito contribui para solos e plantas mais equilibrados (CORTES *et al.*, 2010).

Áreas de concentração de sienito, nefelina sienito no estado do Rio de Janeiro são: São Gonçalo, Resende, Casimiro de Abreu, Tanguá, Rio Bonito, Itaboraí, Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Cachoeiras de Macacu, Barra Mansa, Magé, Cabo Frio, Itaguaí. As localidades com concessão de lavra são Duque de Caxias e Nova Iguaçu, Casimiro de Abreu, Tanguá, Rio Bonito, Itaboraí.

Através de um levantamento realizado no banco de dados geológicos da CPRM (GEOBANK, na base de dados de recursos minerais), foram localizados os jazimentos de rochas e minerais potenciais fontes de macros e micronutrientes, no estado do Rio de Janeiro. No levantamento feito, foram identificadas, no total, 35 ocorrências e 383 minas ativas e paralisadas, de onde rejeitos podem ser aproveitados como fertilizantes alternativos ou como corretivos de acidez do solo (Tabela 10).

Tabela 10
Levantamento de recursos minerais fontes de nutrientes no estado do Rio de Janeiro.

RECURSOS MINERAIS	OCORRÊNCIAS	JAZIDAS	NUTRIENTES
Brita	—	41	K e outros
Calcário	12	24	Ca, Mg P e outros
Feldspato	10	94	K e outros
Gnaisse	—	32	K e outros
Granito	6	115	K, P e outros
Mármore	5	26	Ca, Mg e outros
Rocha ornamental	2	46	K e outros
Sienito	—	2	K e outros
TOTAL	35	383	

Fonte: Elaborado a partir de dados da CPRM, 2011.

6- CONCLUSÃO

A partir de dados obtidos com o presente trabalho é observada uma tendência de aumento no consumo de fertilizantes no Brasil, de e acordo com estudos realizados por Kulaif (2009), a projeção do consumo de fertilizantes até 2030 em um cenário vigoroso (crescimento do PIB de 4,6% a.a.), mostra que o consumo mais do que duplica.

Embora a produção de fertilizantes tenha aumentado 11,6% em 2010, as importações aumentaram 38,6% no mesmo ano, mostrando que a produção brasileira de fertilizantes não atende a crescente demanda nacional. Em valores monetários, as importações de matérias-primas e produtos intermediários NPK (nitrogênio, fósforo, potássio) atingiram, em 2008, US\$ 11,3 bilhões, quando em 2007 eram de US\$ 5,1 bilhões, ambas, cifras de grande expressão.

Os preços dos fertilizantes obtiveram um grande aumento no fim de 2010 e as expectativas é de que 2011 seja mais um ano de crescimento, principalmente em virtude dos preços elevados da maior parte das *commodities* agrícolas produzidas no país.

Este cenário é negativo para os pequenos e médios agricultores que não dispõem de incentivos financeiros e tecnológicos, reforçando a importância e necessidade de fontes alternativas para a fertilização e remineralização de solos.

Os ensaios com aplicação do pó de rocha, como fertilizante alternativo, expostos neste trabalho, e os realizados em diversas partes do mundo, comprovam a eficiência destas rochas e minerais na fertilização e remineralização dos solos, mostrando resultados, em determinados casos, superiores aos fertilizantes convencionais.

Em outros casos, certas rochas e minerais, quando aplicados juntamente com os fertilizantes convencionais se mostram mais eficientes, por isso, se fazem necessário o desenvolvimento de pesquisas com o emprego de rochas e minerais na fertilização das diversas culturas cultivadas no Brasil, afim de que sejam determinadas quais rochas e minerais são adequadas na fertilização de cada tipo de cultura.

O estudo realizado demonstra que o estado do Rio de Janeiro possui diversas litologias e minerais distribuídos por extensas áreas, com ampla distribuição pelo estado, além de minas, de onde os rejeitos podem ser aproveitados, com potencial de fertilizantes alternativos ou como corretivos de acidez do solo. O levantamento realizado identificou diversas áreas potenciais no estado, fonte de nutrientes, principalmente de potássio (sienitos e nefelina sienitos), cálcio e magnésio (calcário, mármore, gabro, serpentinito), além de micronutrientes,

mas é necessário realizar estudos de caracterização petrográfica e química destes materiais para a comprovação do seu potencial.

Com a realização deste trabalho de pesquisa é sugerido a realização de mapeamentos geológicos, em escala de maior detalhamento no Rio de Janeiro, das litologias que podem ser utilizadas em rochagem e daquelas que, pelas suas características químico-mineralógica, oferecem alto potencial para remineralização de solos. Devem ser efetuadas as caracterizações: petrográfica, química e mineralógica de depósitos minerais detectados como fonte de nutrientes importantes para a agricultura, contribuindo para aumentar o seu conhecimento geológico, além de experimentos agrícolas com emprego do pó de rocha na remineralização, recuperação e fertilização de solos pobres em nutrientes.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDA– Associação Nacional para a Difusão de Adubos 2010. Estatísticas. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>>. acesso em dez. 2010.
- BAKKEN, A. K. ; GAUTNEB, H. ; SVEISTRUP, T. & MYHR, K. 2000. Crushed Rocks and Mine Tailings Applied as K Fertilizers on Grassland. *In: Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Formerly Fertilizer Research, 56: 53-57.
- CORTES, G. P. ; FERREIRA, R. C. ; RAMPAZZO, L. & FERREIRA, L. C. 2010. Fonolito como Substituto do Cloreto de Potássio e/ou OUTRAS fontes de Potássio na Agricultura e Pecuária no Brasil. *In: THEODORO, S. H. & SOUZA, E. (eds) Anais I Congresso de Brasileiro de Rochagem*. Embrapa, DF. p. 75-84.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. GEOBANK. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. acesso em jan. 2011.
- DNPM–Departamento Nacional de Produção Mineral. Calcário Agrícola. *In: Economia Mineral do Brasil*. Brasília. DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009 p. 536-545.
- . Enxofre. *In: Economia Mineral do Brasil*. Brasília. DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009 p. 577-590.
- . Fosfato. *In: Economia Mineral do Brasil*. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009 p. 546-568.
- . Potássio. *In: Economia Mineral do Brasil*. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009 p. 569-576.
- .Cadastro Mineiro 2011. Disponível em: <www.dnpm.gov.br> . acesso em fev. 2011.

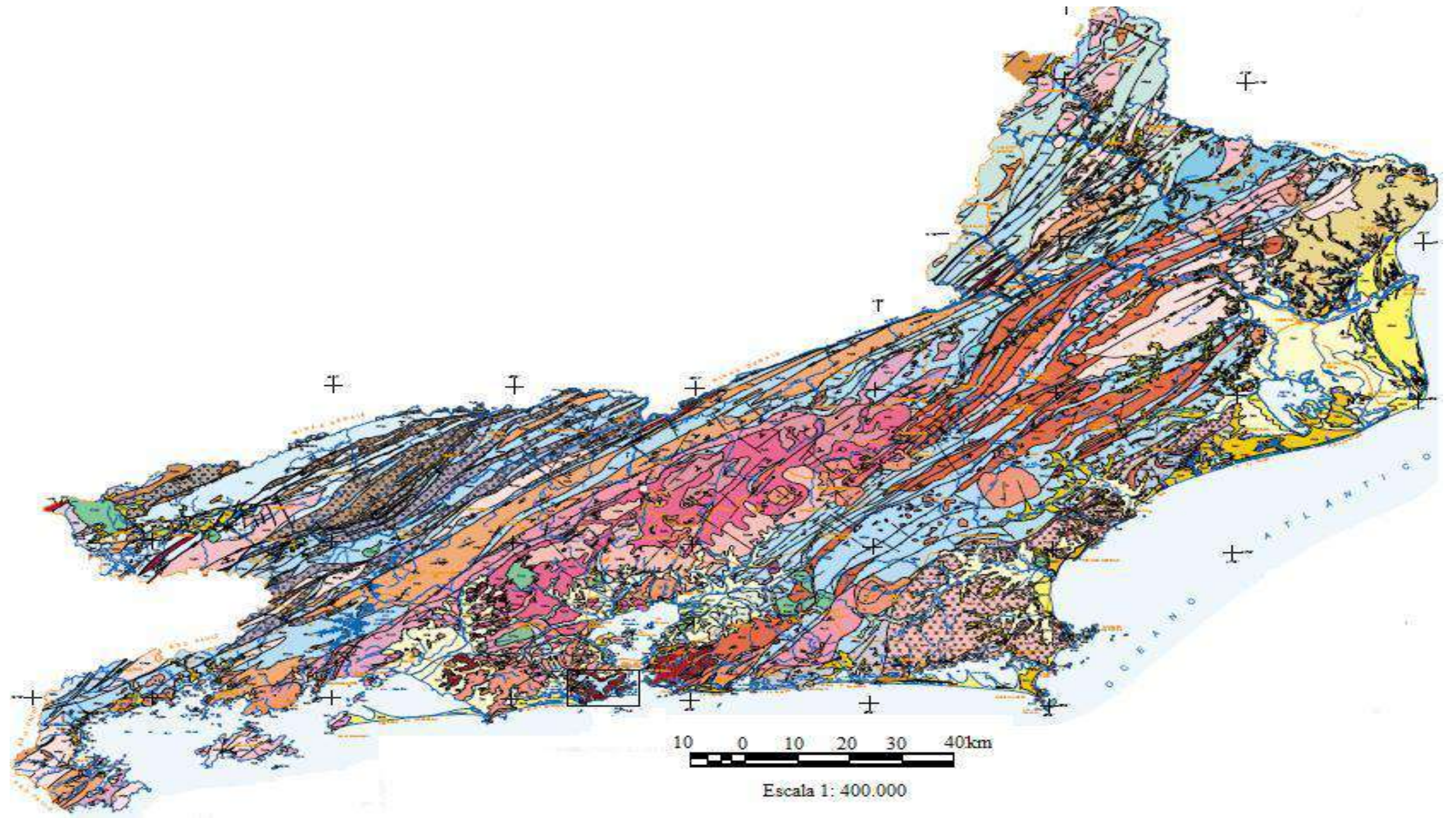
- . Sumário Mineral Brasileiro 2009. Disponível em: <www.dnmp.gov.br>. acesso em jan. 2011.
- DIAS, E. G. & LAJOLO, R. D. 2010. O Meio Ambiente na Produção de Fertilizantes Fosfatados no Brasil. *In*: FERNANDES, F. R. C. ; LUZ, A. B. & CASTILHOS, Z. C. (eds.) *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral– CETEM, p. 105-124.
- FAEP – Federação da Agricultura do Estado do Paraná 2008. Disponível em: <www2.faepr.com.br/downloads/enc_fertilizantes.pdf>. acesso em nov. 2010.
- KULAIIF, Y. 2009. Relatório Técnico 75: Perfil dos Fertilizantes N-P-K. Plano Duodecenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030. 64 p.
- KULAIIF, Y. & FERNANDES, F. R. C. 2010. Panorama dos Agrominerais no Brasil: Atualidades e Perspectivas. *In*: FERNANDES, F. R. C. ; LUZ, A. B. & CASTILHOS, Z. C. (eds.) *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral– CETEM, p. 01-22.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. ; Monte, M. B. M. & Nascimento, M. 2008. Agrominerais- Fosfato. *In*: LUZ, A. B.; LINS, F. F. (eds.) *Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, p. 141-174.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. ; Ribeiro, R. C. C. 2009. Fertilização Natural: Rochagem, Agricultura Orgânica e Plantio Direto. *In*: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. ; MELAMED, R. & NETO, J. F. (eds.) *Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT, p. 149-172.

- LEONARDOS, O. H. ; FYFE, W. S. & KRONBERG, B. I. 1987. The Use of Ground Rocks in Laterite Systems: an Improvement to the Use of Conventional Soluble Fertilizers. *Chemical Geology* 60: 361–370.
- LEONARDOS, O. H. ; THEODORO, S. C. H. & Assad, M. L. 2000. Remineralization for Sustainable Agriculture: A Tropical Perspective from a Brazilian Viewpoint. *In: Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Formerly Fertilizer Research, 56: 3-9.
- LEPSCH, I. F. 2000. *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo, Oficina de Textos. 178 p.
- LOPES, F. 2011. Agronegócios. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/impresso/agronegocios/105/380033/estoques-de-fertilizantes-tem-leve-queda>>. acesso em fev. 2011.
- LUZ, A. B. ; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. ; SAMPAIO, J. A. ; CASTILHOS, Z. C. & BEZERRA, M. S. 2010. Rochas, Minerais e Rotas Tecnológicas para a Produção de Fertilizantes Alternativos. *In: FERNANDES, F. R. C. ; LUZ, A. B. & CASTILHOS, Z. C. (eds.) Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral– CETEM, p. 61-88.
- MARQUES, I. M. C. 2009. *Potencial de Produção de Feldspato no Estado do Rio de Janeiro*. Bacharelado em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho de Conclusão de Curso, 43 p.
- MARQUES, C. C. S.; MELLO, C. L. & RAMOS, R. R. C. 2006. Análise Multiescalar de Atributos Sedimentares em Depósitos Fluviais Paleogênicos na Bacia de Volta Redonda, RJ. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 29, p. 168-198.
- NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M. & LAPIDO-LOUREIRO, F. E. 2008. Agrominerais- Potássio. *In: LUZ, A. B.; LINS, F. F. (eds) Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, p. 175-203.

- NOGUEIRA, A. C. L. 2008. Agricultura: o mercado de fertilizantes no Brasil. Disponível em: <www.acionista.com.br/mercado/artigos_2008_1.htm>. acesso em dez. 2010.
- PEREIRA, M. A. 2010. Oportunidades para o Fortalecimento da Indústria Brasileira de Fertilizantes. Disponível em: <www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/IndustriaBrasileiraFertilizantes.pdf>. acesso em nov. 2010.
- PETRAKIS, G. H. ; MOTOKI, A. ; SICHEL, S. E. ; ZUCCO, L. L. ; AIRES, J. R. ; MELLO, S. L. M. 2010. Geologia de Jazidas de Brita e Areia Artificial de Qualidade Especial: Exemplos do Álcali Sienito de Nova Iguaçu, RJ, e Riolito de Nova Prata, RS. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 1, p. 21-32.
- RAMOS, R. R. C.; MELLO, C. L. & SANSON, M. S. R. 2006. Revisão Estratigráfica da Bacia de Resende, *Rift* Continental de Sudeste do Brasil, Estado do Rio de Janeiro. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 25, n. 1, p. 59-69.
- RODRIGUES, A. F. S. ; FONSECA, D. S. ; PARAHYBA, M. H. R & CAVALCANTE, V. M. M. 2010. Agrominerais: Recursos e Reservas. In: FERNANDES, F. R. C. ; LUZ, A. B. & CASTILHOS, Z. C. (eds.) *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral– CETEM, p. 23-44.
- SAMPAIO, J. A. ; ALMEIDA, S. L. M. 2008. Calcário e Dolomito. In: LUZ, A. B.; LINS, F. F. (eds) *Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, p. 363-391.
- SILVA, L.C. & CUNHA, H.C.S. 2001. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM/DRM, 2001. 88 p.

- THEODORO, S. & LEONARDOS, O. H. 2006. The use of rock to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4): 721-730.
- TUPINAMBÁ, M. ; HEILBRON, M. ; DUARTE, B. P. ; NOGUEIRA, J. R. ; VALLADARES, C. ; ALMEIDA, J. ; SILVA, L. G. E. ; MEDEIROS, S. R. ; ALMEIDA, C. G. ; MIRANDA, A. ; RAGATKY, C. D. ; MENDES, J. & LUDKA, I. 2007. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuaí. *GEONOMOS* 15(1): 67 – 79.
- VALLADARES, C. S. ; HEILBRON, M. ; FIGUEIREDO, M. C. H. & TEIXEIRA, W. 1997. Geochemistry and Geochronology of Paleoproterozoic Gneissic Rocks of the Paraíba do Sul Complex (Quiring Unit), Barra Mansa region, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(1):111-120.

Anexo 1 – Mapa Geológico do estado do Rio de Janeiro



Fonte: Silva & Cunha, 2001.

LEGENDA:

Qhml	Areia quartzosa.
Qhf	Areias, lamas, cascalhos, ocorrências de turfas.
Qpm	Areias quartzosas, recobertas por areias eólicas em matriz secundária composta por argilas e óxidos de ferro.
Qc	Cascalhos, areias e lamas.
Tb	Depósitos detríticos, areia argilo-arenosas, e argilas.
Tr/Tm	Leques aluviais, arenitos, argilitos e conglomerado; depósitos conglomeráticos e arenosos; depósitos fluviais conglomeráticos e arcosianos.
Trap	Arenitos e argilitos.
KTx	Rochas alcalinas.
Eγ5	Granitóides
Eβ5	Plútons pós-tectônicos máficos toleíticos.
Eγ4g	(Hornblenda)-biotita granito, tipo I.
Nγ3	Sienogranito tipo-I, biotita-hornblenda granito foliado do tipo I com textura milonítica, biotita granitóide tipo I.
Nγ3a	(Granada) granito a duas micas tipo-S.
Nγ2	Granito a duas micas e granada, tipo-S, granada-hornblenda-biotita tonalito a granito, hornblenda-biotita granito e granodiorito.
Nγ2	Hornblenda-clinopiroxênio-ortopiroxênio charnockito e norito, granito tipo C associado à enderbita e norito.
Nγ2r	Granitos da Suíte Rio de Janeiro.
Nγ2d	Granito tipo-S com granada, muscovita e biotita.
Nγ2s	Hornblenda-biotita granitóide.
Nγ2ss	Granada-hornblenda-biotita granodiorito.
Nγ1p	Leucogranito Gnaisse.
Nγ1r	Ortognaisse bandado.
Nγ1rd	Fácies homogênea, foliada, de composição tonalítica, intrudida por veios e bolsões de leucogranito tipo-S.
MNb	Cianita-sillimanita-granada-biotita xisto e gnaisse quartzo-feldspático intercalado com granada anfibolito e gnaisse calcissilicático.
MNps	Granada-biotita-sillimanita gnaisse quartzo-feldspático (metagrauvaca), rocha calcissilicática, metacarbonática e quartzito.

MNp Metacalcário dolomítico e calcítico, mármore, intercalados com granada-biotita-sillimanita gnaiss quartzo-feldspático e quartzo-anfibólio-clinopiroxênio gnaisses (rocha calcissilicática).

MNpit Gnaiss quartzo-feldspático aluminoso a granada-biotita-sillimanita com e sem ortopiroxênio eventualmente com intercalações de gnaiss calcissilicático.

MNe Cianita- sillimanita-granada-biotita-muscovita xisto e gnaiss, localmente grafitoso, com bolsões e veios de leucogranito anatético.

MNa Cianita sillimanita granada-biotita gnaiss, com intercalações de quartzito.

Py1rl Hornblenda-biotita ortognaiss cálcio-alcálico, granodiorítico a tonalítico.













Py1q (Hornblenda)-biotita ortognaiss cálcio-alcálico de composição tonalítica a granítica, na fácies anfibolito, granoblástico a porfiroblástico, foliado.

Py1jf Clinopiroxênio-ortopiroxênio-hornblenda-biotita ortognaisses tipo TTG, com freqüentes intercalações de granada gnaiss norítico e de paragnaiss parcialmente fundido.

Py1jfa Hornblenda-biotita ortognaiss TTG, em fácies anfibolito.

Am Hornblenda-biotita gnaiss do tipo TTG, finamente bandado, com freqüentes intercalações de anfibolitos.

Convenções Geológicas:

	Contato
	Contato aproximado
	Falha/fratura
	Falha/zona de cisalhamento
	Falha transcorrente dextral/zona de cisalhamento
	Falha transcorrente sinistral/zona de cisalhamento
	Falha transcorrente oblíqua/zona de cisalhamento
	Falha contracional/zona de cisalhamento
	Falha extensional
	Foliação vertical e inclinada
	Lineação de estiramento horizontal e inclinada
	Dique Mesozóico/Cenozóico

