

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

**ALINNE DA SILVA**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO NAS PROPRIEDADES  
QUÍMICAS DO SOLO, NA NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO  
FEIJOEIRO E NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES POR *Eucalyptus*  
*benthamii***

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

**Orientador:** Jaime Antonio de Almeida  
**Co-orientador:** Cassandro V. T. do Amarante

**LAGES, SC**

**2007**

Ficha Catalográfica Elaborada Pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

SILVA, ALINNE DA

Efeito da aplicação de pó de basalto nas propriedades químicas do solo, na nutrição e produtividade do feijoeiro e na absorção de nutrientes por *Eucalyptus benthamii*/ Alinne da Silva – Lages, 2007.

69 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC.

1.Basalto.2. Feijão. 3.Eucalipto. I.Título.

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV**  
**MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

**ALINNE DA SILVA**  
Engenheira Agrônoma

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO NAS PROPRIEDADES  
QUÍMICAS DO SOLO, NA NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO  
FEIJOEIRO E NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES POR *Eucalyptus*  
*benthamii***

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado  
de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovado em:

Homologado em:

Pela Banca Examinadora:

---

Dr. Jaime Antonio de Almeida  
Orientador – UDESC/Lages – SC

---

Dr. Osmar Klauberg Filho  
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado  
em Ciência do Solo e Coordenador do  
Programa de Mestrado em Agronomia  
UDESC/Lages - SC

---

Ph.D. Cassandro V. T. Amarante  
Co - orientador – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Adil Knackfuss Vaz  
Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Tássio Dresch Rech  
Epagri/Lages - SC

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu Deus, que providência sempre tudo o que necessito para seguir em frente, e por estar no comando da minha vida.

Ao professor Jaime, pela grande ajuda e paciência, pela confiança em me deixar conduzir os trabalhos, pela generosidade em transmitir seus conhecimentos e por ter aceitado me orientar. Obrigada professor!

A minha mãe que foi a responsável por eu ter tido toda a formação que tenho hoje, por acreditar e não medir esforços em me ajudar.

Agradeço a algumas das pessoas que nestes dois anos foram muito além da amizade, a Catilene pela ajuda, pelo seu empenho e dedicação na condução dos experimentos, Tamara por sua grande generosidade, pela ajuda e pelas trocas de idéias, Tatiana pelas muitas conversas e conselhos, Amanda pela sua presença amiga em todos os momentos, Carla e Orozimbo pelo companheirismo e pelas atitudes de carinho que sempre demonstram; ao Rodrigo, Fabrício e o Biffi pelos bons momentos proporcionados, a Daniele, Cedinara, Lisiane, Michele, Diego, Jerusa, Mauricio, por passarem pela minha vida e deixar boas lembranças.

Aos alunos da graduação, em especial ao Ézio, Jonatham, presenças fundamentais na condução do experimento.

Ao professor Cassandro pela disponibilidade a as professoras Mari Lucia e Cileide pelas oportunidades, incentivo e amizade. Ao professor Jeferson pela assistência em estatística.

Obrigada Fátima por estar presente nos meus primeiros passos no laboratório e pela sua amizade, ao Alcir e o Pipoca sempre prestativos.

Fernando Ramos, obrigada pela grande ajuda todos os momentos que precisei!!

A todos os professores do curso de mestrado pela contribuição valorosa.

Aos professores membros da banca por estarem presentes nesta etapa.

A UDESC pela oportunidade de realização o curso.

Meu mais sincero agradecimento a todos que direta e indiretamente contribuíam com a conclusão deste mestrado.

***Dedico***

DEUS!

*“...Quem me segurou foi Deus com seu amor de Pai,  
...Quem me inspirou foi Deus e me fez capaz...”  
“...Confia teus negócios ao Senhor e teus planos terão  
bom êxito”. (Pr 16,3)*

## **RESUMO**

As rochas moídas e aplicadas ao solo são constituídas de minerais de dissolução lenta que podem contribuir para o incremento da reserva nutricional do solo. A aplicação de pó de basalto apresenta uma série de benefícios ao solo, como a capacidade de fornecer nutrientes e propriedades de elevar o pH. Com o objetivo de avaliar o potencial da utilização do basalto proveniente de Ponte Alta - SC, como fonte de liberação lenta de nutrientes para as plantas e o seu efeito sobre propriedades químicas do solo, foram instalados dois experimentos. O experimento I, conduzido a campo em um Nitossolo Bruno no município de Urupema - SC objetivou avaliar o efeito da adição de doses crescentes do pó de basalto, e destas associadas ao esterco bovino, sobre as propriedades químicas do solo, a nutrição e a produtividade do feijoeiro, comparadas com a testemuunha, adubação convencional e esterco isolado. Os tratamentos foram: testemuunha, adubação convencional, pó de basalto nas doses 2,5, 5,0, 10 e 20 t.ha<sup>-1</sup>, esterco bovino (4 t.ha<sup>-1</sup>) e as mesmas doses de pó de basalto associado à esterco bovino. A cultura utilizada foi feijão da variedade IPR Uirapuru. Não foi verificada diferença significativa pelo emprego de pó de basalto no rendimento do feijoeiro. Não houve interação entre ano e tratamento para o teor de macronutrientes, micronutrientes e Si no tecido foliar das plantas, mas houve incremento nos teores de N, P, Ca, Mg e Zn após um ano da instalação do experimento. No tratamento que recebeu adubo solúvel, o teor de K nas folhas foi maior do que os tratamentos que receberam o pó de basalto, associados ou não ao esterco bovino e a testemuunha; O tratamento que recebeu adução convencional apresentou maior teor de Mg nas folhas em relação aos tratamentos que receberam pó de basalto; ocorreu diferença significativa entre os tratamentos que receberam pó de basalto em relação à testemuunha e ao tratamento que recebeu adubação convencional para o Cu. O experimento II, conduzido em casa de vegetação com o mesmo solo do experimento 1, objetivou avaliar o efeito da aplicação de doses maiores de do pó de basalto, puras ou associadas com o esterco bovino, sobre a nutrição de eucalipto. Os tratamentos foram: testemuunha, pó de granito + fosfato natural, adubação convencional, pó de basalto nas doses (10, 20, 50 e 100 t.ha<sup>-1</sup>), esterco bovino (4 t.ha<sup>-1</sup>) e as mesmas doses de pó de basalto associado à esterco bovino. A cultura utilizada foi o *Eucalyptus benthamii*. Após 315 dias da instalação do experimento verificou-se mudanças nas propriedades químicas do solo, com aumento do pH e nos teores de P, K, Mg e Si; e aumento dos teores de Si, K, Cu e Zn nas folhas. Com a continuidade do experimento em cultivos sucessivos espera-se que o pó de rocha forneça as plantas os nutrientes de forma contínua, por mais tempo, pois a rocha disponibiliza gradativamente os nutrientes.

**Palavras-chave:** Pó de basalto. Feijão. Eucalipto.

## ABSTRACT

The rocks can be ground and applied straight into soil. Rocks are constituted of slow-dissolution minerals which provide a gradual release of nutrients, contributing to the increment of soil nutritional storage because of residual effects. The application of basalt powder shows a range of benefit to soil such as the capacity to supply nutrients and increase pH. Two experiments were set out aiming to evaluate the potential of basalt utilization from Ponte Alta, SC, Brazil as source of slow releasing nutrients to the plant and the effect chemical properties of soil. The experiment I was carried out in a Nitossolo Bruno in the field at Urupema, SC, evaluated the effect of the addition of increasing doses of the basalt powder, and those associated with the cattle on the chemical properties of soil, nutrition and productivity of bean, compared with the control, fertilizer conventional and manure isolated. The treatments were: control, conventional fertilizer, four crescent doses of basalt powder 2,5, 5,0, 10,0 and 20,0 t.ha<sup>-1</sup> (dry base), cattle manure 4 t.ha<sup>-1</sup> (dry base) and the same doses of basalt powder and cattle manure. The culture used was bean variety IPR – Uirapuru. There were no significant differences by the use of basalt powder in the yield of the bean. There wasn't interaction between year and treatment for the content of macronutrients, micronutrients and Si in the leaf tissue of the plants, but there was an increase in levels of N, P, Ca, Mg, Zn after a year of the installation of the experiment. In the treatment it received soluble fertilizer, the amount of K in leaves was higher than the treatments that received the basalt powder, associated or not the cattle and the control; The treatment that received conventional fertilizer, had higher content of Mg in the leaves in relation to treatment that received basalt powder; was significant difference between treatments that received basalt powder in relation to the control, and the treatment he has received conventional fertilization for Cu. The experiment II was carried in the greenhouse with the same soil of the experiment I aimed to evaluate the effect of the application of the basalt powder, pure or associated with the cattle on the nutrition of eucalyptus. The treatments were: control, granite and natural phosphate, conventional fertilization, four crescent doses of basalt powder 10, 20, 50 and 100 t.ha<sup>-1</sup> (dry base), cattle manure 4 t.ha<sup>-1</sup> (dry base) and the same doses of basalt powder and cattle manure. The culture used was *Eucalyptus benthamii*. After 315 days-experiment it was verified changes in chemical properties in soil followed by pH increase and P, K, Mg and Si, and increases the levels of Si, K, Cu and Zn in the leaves. With the continuation of the trial in successive cultures it is expected that the powder of rock provide the nutrients the plants continuously, any longer, because the rock provides the nutrients gradually

**Key-words:** Basalt powder. Bean. Eucalipto.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Teores de nutrientes considerados adequados para a cultura do feijoeiro.....	17
<b>Tabela 2</b> - Teores médios de nutrientes em folhas de <i>Eucalyptus</i> .....	18
<b>Tabela 3</b> - Composição mineralógica do basalto .....	24
<b>Tabela 4</b> - Teores médios de elementos macronutrientes, Si e Al no basalto e granito.....	24
<b>Tabela 5</b> - Composição granulométrica do pó de basalto e do granito .....	29
<b>Tabela 6</b> - Média de temperatura e precipitação para o município de Urupema.....	30
<b>Tabela 7</b> - Contrastes significativos para as variáveis P e K do solo fertilizado com pó de rochas .....	38
<b>Tabela 8</b> - Valores de pH em água, teores de Al trocável e de matéria orgânica do solo após um ano da instalação do experimento.....	40
<b>Tabela 9</b> - Teores de P e K do solo após um ano de instalação do experimento.....	41
<b>Tabela 10</b> - Teores de Ca, Mg e Si do solo após um ano de instalação do experimento .....	42

<b>Tabela 11</b> - Resumo da análise de variância para as variáveis N, P, K, Ca e Mg das folhas de feijão .....	43
<b>Tabela 12</b> - Resumo da análise de variância para as variáveis Cu, Zn, Fe, Mn e Si das folhas de feijão.....	43
<b>Tabela 13</b> - Contrastess significativos para as variáveis K, Mg, Zn e Cu das folhas de feijão cultivados com pó de rochas .....	43
<b>Tabela 14</b> - Acúmulo de N, P e K nas folhas de feijão na fase de florescimento da cultura. Média dos dois cultivos após um ano da instalação do experimento (g.kg <sup>-1</sup> ) .....	45
<b>Tabela 15</b> - Acúmulo de Ca e Mg nas folhas de feijão na fase de florescimento da cultura. Média dos dois cultivos após um ano da instalação do experimento (g.kg <sup>-1</sup> ).....	46
<b>Tabela 16</b> - Acúmulo de Cu, Zn, Fe, Mn e Si nas folhas de feijão na fase de florescimento da cultura. Média dos dois cultivos após um ano da instalação do experimento (mg.kg <sup>-1</sup> ).....	47
<b>Tabela 17</b> - Rendimento (kg.ha <sup>-1</sup> ) de grãos de feijoeiro com adubação a base de pó de basalto, esterco bovino e adubo solúvel, nos anos agrícolas 2005/06 e 2006/07.....	48
<b>Tabela 18</b> - Contrastess significativos pars as variáveis pH, P, K, Mg, Si do solo fertilizado com pó de rochas .....	49
<b>Tabela 19</b> - Valores de pH do solo cultivado com <i>Euclyptus benthamii</i> .....	50
<b>Tabela 20</b> - Teores de P e K do solo, extraídos pelo método Mehlich - 1.....	51
<b>Tabela 21</b> - Teores de Ca e Mg do solo em função dos tratamentos aplicados.....	52
<b>Tabela 22</b> - Teores de Si trocável do solo em função dos tratamentos aplicados.....	53

<b>Tabela 23</b> - Contrastos significativos para os teores de N e K nas folhas novas e folhas velhas, e teor de Ca nas folhas novas .....	54
<b>Tabela 24</b> - Contrastos significativos para os teores de Cu nas folhas novas e nas folhas velhas, e para os teores de Zn nas folhas novas .....	54
<b>Tabela 25</b> - Contrastos significativos para os teores de Fe nas folhas novas e nas folhas velhas, e para os teores de Mn e Si nas folhas novas do <i>E. benthamii</i> .....	54
<b>Tabela 26</b> - Teor de N, P e K nas folhas novas (FN) e velhas (FV) do <i>E. benthamii</i> (g.kg <sup>-1</sup> )	55
<b>Tabela 27</b> - Teor de Ca e Mg nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do <i>E.benthamii</i> (g.kg <sup>-1</sup> ).....	57
<b>Tabela 28</b> - Teor de Cu e Zn nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do <i>E benthamii</i> (mg.kg <sup>-1</sup> ).....	57
<b>Tabela 29</b> - Teor de Fe e Mn nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do <i>E. benthamii</i> (mg.kg <sup>-1</sup> ).....	58
<b>Tabela 30</b> - Teor de Si nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do <i>E. benthamii</i> (mg.kg <sup>-1</sup> ).....	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Seqüência de cristalização de minerais silicatados durante o resfriamento do Magma, segundo Bowen.....	22
<b>Figura 2</b> - Basalto utilizado como fonte de nutrientes nos experimentos I e II.....	23
<b>Figura 3</b> - Vista geral de parte da pedreira Manjolinho, local onde foi extraído o basalto utilizado nos experimentos.....	29
<b>Figura 4</b> - Moinho de martelo (a); peneira 2 mm. (b, c), utilizados para moer e peneirar a rocha .....	29
<b>Figura 5</b> - Mapa com a localização do município de Urupema.....	31
<b>Figura 6</b> - Centro sobre toda a área experimental antes o cultivo do feijoeiro .....	44

## **SUMÁRIO**

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
1.1. CULTURA DO FEIJÓEIRO .....	16
1.2. CULTURA DO EUCALIPTO.....	17
1.3. FONTE DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS .....	19
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
2.1. MATERIAL TESTADO .....	28
2.2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO I E II ...	30
2.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO I .....	31
2.3.1. Sementes .....	31
2.3.2. Tratamentos .....	32
2.3.3. Delineamento experimental .....	32
2.3.4. Instalação e condução do experimento.....	33
2.4. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO II.....	33
2.4.1. Mudas .....	34
2.4.2. Tratamentos .....	34
2.4.3. Delineamento experimental .....	34
2.4.4. Instalação e condução do experimento.....	35
2.5. ATRIBUTOS AVALIADOS.....	35
2.5.1. Estado nutricional das plantas.....	35
2.5.2. Propriedades químicas do solo.....	36
2.5.3. Produtividade do feijoeiro .....	36
2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36

<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
3.1. EXPERIMENTO I.....	38
3.1.1. Atributos químicos do solo.....	38
3.1.2. Análise química das folhas de feijão.....	42
3.1.3. Rendimento de Grãos .....	48
3.2. EXPERIMENTO II.....	49
3.2.1. Atributos químicos do solo.....	49
3.2.2. Acúmulo de nutrientes nas folhas de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....	53
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
EXPERIMENTO I.....	60
EXPERIMENTO II.....	61
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

## INTRODUÇÃO

Um dos princípios básicos para a garantia de altas produtividades agrícolas é o fornecimento adequado dos nutrientes que a planta necessita. Certos nutrientes apresentam funções específicas e são essenciais no metabolismo e desenvolvimento das plantas. Um elemento é considerado essencial, quando por ocasião da sua ausência, a planta não completa seu ciclo. Os elementos minerais essenciais são classificados em macronutrientes ou micronutrientes de acordo com suas concentrações no tecido vegetal.

São vários os elementos considerados essenciais para a maioria das plantas superiores, oxigênio (O), carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn), sódio (Na) (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Para a cultura manifestar seu potencial produtivo, ela necessita que os elementos essenciais estejam disponíveis e em concentrações adequadas no solo para serem absorvidos. Considerando a baixa fertilidade química da maioria dos solos brasileiros e o uso intensivo dos mesmos para agricultura, as práticas de calagem e adubação são indispensáveis para fornecer nutrientes que não estão em concentrações satisfatórias para atender as necessidades das plantas.

Os fertilizantes são adicionados ao solo para suprir as necessidades nutricionais das plantas, quando o solo não tem capacidade de fornecer - los na sua condição natural, para repor os nutrientes exportados pelas culturas e para compensar as perdas por lixiviação e erosão.

Os elementos essenciais às plantas podem ser fornecidos diretamente ao solo pelo emprego de rochas moídas, *in natura*, ou pela aplicação de fertilizantes prontamente solúveis. Os fertilizantes prontamente solúveis são obtidos por processos industriais que extraem os elementos dos minerais que compõem as rochas, tornando-os solúveis e, quando aplicados ao solo de maneira equilibrada, promovem incrementos de produtividade maiores do que os produtos naturais. Já as rochas moídas são aplicadas ao solo em forma de pó, prática

denominada *rochagem*, a qual pode ser uma alternativa aos adubos solúveis ou serem aproveitados adicionalmente aos fertilizantes industrializados.

Com exceção do N, que pode ser obtido pela planta através da fixação simbiótica, do O, C e H que podem ser obtidos pela fixação de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e a partir da água, todos os demais elementos essenciais estão presentes nos minerais das rochas. As rochas apresentam minerais que podem ser fonte de liberação lenta de nutrientes para o solo e, dependendo da sua composição mineralógica, podem contribuir com quantidades expressivas de elementos por um longo período de tempo, pois cada mineral constituinte da rocha apresenta reatividade diferente no solo e, consequentemente, velocidades distintas de liberação de seus elementos. As rochas moídas podem ser uma alternativa para a recuperação de solos altamente intemperizados, que apresentam pouca ou nenhuma reserva mineral.

São diversas as rochas que podem ser usadas na agricultura como fonte de nutrientes ou como condicionadores de solo. As mais comuns são as rochas calcárias, utilizada como corretivo da acidez, a apatita como fonte do fósforo e as rochas básicas e ultrabásicas.

O feijão comum se destaca por ser uma cultura de grande importância econômica para o Estado de Santa Catarina, especialmente na região do Planalto Catarinense onde a espécie é uma das mais utilizadas na agricultura familiar, com a produção intimamente associada a áreas de pequenas propriedades.

Já as espécies do gênero *Eucalyptus*, muito plantadas em reflorestamentos no Brasil, requerem grande concentração de nutrientes no solo, pois a quantidade absorvida durante o desenvolvimento da planta é elevada.

As possibilidades de utilização de pó de rocha em solos destinados a agricultura são consideradas promissoras, uma vez que, além dos custos serem menores, apresenta a disponibilização lenta e contínua de nutrientes minerais, garantindo assim incremento na fertilidade dos solos a médio e longo prazo.

Considerando que as rochas básicas e ultrabásicas têm sido extensamente utilizadas como a principal fonte de macronutrientes e micronutrientes na agricultura não convencional, a abundância de basalto em Santa Catarina, e a carência de estudos com base científica que avaliem a eficácia do uso deste material como fonte de nutrientes para as plantas, os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito da aplicação de pó de basalto, isolado ou combinado com esterco bovino, sobre algumas propriedades químicas do solo, produtividade e nutrição do feijoeiro e na nutrição do eucalipto.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 CULTURA DO FEIJOEIRO

Entre as leguminosas, o feijão comum se destaca por ser uma cultura de grande importância econômica para os países em desenvolvimento. Esta espécie é a mais difundida entre as demais do gênero *Phaseolus*, cultivada em cerca de 110 países. O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial, com uma produção no ano de 2005 estimada em 3,08 milhões de toneladas, em uma área de aproximadamente 3.812.040 ha (FAO, 2006).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura anual, herbácea, constituída de uma haste principal formada por uma sucessão de nós e entrenós. A planta, trepadora ou não, com hábito de crescimento determinado ou indeterminado, possui sistema radicular ramificado, folhas primárias simples e opostas, folhas definitivas trifolioladas e alternadas, inflorescências do tipo racemo axilar ou terminal (dependendo do hábito de crescimento), fruto do tipo legume, com número de sementes por vagens variando de quatro a sete (VILHORDO et al., 1996).

A planta de feijão é considerada exigente em nutrientes, uma vez que o sistema radicular é superficial e seu ciclo é curto, sendo fundamental que os elementos estejam presentes no solo e a disposição da planta para que se obtenham produtividades satisfatórias (ROSOLEM & MARUBAYASHI, 1994).

As plantas de feijão, em geral, apresentam um ciclo médio de 90 dias, iniciando o período reprodutivo por volta dos 40 a 50 dias após a emergência, quando a planta exige as maiores quantidades de nutrientes. A absorção de elementos minerais no início do ciclo é lenta, aumentando aos 20 dias após a emergência, atingindo a máxima absorção antes do florescimento sendo indispensável a presença dos nutrientes para a planta neste período (OLIVEIRA et al., 1996).

Os níveis adequados de nutrientes nas folhas do feijão são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1-** Teores de nutrientes (base seca) considerados adequados para a cultura do feijoeiro.

Nutriente	SILVA (1999) <sup>(1)</sup>	MALAVOLTA (2006) <sup>(2)</sup>
(g.kg <sup>-1</sup> )		
Nitrogênio	30 - 50	24 - 52
Fósforo	2,5 - 4,0	4,0 - 6,0
Potássio	20 - 24	15 - 35
Cálcio	10 - 25	15 - 25
Magnésio	2,5 - 5,0	4,0 - 8,0
(mg. kg <sup>-1</sup> )		
Cobre	4,0 - 20	5,0 - 15
Zinco	18 - 50	35 - 100
Ferro	40 - 140	100 - 300
Manganês	15 - 100	50 - 400

<sup>(1)</sup>Teor médio de nutriente em folhas de feijão no florescimento.

<sup>(2)</sup>Teor médio de nutriente em folhas de feijão.

O potencial produtivo de uma cultivar de feijoeiro pode ser considerado uma função direta da presença dos nutrientes essenciais no solo. Segundo CARNEIRO (2002), o feijão é cultivado em todos os estados brasileiros, devido a sua boa adaptação às mais diferentes condições edafo-climáticas e diversos sistemas de cultivo. O feijão representa, para grande parte da população da América Latina, um dos alimentos básicos sendo importante fonte de proteínas, minerais, vitaminas e fibras além do seu elevado valor energético (345 calorias.100g<sup>-1</sup>) (BASSINELLO, 2006).

A produção de feijão está intimamente associada às áreas de pequenas propriedades, cultivado essencialmente por produtores descapitalizados e voltada para a subsistência. O feijão foi escolhido como cultura teste devido à grande importância que apresenta no Estado de Santa Catarina, especialmente na região do Planalto Catarinense, sendo utilizada principalmente pela agricultura familiar.

## 1.2 CULTURA DO EUCALIPTO

A área ocupada por florestas plantadas de pinus e eucalipto no Brasil no ano de 2006 atingiu cerca de 5.373.417 ha, com o eucalipto ocupando uma área de 3.549.148 ha (ABRAF, 2006), sendo parte dessa área situada em locais com risco de ocorrência de geadas.

O *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage é de origem australiana, pertence à família *Myrtaceae*, é encontrado em áreas restritas no oeste da cidade de Sydney, em planícies ao longo do Rio Nepean e no vale no Blue Mountains National Park, considerado ameaçado de extinção (HIGA & PEREIRA, 2003). Esta espécie foi introduzida no Brasil pela Embrapa/Florestas de Colombo, no Estado do Paraná, e os estudos experimentais têm revelado que esta espécie apresenta resistência à geadas, rápido crescimento e alta homogeneidade do talhão (GRAÇA et al., 1999).

Como as condições climáticas em algumas regiões dos estados do Sul são caracterizadas pelas baixas temperaturas e ocorrência de geadas, as opções de plantio são restritas a poucas espécies que apresentam resistência ao frio. O *E. benthamii* tem mostrado bom crescimento e resistência a geadas em plantios experimentais com 2 e 3 anos em Santa Catarina (HIGA, 1999). O *E. benthamii* atingiu altura média de 21,7 metros e DAP médio de 18,2 cm aos 8 anos de idade em Colombo, PR (HIGA & PEREIRA, 2003), e alcançou aos 45 meses de idade altura de 16m e DAP médio de 15cm em Dois Vizinhos, PR (HIGA & CARVALHO, 1990).

O manejo nutricional para uma espécie florestal requer grande concentração de nutrientes no solo, uma vez que a quantidade absorvida durante o desenvolvimento da planta é elevada. Os teores de nutrientes considerados adequados nas folhas de espécie de *Eucalyptus* estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2-** Teores médios de nutrientes (base seca) em folhas de *Eucalyptus*.

NUTRIENTE	MALAVOLTA et al., (1997) <sup>(1)</sup>	GONÇALVES (1995) <sup>(2)</sup>
Macronutriente		
$(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$		
Nitrogênio	21-23	13,5-18
Fósforo	1,3-1,4	0,9-1,3
Potássio	9,0-10	9,0-13
Cálcio	5,0-6,0	6,0-10
Magnésio	2,5-3,0	3,5-5,0
Micronutriente		
$(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		
Zinco	12,0-17	35-50
Cobre	7,0-10	7,0-10
Ferro	100-140	150-200
Manganês	300-400	400-600

<sup>(1)</sup> Teores médios em folhas de povoamento de *E. grandis*;

<sup>(2)</sup> Teores médios para espécies de *Eucalyptus* mais plantados no Brasil.

O emprego de fertilizantes minerais em florestas tem sido alvo de pesquisas, pois os solos destinados à silvicultura geralmente são caracterizados pela baixa fertilidade. As possibilidades econômicas de utilização de pós de rocha em áreas destinadas à implantação de florestas são consideradas promissoras, uma vez que além dos custos serem menores apresentam disponibilização lenta e contínua de nutrientes minerais.

### 1.3 FONTES DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS

Para a cultura manifestar seu potencial produtivo ela necessita que os elementos estejam disponíveis no solo para serem absorvidos. Considerando a baixa fertilidade da maioria dos solos brasileiros, o seu uso intensivo pela agricultura e a necessidade de satisfazer a demanda das culturas, as práticas de calagem e adubação são indispensáveis para fornecer nutrientes que não estão em concentrações satisfatórias para atender a demanda das plantas.

Os fertilizantes são aplicados para suprir as necessidades nutricionais das plantas quando o solo não apresenta a capacidade de fornecê-los completamente. Os fertilizantes minerais são constituídos por compostos inorgânicos, e alguns compostos orgânicos sintéticos como a uréia e os quelatos e, ao aplicá-los espera-se que se estabeleça uma concentração adequada dos nutrientes na solução do solo.

A agricultura brasileira, mais do nunca, busca alternativas para a verticalização da produção, objetivando atingir ganhos em produtividade com o propósito de tornar o processo produtivo mais rentável. Os fertilizantes e corretivos agrícolas são os insumos mais importantes para aumentar a produtividade das culturas. Entretanto eles devem ser aplicados corretamente de modo a atingir alta eficiência.

Os fertilizantes minerais, naturais ou processados pelas indústrias, devem conter nutrientes essenciais para que as plantas completem o seu ciclo. Com exceção do N que pode ser obtido pela planta através da fixação simbiótica, C, H e o O pela água e pela atmosfera, todos os outros nutrientes estão presentes nos minerais das rochas.

As rochas são constituídas por uma diversidade muito grande de minerais. Entretanto, os elementos que fazem parte da sua composição mineralógica não estão de forma diretamente disponível para as plantas, devendo ser submetidos previamente aos processos naturais de desintegração física e decomposição química ou biológica para serem fontes de nutrientes para as culturas (van STRAATEN, 2002).

Os fertilizantes prontamente solúveis são obtidos pelas indústrias que extraem os elementos dos minerais que compõem as rochas, tornando-os solúveis e rapidamente disponíveis. Estes fertilizantes são aplicados ao solo geralmente em forma de sais, os quais reagem rapidamente na solução do solo, sendo passíveis de serem perdidos por lixiviação, além de ocorrer grande dispêndio de energia durante todo o processo de produção.

Entretanto, deve ser levado em consideração que o uso de fertilizantes solúveis é importante para o desenvolvimento e produção de algumas culturas, especialmente aquelas de ciclo curto, tendo por base o argumento de que nesta forma os elementos são disponibilizados mais rapidamente, atendendo de forma eficaz as exigências da maioria das plantas cultivadas (RAIJ, 1991).

O uso de fertilizantes solúveis teve início nos países da Europa da metade para o final do século IX, mas o consumo aumentou expressivamente nas três décadas após a 2<sup>a</sup> Guerra Mundial. Nos países em desenvolvimento o maior consumo iniciou nos anos sessenta do século XX, sendo atualmente de uso generalizado. Contudo, as pequenas e médias propriedades possuem condições limitadas para utilizar insumos industrializados, o que leva a um decréscimo da sua produtividade. Aliado a isso, para os produtores que praticam a agricultura orgânica, o emprego de fertilizantes minerais prontamente solúveis no processo de produção não é permitido, de acordo com as normas de produção e certificação dos produtos orgânicos de origem vegetal. Considerando ainda o fato das jazidas de algumas rochas estarem se tornando escassas, além do risco eminente de maior contaminação ambiental com o uso de fertilizantes prontamente solúveis, especialmente dos recursos hídricos (SCHUMACHER et al., 2001), busca-se alternativas aos fertilizantes industriais.

Uma opção aos fertilizantes prontamente solúveis são as rochas, moídas e aplicadas ao solo na forma pó, prática denominada *rochagem* (THEODORO & LEONARDOS, 2006), que podem servir como alternativa aos adubos solúveis ou serem aproveitadas em conjunto com os fertilizantes industrializados.

A utilização de pó de rocha como fonte de nutrientes não é uma prática recente. Os primeiros a descreverem essa atividade foram Missoux e Hensel no século IX (van STRAATEN, 2006). No entanto, as pesquisas avaliando o potencial desse material têm recebido enfoque maior nas últimas décadas (FYFE, 1987 e 2000; van STRAATEN, 1987, 2002 e 2006; LEONARDOS et al., 1987 e 2000; THEODORO & LEONARDOS, 2006; AMPARO, 2003; GAMA, 2003; BARRETO, 1998, entre outros).

A Lei Nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica, e a Instrução Normativa Nº007 de 17 de maio de 1999, relaciona entre os insumos permitidos

as “farinhas e pós de rochas”. Apesar de ainda não credenciados como fertilizantes pelos órgãos oficiais de fiscalização, as rochas moídas vêm sendo cada vez mais utilizadas por agricultores como fonte de nutrientes, e com a finalidade de promover melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo contribuindo para o desenvolvimento e a nutrição das plantas.

A utilização de pó de rocha apresenta algumas vantagens em relação aos fertilizantes prontamente solúveis. Misturas adequadas de rochas moídas têm o potencial de fornecer aos solos um grande número de macronutrientes, micronutrientes e elementos benéficos (LEONARDOS et. al., 1987).

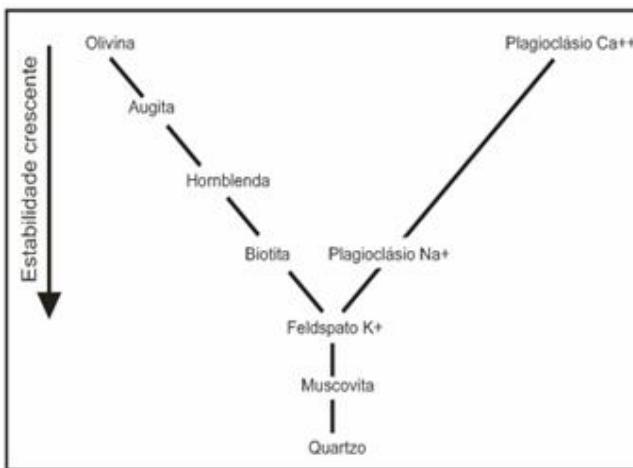
Apesar da velocidade de liberação dos elementos ao solo ser menor do que os fertilizantes solúveis, o pó de rocha pode contribuir com o efeito residual por um longo período (HARLEY & GILKES, 2000), conferindo fornecimento gradual de nutrientes com tendência ao aumento do pH (von FRAGSTEIN et al., 1988), além de reduzir os custos de produção agrícola, pois apresenta baixo custo de beneficiamento uma vez que envolve apenas a moagem das rochas, aliado ao fato de serem amplamente distribuídas em várias regiões do país.

A aplicação da rocha moída ao solo tem nas rochas calcárias e nas apatitas os casos de uso mais generalizados. BARRETO (1998) afirma que as melhores rochas para promover a recuperação e, consequentemente, contribuir para a reserva nutricional dos solos, são as rochas básicas e ultrabásicas, pois apresentam minerais ferromagnesianos e micronutrientes em abundância. LEONARDOS et al., (1976) indicam para a prática da *rochagem* o basalto, que representa uma fonte de macro e micronutrientes.

As rochas vulcânicas extrusivas originaram-se do magma que, sob elevada temperatura e pressão, foi projetado do interior da Terra para a superfície, por meio de vulcões ou fissuras na crosta. As rochas são formadas pela agregação de um ou diversos minerais e se diferenciam quanto à composição química e mineralógica, origem, textura, estrutura, clivagem, dentre outros (MACHADO et al., 2007).

Com o resfriamento do magma sobre a superfície terrestre formam-se as rochas ígneas extrusivas, como o basalto e o riolito, ocorrendo neste caso resfriamento rápido e a formação de grãos minerais muitos pequenos, ao contrário do resfriamento lento em que as rochas são formadas com grãos minerais relativamente grandes como, por exemplo, o granito e o gabro, onde o magma consolida-se no interior da crosta terrestre (MACHADO et al., 2007).

Durante o processo de solidificação do magma os minerais cristalizam em uma sequência definida, separando-se à medida que a temperatura diminui. A anortita e as olivinas são os primeiros minerais a se solidificar. À medida que o magma é resfriado outros minerais, como os feldspatos e a horblenda se cristalizam. Na sequência, um dos últimos minerais a sofrer a cristalização é o quartzo. Os primeiros minerais a se formarem são aqueles mais facilmente alteráveis, como a anortita e as olivinas. Norman Bowen foi o primeiro a estabelecer a sequência de reações que ocorrem no magma durante a diferenciação. Primeiro se diferenciam os minerais no ponto de fusão mais elevado. Os minerais que foram formados sob altas temperaturas são mais instáveis (Figura 1).



**Figura 1-** Seqüência de cristalização de minerais silicatados durante o resfriamento do magma segundo Bowen.

O basalto é uma rocha denominada ígnea, vulcânica ou extrusiva, onde o resfriamento e a consolidação do magma ocorreram na superfície. Neste caso, o resfriamento do magma foi rápido uma vez que se encontrava em contato direto com a atmosfera. Em função do tamanho dos minerais presentes na sua estrutura, a rocha é classificada como sendo afanítica, nas quais, a olho nu, é impossível a distinção dos minerais (MACHADO et al., 2007). Quanto ao teor de Si que varia de 45% a 54% de  $\text{SiO}_2$ , ela é considerada básica, classificação que representa um critério químico relacionado com a quantidade de sílica total na rocha. Na composição química dos minerais das rochas ígneas ocorre uma maior frequência de óxidos, sendo os de maior importância o óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que variam entre 12 e 18%, e os óxidos de ferro, manganês, magnésio e de cálcio que também fazem parte da composição das rochas basálticas. O basalto é considerado uma rocha máfica ou

melanocrática, ou seja, é uma rocha de coloração escura devido principalmente a presença de Fe e Mg na sua composição (Figura 2).



**Figura 2-** Basalto utilizado como fonte de nutrientes nos experimentos 1 e 2.

Fonte: Banco de dados museu “HEINZ EBERT”.

As rochas basálticas apresentam vários minerais silicatados na sua estrutura sendo uma importante fonte de elementos minerais para o solo. Apresentam altos teores de Si e Al além dos cátions básicos como Ca, Mg e Fe (Tabela 3), são ricas em minerais facilmente alteráveis como piroxênios e plagioclásios (RESENDE et al., 2002).

Os principais minerais que compõem os basaltos estão listados na tabela 4. Verifica-se que a rocha contém cerca de 17% de anortita, um silicato de alumínio do grupo dos feldspatos com 19% de Ca na sua estrutura, cuja fórmula química é  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . O ortoclásio, que corresponde a um feldspato potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), e a sua presença aponta uma fonte de K para o solo. O diopsídio ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), importante fonte de Mg e Ca para o solo, e o hiperstênio composto em média de 30% de Fe e 17% de Mg.

**Tabela 3-** Teores médios de elementos macronutrientes, Si e Al no basalto e granito.

ROCHA	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	%					
Basalto	0,24	1,96	7,37	3,03	54,97	11,99
Granito	0,18	5,46	1,33	0,52	72,08	13,86
	Cu	Zn	Fe	Mn		
	Ppm					
Basalto	100	100	2700	1500		
Granito	10,00	40,00	8600	400		

Fonte: IBGE (1986).

**Tabela 4-** Composição mineralógica do basalto.

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	Teor (%)
Ortoclásio	9,99
Anortita	17,35
Diopsídio	19,68
Hiperstênio	4,91
Albita	25,32
Magnetita	9,42
Apatita	0,44
Quartzo	10

Fonte: IBGE (1986).

A alteração do pó de rocha é um processo muito lento e complexo. Depende de fatores como a composição química e mineralógica da rocha, granulometria, tempo de reação, e fatores do solo como pH e atividade biológica (OSTERROHT, 2003).

Os elementos são liberados dos minerais pelos processos de intemperismo, ou seja, as rochas são submetidas a processos que ocasionam a desintegração e decomposição da sua estrutura. Como a composição da rocha é bastante variada em espécies minerais cada uma libera seu elemento em velocidades diferentes. von FRAGSTEIN et al. (1988) observaram que as rochas basálticas apresentam taxas de liberação de elementos minerais mais rápidas quando comparadas ao granito. Desta forma conclui-se que, com base na sua composição mineralógica, o basalto resiste menos ao intemperismo que o granito. Portanto o basalto, rocha de textura afanítica, sofre intemperismo mais rápido em relação ao granito, rocha de textura fanerítica. A granulometria da rocha tem grande influência, pois quanto maior a área

superficial exposta ao ataque dos agentes químicos, físicos e biológicos do intemperismo, mais rápida é a alteração do material (OSTERROHT, 2003).

Quanto à atividade biológica, muitos microorganismos produzem substâncias capazes de acelerar a decomposição da rocha liberando os elementos minerais. Os estercos animais apresentam grande quantidade desses organismos (KIEHL, 1985).

Para que ocorra a liberação dos elementos que compõem as rochas, elas devem ser submetidas a alterações físicas e químicas. O intemperismo físico corresponde a uma desagregação da estrutura da rocha sem haver mudança na composição química, já a alteração química ocorre quando a estrutura dos minerais é quebrada (LUCHESE et al., 2002).

Estudos de laboratório realizados por BLUM et al. (1989a, b) mostram que as taxas de liberação de nutrientes das rochas acontecem de forma muito lenta. Segundo BOLLAND & BAKER (2000), a eficácia do pó de rocha como fonte de nutrientes para o solo é questionada devido à baixa solubilidade e pela necessidade de aplicar grandes quantidades de pó de rocha ao solo para se obter respostas positivas.

Entretanto, uma série de estudos comprova os efeitos positivos do uso de rochas moídas como fonte de nutrientes para o solo. THEODORO & LEONARDOS (2006) avaliaram o potencial da rocha vulcânica Mata da Corda (MG) em um solo arenoso derivado do sedimento Bambuí, verificaram aumento do pH e nos teores de Ca, Mg, P e K no solo após o primeiro ano, com tendência para estabilizar-se e gradualmente diminuir após o segundo ano, permanecendo com teores maiores aos das parcelas que não receberam o pó mesmo após cinco anos da implantação do experimento. Os estudos foram realizados em parceria com agricultores familiares de um assentamento rural e demonstraram que, a *rochagem* apresenta vantagens econômicas e ambientais significativas para o milho, arroz, mandioca, cana de açúcar e hortifrutigranjeiros.

NICHELE (2006), com o objetivo de avaliar o potencial do pó de basalto, proveniente dos municípios de Ponte Alta-SC e de São José do Cerrito-SC, como fonte de liberação de nutrientes para o feijoeiro em um Cambisso Húmico, verificou após o primeiro ano que todos os tratamentos com pó de basalto proporcionaram produtividades similares as dos tratamentos com calcário e do calcário com adubo convencional, e aumento nos teores de Ca e Mg do solo. ALMEIDA et al. (2004), em experimento com o mesmo pó de basalto, isolado e associado ao esterco bovino, em cultivo de feijão, observou que os maiores rendimentos foram com 2 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, seguido do tratamento com 4 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto associado ao esterco bovino.

O basalto oriundo do município de Porto União-SC foi testado por KNAPIK (2005) em dois experimentos avaliando o desenvolvimento de mudas de *Mimosa scabrella* Benth e *Prunus sellowii* Koehne. No ensaio I, os autores testaram a utilização de pó de basalto e diferentes misturas de substrato comercial a base de *Pinus* sp, vermiculita, fibra de coco mista e húmus de minhocas, e quatro adubações, enquanto no Ensaio II, foram testados pó de basalto com dois substratos (misturas de substrato comercial a base de casca de *Pinus* sp e vermiculita, e esterco de cavalo) e três adubações. Os resultados para o Ensaio I mostraram que o pó de basalto proporcionou mudas maiores que a testemunha, no entanto, sem diferença estatística. Já no Ensaio II, a adubação com pó de basalto mais esterco de cavalo, o desenvolvimento das mudas foi prejudicado, possivelmente pela falta de aeração no substrato. KNAPIK (1987), utilizando o mesmo basalto observou maiores pesos de biomassa total de rabanetes nos tratamentos com a maior dose de pó de basalto ( $4,8 \text{ kg/m}^2$ ), sem a adição de esterco e NPK.

CRISTAN (2007), utilizando pó de basalto em solo arenoso de baixa fertilidade em um pomar de Pêras Coroas que apresentavam deficiência de zinco, obteve resultado visual positivo a partir da aplicação do pó de basalto. GILLMAN (1980) e GILLMAN et al. (2001) na Austrália, ilustram os efeitos positivos da aplicação de altas doses de pó de rocha basáltica em solo com baixa fertilidade. GILLMAN (1980) incubou por 12 meses pó de basalto no solo e observou aumento significativo no pH e na capacidade de troca de cátions, constatando que o efeito foi mais pronunciado com a diminuição da granulometria e aumento do tempo de contato entre o material e o solo. GILLMAN et al. (2001) observaram o comportamento de sete solos na Austrália, Queensland, com a incubação de doses crescentes de pó de basalto (0, 1, 5, 25 e  $50 \text{ t.ha}^{-1}$ ), apresentaram aumento no pH, na CTC e nos teores de cátions básicos.

HILDEBRAND & SCHACK-KIRCHNER (2000) e von WILPERT e LUKES (2003) observaram efeitos positivos em solos de floresta na Alemanha fertilizados com pó de rochas silicatadas. Foram observados incremento nos teores de Ca, K e no pH em função da aplicação de  $6 \text{ t.ha}^{-1}$  de pó de rocha vulcânica.

KUDLA et al. (1996), incubando pó de basalto no solo em doses de até  $255 \text{ t.ha}^{-1}$  por um período de três meses verificou pequeno efeito sobre o pH em um Cambissolo Álico. A utilização de pó de basalto como corretivo da acidez para este tipo de solo, com alto poder tampão, não é satisfatório, pois são necessárias doses muito elevadas para que ocorra efeito positivo significativo.

ROSCHNIK et al. (1967) observaram aumento exponencial no rendimento de legumes com aplicação de 5 a  $40 \text{ t.ha}^{-1}$  de pó de basalto. Aumentos significativos no rendimento de

cana-de-açúcar subsequentes à aplicação de altas doses de pó de basalto ( $180 \text{ t.ha}^{-1}$ ) e efeito residual significativo foram obtidos por d' HOTMAN DE VILLIERS (1961).

Misturas de pó de rochas já são comercializadas no Brasil, como a farinha de rocha MB-4 (empresa MIBASA de Arapiraca-AL), farinha de rochas da empresa Ipirá Fértil (Ipirá, Bahia) e Itáfertil de Bom Sucesso (Itararé, São Paulo). Resultados positivos com o emprego do produto foram observados em soja e em melão na região de Petrolina-PE. Na cultura da cana-de-açúcar foi obtido aumento na produção agrícola de 43%. Com uva Itália relata-se aumento de produção de 33%. Em arroz irrigado foi obtido aumento de produção de 20%. No abacaxi, os frutos apresentaram peso médio maior, e maior percentual de frutos com peso acima de 1.400 gramas (BARRETO, 1998).

Não foram observadas mudanças significativas no desenvolvimento das plantas e nas propriedades químicas do solo, pela aplicação de doses equivalentes a  $200 \text{ t.ha}^{-1}$  de basalto moído em solo de baixa fertilidade do Rio Grande do Sul, em experimento em casa de vegetação (ESCOSTEGUY et al., 1985). Entretanto, não foi avaliado o efeito residual em culturas subsequentes, devido ao pequeno período de condução do experimento.

Em um experimento com a cultura do cacau, não foi observado efeito pela aplicação de doses de até 8 kg/planta do melhorador de solo de Ipirá (farinha de rocha), sobre a produção média de sementes/planta e produção média de frutos/planta. Porém, a produção de frutos inteiros foi incrementada até a dose estimada de 4,9 kg/planta. Para doses maiores houve decréscimo da produção (BORGES FILHO et al., 2004).

KIEHL (2002), afirma que a utilização do pó de basalto como corretivo do solo trouxe resultados positivos podendo ser uma boa alternativa aos agricultores. Segundo o autor, a maior vantagem é que o pó de basalto pode ser encontrado em várias pedreiras comerciais, tornando o pó de rocha um recurso mais barato em comparação aos fertilizantes industrializados.

Considerando que as rochas básicas e ultrabásicas têm sido utilizadas como a principal fonte de macronutrientes e micronutrientes na agricultura não convencional, a abundância de basalto em Santa Catarina e a carência de estudos com base científica que avaliem a eficácia do uso desse material como fonte de nutrientes para as plantas, conduziu-se o presente trabalho, para avaliar o efeito da aplicação de pó de basalto sobre algumas propriedades químicas do solo, produtividade e nutrição do feijoeiro e a absorção de nutrientes pelo eucalipto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados dois experimentos, um conduzido a campo em Urupema - SC, e o outro conduzido em condições de casa de vegetação em Lages - SC, identificados como Experimento I e Experimento II. As culturas utilizadas para avaliar o potencial do pó de basalto como fonte de liberação lenta de nutrientes foi respectivamente, o feijão da variedade IPR Uirapuru e mudas de clones de *Eucalyptus benthamii*.

### 2.1 MATERIAL TESTADO

Foi avaliado o potencial de utilização do basalto proveniente da pedreira Manjolinho, situada em Ponte Alta - SC (Figura 3).

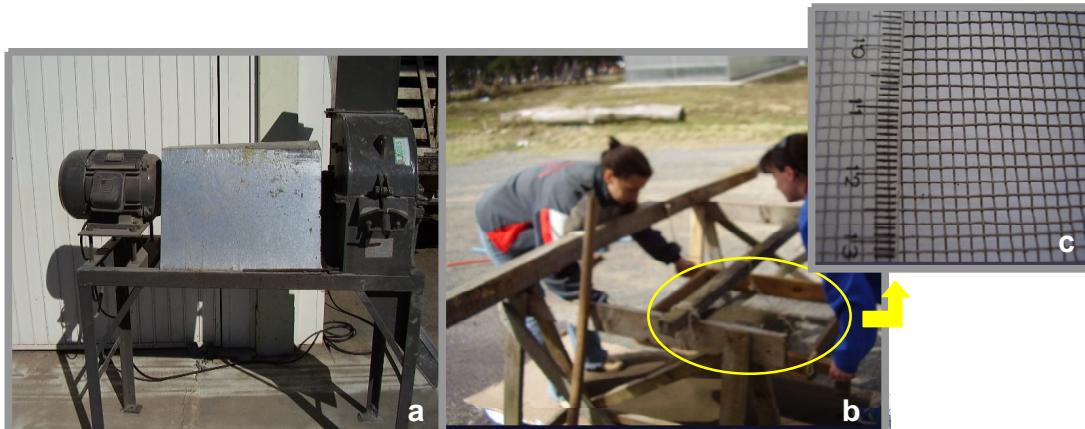
Em laudo técnico de análise petrográfica fornecido pela pedreira, constatou-se que o basalto é do tipo meláfiro, apresenta um relevante estado de argilização, com a formação de óxidos de ferro por toda a sua porção central. Apresenta uma estrutura maciça, contendo plagioclásios do tipo labradorita ( $\text{Na}_{0,5-0,3}\text{Ca}_{0,5-0,7}\text{Al}(\text{Al}_{0,5-0,7},\text{Si}_{0,5-0,3})\text{Si}_2\text{O}_8$ ), clinopiroxênio do tipo augita ( $\text{Ca, Mg, Al}_2(\text{Si, Al})_2\text{O}_6$ ), opacos de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) e ilmenita ( $\text{FeTiO}_2$ ), e óxidos de ferro.

O basalto foi adquirido como brita, submetido à moagem em moinho de martelo com grelhas de 0,8 mm de abertura (Figura 4a), e peneirado (Figura 4b), utilizzando-se apenas o material que passou na malha de 2 mm (Figura 4c).

O granito foi adquirido em blocos, quebrado com auxilio de uma marreta em pedaços menores e submetido à moagem e peneira, da mesma maneira que o basalto. A apatita é um produto comercial com granulometria inferior a 0,053 mm.



**Figura 3-** Vista geral de parte da Pedreira Manjolinho, local onde foi extraído o basalto utilizado nos experimentos.



**Figura 4-** Moinho de martelo (a); peneira 2 mm. (b, c), utilizados para moer e peneirar a rocha.

O pó de basalto e o granito utilizado nos experimentos I e II consiste apenas do material com diâmetro inferior a 2 mm, sendo o excedente descartado, conferindo ao material final uma composição granulométrica de acordo com a tabela 5.

**Tabela 5-** Composição granulométrica do pó de basalto e do granito.

Rocha	Peneira			
	2.0 mm	0.8 mm	0.30mm	<0.30mm
Basalto	1, 597	29, 071	20, 091	49, 241
Granito	1, 286	30, 713	31, 479	36, 522

Fonte: Nichele (2006)

## 2.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO I e II

O experimento I foi conduzido em Urupema no Estado de Santa Catarina, na localidade de Rio dos Touros, distante 52 km da cidade de Lages (Figura 5). Urupema é localizada a uma latitude de 27° 57'10" Sul, longitude de 49°52'23" Oeste com altitude média de 1350 m. O município apresenta clima mesotérmico úmido (Cfb), segundo a classificação de Köppen, sendo as chuvas bem distribuídas durante todo o ano com leve deficiência hídrica de dezembro a fevereiro e maiores níveis de precipitação no período do inverno.

No período em que o experimento foi realizado, as médias de temperatura e precipitação para Urupema foram às seguintes (Tabela 6):

**Tabela 6-** Média de temperatura e precipitação para o município de Urupema.

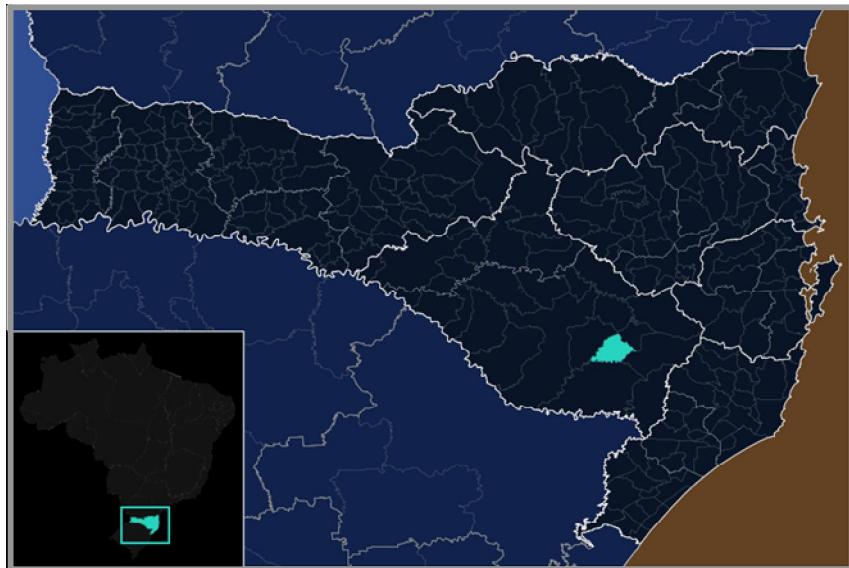
Mês/ano	Temperatura °C	Precipitação (mm)
Dez/2005	14,80	104,20
Jan/2006	18,10	237,30
Dez/2006	17,30	144,60
Jan/2007	17,00	138,00

Fonte: Epagri-Urupema.

O solo do experimento é da classe Nitossolo Bruno (EMBRAPA, 2006), apresenta textura muito argilosa, teor de 65% de argila no horizonte A, desenvolvido de basalto. No período anterior a instalação do experimento a área era destinada à pecuária extensiva.

O experimento II foi instalado em casa de vegetação na Universidade do Estado de Santa Catarina, no Centro de Ciências Agroveterinarias, localizado no Município de Lages - SC a 223 km de Florianópolis.

O solo utilizado foi o mesmo da área do experimento I, tendo sido coletada a camada superficial, 0 - 20 cm, de parte da área experimental.



**Figura 5-** Mapa com a localização do Municipio de Urupema.

Fonte: Wikipedia

## 2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO I

O experimento I foi instalado a campo em dezembro de 2005 com o objetivo de comparar as doses crescentes de pó de basalto, associadas e não associadas ao esterco bovino, com a testemunha e adubo solúvel, utilizando como atributos de avaliação o desempenho da cultura do feijão e algumas propriedades químicas do solo.

### 2.3.1 Sementes

Foram utilizadas sementes de feijão da variedade IPR Uirapuru adquiridas no comércio local. O feijão IPR Uirapuru é uma cultivar do grupo preto, de ampla adaptação, hábito de crescimento indeterminado, porte ereto, ciclo médio de 86 dias da emergência a colheita, apresenta tolerância ao déficit hídrico e a alta temperatura durante a fase reprodutiva. As sementes possuem tegumento preto e teor médio de proteína de 21% (IAPAR, 2007).

### 2.3.2 Tratamentos

Os tratamentos constaram da testemunha (solo previamente calcariado para pH 5,2), adubação convencional, de acordo com as recomendações para a cultura, quatro doses crescentes de pó de basalto 2,5, 5,0, 10,0 e 20,0 t.ha<sup>-1</sup> (base seca), esterco bovino 4 t.ha<sup>-1</sup> (base seca) e as mesmas doses de pó de basalto associado à esterco bovino, totalizando onze tratamentos.

Tratando-se de um solo originalmente de reação ácida, com níveis altos de alumínio trocável, toda a área experimental foi previamente calcariada para elevar o pH a 5,2.

### 2.3.3 Delineamento experimental

O experimento foi disposto em esquema inteiramente casualizado, com onze tratamentos e quatro repetições por tratamentos. Cada parcela correspondeu a uma área de 3x4m.

As distintas misturas dos materiais utilizados resultaram na seguinte disposição:

T1 - Testemunha;

T2 - Adubação convencional (conforme recomendações para a cultura do feijoeiro);

T3 - 2,5 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto;

T4 - 5,0 t.ha<sup>-1</sup> pó de basalto;

T5 - 10,0 t.ha<sup>-1</sup> pó de basalto;

T6 - 20,0 t.ha<sup>-1</sup> pó de basalto;

T7 - 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino;

T8 - 2,5 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino;

T9 - 5,0 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino;

T10 - 10,0 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino;

T11 - 20,0 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino;

### 2.3.4 Instalação e condução do experimento

A amostragem do solo foi realizada em setembro de 2005, antes da instalação do experimento, e determinado o pH em H<sub>2</sub>O e pH pelo método SMP, com o objetivo de determinar a acidez potencial do solo e a necessidade de calcário. Por ocasião da instalação do experimento, a área foi submetida à calagem prévia para elevação do pH a 5,2 (ALMEIDA et al., 1999) e a aração e gradagem.

A distribuição dos tratamentos na área experimental foi realizada no mês de novembro de 2005, sendo calculada proporcionalmente a quantidade de pó de basalto e esterco bovino para cada tratamento.

Em todas as parcelas, exceção feita ao tratamento com adubação convencional, foi adicionado 1 t.ha<sup>-1</sup> de pó de granito moído como fonte de K, e 300 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá como fonte de P, distribuídos homogeneamente nas parcelas.

O tratamento com adubação convencional recebeu adubo prontamente solúvel nas quantidades: 105 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples), 30 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e 30 kg.ha<sup>-1</sup> de uréia, de acordo com as recomendações da COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (2004).

Todos os tratamentos foram aplicados uniformemente sobre a superfície das parcelas e posteriormente incorporados na camada arável com enxada rotativa. As práticas de gradagem e enxada rotativa em solos que recebem fontes naturais de nutrientes poderão contribuir para a maior dissolução do pó das rochas. No caso do fosfato natural, por exemplo, com a movimentação do solo as partículas podem ser depositadas em locais que não apresentem alta concentração de Ca e P e acelerar o processo da dissolução (KIRK & NYE, 1986).

O plantio das sementes do feijão foi realizado em dezembro de 2005 e 2006, manualmente, utilizando-se 15 sementes por metro linear com espaçamento de 50 cm entre linhas.

## 2.4 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO II

O experimento II foi instalado em fevereiro de 2005 com o objetivo de comparar doses crescentes de pó de basalto, associados e não associados ao esterco bovino, a testemunha e ao

adubo solúvel, utilizando como atributos o desempenho de mudas clonais de *Eucalyptus benthamii*.

#### 2.4.1 Mudas

As mudas de clone de *Eucalyptus benthamii* foram disponibilizadas pela Epagri de Lages-SC (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A.).

#### 2.4.2 Tratamentos

Todos os tratamentos receberam calagem para elevar o pH em água para o valor de 5,5. Os tratamentos constaram da testemunha; granito ( $1 \text{ t.ha}^{-1}$ ) + fosfato natural ( $300 \text{ kg.ha}^{-1}$ ); adubação convencional, de acordo com as recomendações para a cultura (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004); quatro doses crescentes de pó de basalto  $10,0, 20,0, 50,0$  e  $100,0 \text{ t.ha}^{-1}$  (base seca) associados ao granito e ao fosfato natural; esterco bovino  $4 \text{ t.ha}^{-1}$  (base seca) mais fosfato natural e granito, e as mesmas doses de pó de basalto associado à esterco bovino, granito e fosfato natural, totalizando doze tratamentos.

#### 2.4.3 Delineamento experimental

O experimento foi disposto em esquema de delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As distintas misturas dos materiais utilizados resultaram na seguinte disposição:

T1 - Testemunha;

T2 - Granito + Fosfato Natural (GFN);

T3 - Adubação convencional;

T4 -  $10 \text{ t.ha}^{-1}$  de pó de basalto + (GFN);

T5 -  $20 \text{ t.ha}^{-1}$  de pó de basalto + (GFN);

T6 -  $50 \text{ t.ha}^{-1}$  de pó de basalto + (GFN);

T7 -  $100 \text{ t.ha}^{-1}$  de pó de basalto + (GFN);

T8 -  $4 \text{ t.ha}^{-1}$  de esterco bovino + (GFN);

T9 -  $10 \text{ t.ha}^{-1}$  de pó de basalto +  $4 \text{ t.ha}^{-1}$  de esterco bovino + (GFN);

T10 - 20 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino + (GFN);

T11 - 50 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino + (GFN);

T12 - 100 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> de esterco bovino + (GFN);

#### 2.4.4 Instalação e condução do experimento

Para a instalação do experimento realizada no mês de fevereiro de 2006, foi calculada proporcionalmente a quantidade de pó de basalto e esterco bovino para cada unidade experimental. Cada unidade experimental foi representada por um vaso plástico com capacidade de 8 L. Logo em seguida, foi determinado o peso de solo em cada vaso e, só então realizada a mistura do solo com os tratamentos até completa homogeneização.

Com as unidades experimentais prontas foi realizado o plantio das mudas, que permaneceram em casa de vegetação até dezembro de 2006 mantidas com umidade correspondente a 80% da capacidade de campo.

### 2.5 ATRIBUTOS AVALIADOS

#### 2.5.1 Estado nutricional das plantas

É nas folhas que ocorrem à maioria dos processos metabólicos e fisiológicos da planta, sendo que o conteúdo mineral no tecido foliar está intimamente relacionado com o seu desenvolvimento. A análise foliar representa o critério apropriado para determinar o estado nutricional das plantas, e no caso do *Eucalyptus*, há trabalhos que mostram que a folha é o órgão da planta que mais concentra os nutrientes minerais, com exceção do cálcio, onde os maiores teores estão presentes na casca (PEREIRA et al., 1984).

Para a avaliação do acúmulo de nutrientes nas plantas de feijão e de eucalipto dos experimentos I e II respectivamente, foi realizada análise destrutiva pela coleta das folhas. Para a cultura do feijão foram colhidas aleatoriamente as folhas medianas com pecíolo de 10 plantas por parcela no início do florescimento. Para o eucalipto, as folhas foram colhidas e separadas em folhas novas (terço superior) e velhas (terço inferior) de cada planta.

As folhas foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em estufa com circulação forçada de ar à 60°C por 72 horas para secagem. Após este período as folhas foram moídas em moinho de faca tipo Wiley e submetidas à passagem na peneira de 1 mm.

Foi determinada as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe de acordo com metodologias descritas por TEDESCO et al. (1995). A determinação do Si na planta foi realizada segundo procedimento descrito por ELLIOTT et al. (1991).

### 2.5.2 Propriedades químicas do solo

A análise do solo é uma técnica que permite avaliar de maneira direta a fertilidade do solo. As propriedades químicas do solo foram determinadas após um ano da instalação do experimento I. As amostras de cada parcela foram coletadas na camada de 10 cm com trado holandês. Para o experimento II, a coleta de amostras de solo de cada vaso foi realizada aos 315 dias após a instalação do experimento.

Foram realizadas as seguintes análises químicas do solo: pH em água, P, K, Ca, Mg, Al e matéria orgânica. Todos os procedimentos foram feitos de acordo com metodologias descritas por TESDESCO et al. (1995). A determinação do Si disponível do solo foi realizada segundo ELLIOTT et al. (1991).

### 2.5.3 Produtividade do feijoeiro

A produtividade do feijoeiro foi determinada pela colheita e pesagem dos grãos da área total de cada parcela.

## 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas através do programa SAS 2007. Foi aplicada a análise de variância com o teste de F, e montados contrastes de interesse de acordo com os objetivos do experimento para verificar a diferença entre os tratamentos aplicados, a 5% de significância. Segundo os objetivos do experimento, foram montados os seguintes contrastes de interesse:

Testemunha *versus* Tratamentos que receberam pó de basalto;

Testemunha *versus* Tratamentos que receberam pó de basalto associado ao esterco bovino;

Tratamento que recebeu adubo solúvel *versus* Tratamentos que receberam pó de basalto;

Tratamento que recebeu adubo solúvel *versus* Tratamentos com pó de basalto associado ao esterco bovino;

Tratamentos que receberam o pó de basalto *versus* Tratamentos que receberam o pó de basalto associado ao esterco bovino;

Testemunha *versus* Tratamento que recebeu granito + fosfato natural.(Para o experimento II)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 EXPERIMENTO I

##### 3.1.1 Atributos químicos do solo

De acordo com os contrastes montados não foram verificadas diferenças significativas para pH, Al trocável, matéria orgânica, Ca, Mg e Si do solo. Houve diferença significativa nos contrastes montados para P e K (Tabela 7).

**Tabela 7-** Contrastess significativos para as variáveis P e K do solo fertilizado com pó de rochas.

CONTRASTES	Q.M	
	P	K
Testemunha <i>versus</i> adubo solúvel	730,60*	
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto		13149,90*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino		10931,71*
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto	469,66*	
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino	408,18*	
<b>Pó de Basalto <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino</b>		

\* significativo ( $p < 0,05$ ).

De acordo com as recomendações da COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (2004) o cultivo do feijoeiro deve ser realizado em solos com pH em torno de 6,0. A maneira mais prática de atingir esse pH é pela aplicação de calcário. A calagem promove aumento do sistema radicular e da parte área das plantas de feijão, refletindo na produtividade da cultura pois elimina a toxidez do Al e do Mn (RAIJ, 1991).

Para solos altamente tamponados a quantidade de calcário requerida para elevar o pH do solo a 6,0 é elevada, devido ao alto teor de matéria orgânica e Al trocável. Contudo, conforme ALMEIDA et al. (1999), a elevação do pH em H<sub>2</sub>O para 5,2, além de exigir menor quantidade de calcário, é capaz de promover a diminuição dos valores de Al trocável da CTC do solo e proporcionar aumento expressivo nos teores de Ca e Mg.

O pH do solo (Tabela 8) corrigido para o valor 5,2 antes da instalação do experimento, não sofreu mudanças significativas pela aplicação do pó de basalto, associadas ou não ao esterco bovino, em relação à testemunha e ao tratamento que recebeu adubo solúvel, indicando que o pó de basalto não contribuiu para a elevação do pH do solo acima de pH 5,2 após um ano da instalação do experimento. Isso pode ser atribuído ao fato do solo apresentar alto poder tampão, e a quantidade de pó de rocha necessária para promover mudanças significativas no pH seria muito elevada.

KUDLA et al. (1996), avaliaram o efeito de 255 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto em um Cambissolo Álico, verificaram que o uso do produto na correção da acidez em solo com alto poder tampão é pouco provável pois são necessárias altas doses do produto. THEODORO & LEONARDOS (2006) verificaram aumento significativo no pH de um solo arenoso pela aplicação de rocha vulcânica, o que pode ser explicado pelo menor poder tampão do solo estudado.

O calcário dolomítico aplicado no solo, além do efeito direto no aumento de pH e de fornecer Ca e Mg, proporciona diminuição dos teores de Al trocável, o qual precipita quando o solo atinge pH na faixa de 5,5 (ERNANI et al., 1986).

Devido à aplicação prévia de calcário em toda a área experimental, além de nenhum dos contrastes montados apresentarem diferenças significativas para o pH, o mesmo comportamento foi observado para o Al, que em decorrência da calagem apresentou valores baixos (Tabela 8).

A aplicação de esterco bovino (4t.ha<sup>-1</sup>) não provocou incrementos nos teores de matéria orgânica, fato que pode ser atribuído à característica do solo que apresenta altos teores de matéria orgânica (Tabela 8).

**Tabela 8-** Valores de pH em água, teores de Al trocável e de matéria orgânica do solo após um ano da instalação do experimento.

TRATAMENTOS	pH-H <sub>2</sub> O	Al	M.O.
	(cmol./dm <sup>3</sup> )	(%)	
Testemunha	5,21	0,86	5,44
Adubo Solúvel	5,36	0,55	5,51
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto	5,31	0,78	5,55
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	5,30	0,76	5,73
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	5,36	0,63	5,62
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	5,20	0,86	5,62
4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	5,40	0,79	5,47
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	5,5	0,40	5,82
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	5,48	0,58	5,60
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	5,38	0,68	5,80
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	5,44	1,00	5,69
Média	5,35	0,66	5,62
CV (%)	2,76	66,5	10,00

Os fosfatos naturais apresentam baixa reatividade no solo, particularmente os brasileiros como o de Araxá, e, consequentemente, lenta liberação de P. Afirmações referentes à má qualidade dos fosfatos naturais como fonte imediata de P, especialmente os brasileiros, são frequentes, principalmente quando o pH do solo for superior a 5,5. Entretanto GOEPFERT et al. (1976)<sup>1</sup>, citado por RAIJ et al. (1981) em experimento comparando aplicações de fosfato natural, incluindo o fosfato natural de Araxá, com e sem calagem na cultura da soja durante quatro anos, observaram que os fosfatos naturais proporcionaram melhores produções mesmo na presença da calagem. Este efeito é devido à acidificação da rizosfera, pois as plantas supridas com N amoniacal alcançam pH em torno das raízes em média duas unidades inferiores quando comparado com o restante do solo (MARSCHNER, 1991<sup>2</sup> citado por NOVAIS & SMYTH, 1999).

O tratamento que recebeu o adubo solúvel apresentou teor de P superior à testemunha e aos tratamentos que receberam pó de basalto (Tabela 7). Os teores de P extraídos foram altos (Tabela 9). Porém, estes resultados devem ser interpretados com cautela, uma vez que foi utilizado o extrator Mehlich - 1, constituído de uma mistura diluída de ácidos. A extração do P por Mehlich - 1 tem a característica de superestimar a concentração do elemento em solos

<sup>1</sup> GOEPFERT, C.F.; HILGERT, E.; GONÇALVES, H.; MOURA, R.L.; TESDESCO, A. & SALIM, O. Avaliação de eficiência de cinco adubos fosfatados em três solos ácidos do Rio Grande do Sul. Agron. Sulriograndense, Porto Alegre, v. 12, p. 179-188, 1976.

<sup>2</sup> MARSCHNER, H. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. Plant roots: the hidden half. New York: Marcel Dekker, 1991. p.503-528.

que se aplicam fosfatos naturais, não fornecendo valores confiáveis do “P disponível” (NOVAIS & SMYTH, 1999).

O teor de K no solo é classificado como alto, de acordo com as faixas estipuladas pela COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (2004) (Tabela 9). Observa-se que os teores de K nos tratamentos em que foi aplicado o pó de basalto, e pó de basalto mais esterco bovino, diferiram significativamente em relação à testemunha segundo os contrastes montados (Tabela 7).

**Tabela 9-** Teores de P e K do solo após um ano de instalação do experimento.

TRATAMENTOS	P	K
	(mg.dm <sup>-3</sup> )	(mg.dm <sup>-3</sup> )
Testemunha	45,58	164,17
Adubo Solúvel	54,04	291,13
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto	45,89	196,00
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	58,03	210,33
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	46,53	236,65
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	46,11	185,83
4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	53,95	230,63
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	59,54	253,75
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	53,99	220,25
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	64,69	200,67
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	52,34	215,63
Média	52,79	211,391
C.V. (%)	18,03	22,6

ESCOSTEGUY et al. (1998) observaram aumentos na concentração de K e Ca em um Latossolo Vermelho e em um Podzólico Vermelho-Amarelo pela aplicação de 0 a 100 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto em um período que compreendeu 300 dias. Verificaram ainda que as concentrações de K foram maiores com aumento do período de incubação. KNAPIK (2005) também observou que a adição de pó de basalto contribuiu para o aumento de K atingindo valores semelhantes aos tratamentos com adubos solúveis.

A principal fonte de Ca e Mg para o solo foi o calcário dolomítico incorporado previamente para a correção do pH em toda a área, embora estes elementos também estejam presentes nos minerais constituintes do pó de basalto adicionado ao solo. Não houve diferenças significativas no conteúdo de Ca e Mg no primeiro ano da aplicação do pó de basalto para nenhum dos contrastes montados. Contudo, espera-se que o basalto venha a

contribuir nos próximos anos, pois se trata de uma rocha ferromagnesina que apresenta grandes quantidades de CaO e MgO (Tabela 3).

A ausência de diferenças no conteúdo de Ca e Mg entre os tratamentos que receberam o pó de basalto em relação a testemunha, evidencia que o aumento no conteúdo desses elementos se deu exclusivamente pela adição do calcário previamente aplicado em toda a área (Tabela 10).

O Si ocorre na natureza principalmente nas formas de sílica amorfa e silicatos presente em minerais como o quartzo e os feldspatos (MACHADO et al., 2007). No solo o Si é proveniente do intemperismo dos minerais primários e secundários, mas mesmo sendo o elemento mais abundante na crosta terrestre, devido a sua baixa solubilidade pode ter seu nível reduzido quando submetido a cultivos sucessivos.

**Tabela 10-** Teores de Ca, Mg e Si do solo após um ano de instalação do experimento.

TRATAMENTOS	Ca	Mg	Si
	(cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	(mg.L <sup>-1</sup> )
Testemunha	8,34	1,45	9,02
Adubo Solúvel	7,77	1,52	9,68
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto	8,10	1,58	9,25
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	7,23	1,48	10,05
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	7,83	1,74	9,92
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	7,62	1,31	9,37
4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	7,35	1,63	8,51
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	8,31	1,92	7,96
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	7,89	1,75	7,37
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	6,72	1,59	8,28
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	7,80	1,73	7,74
Média	7,72	1,64	8,83
C.V. (%)	23,39	11,44	21,56

Apesar do basalto apresentar grande concentração de Si em sua composição química, os tratamentos que receberam o pó de basalto não diferiram dos demais tratamentos, mantendo uma media de 8,83 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 10).

### 3.1.2 Análise química das folhas de feijão

Não houve interação entre ano e tratamento para as variáveis testadas (Tabela 11 e 12). Verifica-se ainda que o teste de F foi significativo a 5% de probabilidade para N, P, Ca, Mg e

Zn, indicando que houve incremento nos teores destes nutrientes após um ano da instalação do experimento.

Na tabela 13, observa-se que K, Mg, Zn e Cu apresentaram diferença significativa entre os contrastes montados.

**Tabela 11-** Resumo da análise de variância para as variáveis N, P, K, Ca e Mg das folhas de feijão.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		N	P	K	Ca
Trat.	10	21,13	0,016	39,20*	5,07
Ano	1	242,91*	0,26*	10,16	34,62*
Trat.*Ano	10	11,19	0,01	5,12	3,95
Erro	66	15,89	0,01	9,71	5,40
Total	87				

\* significativo pelo teste de F ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 12-** Resumo da análise de variância para as variáveis Cu, Zn, Fe, Mn e Si das folhas de feijão.

F.V.	G.L.	Q.M.				
		Cu	Zn	Fe	Mn	Si
Trat.	10	4,00*	44,21*	2296,53	1218,23	0,01
Ano	1	5,88	255,79*	892,82	0,65	
Trat.*Ano	10	0,29	34,48	1451,62	523,01	
Erro	66	1,83	25,09	3049,70	1189,08	0,04
Total	87					

\* significativo pelo teste de F a 5%.

**Tabela 13-** Contrastess significativos para as variáveis K, Mg, Zn e Cu das folhas de feijão cultibados com pó de rochas.

CONTRASTES	Q.M			
	K	Mg	Zn	Cu
Testemunha <i>versus</i> adubo solúvel	39,821*			
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto				7,003*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino				
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto	53,583*	1,58*		7,962*
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino	77,272*			
Pó de Basalto <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino			233,244*	17,056*

\* significativo ( $p < 0,05$ ).

Não foram verificadas diferenças significativas entre os contrastes montados para o teor de N nas folhas de feijão. Após um ano da instalação do experimento houve incremento no teor deste elemento no tecido foliar do feijoeiro (Tabela 11). A palha do centeio, que

permaneceu sobre todas as parcelas da área experimental durante o desenvolvimento do feijão (Figura 6), pode ter sido a razão da ausência de diferenças entre os tratamentos, mas pode ter sido a responsável pelo incremento do teor do nutriente nas folhas do feijoeiro após um ano.



**Figura 6-** Centeio sobre toda a área experimental antes o cultivo do feijoeiro.

Não foi verificada diferença entre os contrastes montados, mas houve aumento significativo no conteúdo de P das folhas do feijão após um ano da instalação do experimento (Tabela 11), indicando que pode ter ocorrido contribuição do fosfato natural ou do pó de basalto. Observa-se na tabela 14, que o teor médio de P no tecido vegetal das folhas de feijão está de acordo com os níveis considerados normais para cultura (Tabela 1).

Em relação ao K, os níveis foliares ( $33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), estão adequados para a cultura segundo MALAVOLTA (2006). O K é segundo macronutriente em maior concentração nas plantas, sendo que o teor presente nos tecidos foliares é inferior apenas ao de N. A maior parte do K é absorvida durante a fase de crescimento vegetativo e representa um dos elementos mais importantes na fisiologia da planta.

Não houve incremento significativo no teor de K depois de um ano da instalação do experimento pelo teste de F (Tabela 12). No tratamento que recebeu adubo solúvel o teor de K nas folhas do feijão foi significativamente maior aos tratamentos que receberam o pó de basalto, associados ou não ao esterco bovino e a testemunha (Tabela 13).

**Tabela 14** - Acúmulo de N, P e K nas folhas de feijão na fase de florescimento da cultura.  
Média dos dois cultivos após um ano da instalação do experimento ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

TRATAMENTOS	N	P	K
Testemunha	20,60	3,07	33,46
Adubo Solúvel	29,97	3,21	34,11
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto	25,52	3,08	33,84
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	26,72	2,97	31,42
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	26,36	3,06	35,58
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	27,27	3,11	30,55
4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	29,35	3,08	36,94
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	25,92	3,10	31,69
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	28,77	3,11	35,94
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	26,79	3,12	30,31
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	27,74	3,13	33,43
C.V.(%)	15,31	5,30	9,05

Os teores de Ca se mantiveram na média de 16,73  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  e os de Mg na média de 3,90  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Tabela 15), níveis considerados satisfatórios para a cultura do feijoeiro de acordo com a Tabela 1. O Ca e o Mg após um ano da aplicação do pó de basalto e do calcário no solo apresentaram aumento significativo pelo teste de F (Tabela 11). O tratamento que recebeu adução convencional apresentou maior teor de Mg nas folhas do feijão em relação aos tratamentos que receberam pó de basalto (Tabela 13).

Conforme GILLMAN et al. (2001); HILDEBRAND & SCHACK-KIRCHNER (2000); VON WILPERT E LUKES (2003) e MOTTA et al. (1992), o pó de basalto é uma fonte potencial de Ca e Mg, corroborando com a hipótese de que o pó de basalto contribui para o aumento nos teores desses elementos na solução do solo e, consequentemente, para sua maior absorção pela planta após um ano da instalação do experimento que apresentou diferença significativa em relação ao primeiro pelo teste de F (Tabela 11). Entretanto, vale ressaltar que este efeito também pode ser atribuído ao calcário dolomítico, aplicado previamente ao solo.

**Tabela 15** - Acúmulo de Ca e Mg nas folhas de feijão na fase de florescimento da cultura. Média dos dois cultivos após um ano da instalação do experimento ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

TRATAMENTOS	Ca	Mg
Testemunha	15,77	3,80
Adubo Solúvel	17,67	3,46
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto	16,03	3,49
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	17,45	3,99
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	16,19	3,92
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	18,02	3,74
4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	15,88	4,23
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	18,22	3,84
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	16,58	3,94
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	16,09	4,29
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	16,19	4,22
C.V. (%)	14,22	15,06

Os micronutrientes são exigidos em pequenas quantidades pelas plantas e, devido às pequenas concentrações, os teores de Cu, Zn, Fe e Mn no tecido foliar são expressos na ordem de  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Entretanto as práticas culturais tendem a diminuir a sua disponibilidade no solo, como a remoção pelas culturas ou a calagem. Assim, o pó de rochas pode representar uma maneira prática de manter os níveis desses elementos no solo, pois constitui uma fonte de micronutrientes pelo intemperismo de seus minerais.

A concentração de Cu no tecido foliar do feijoeiro não apresentou incremento após um ano da instalação do experimento (Tabela 12). Ocorreu diferença significativa entre os tratamentos que receberam pó de basalto em relação à testemunha e em relação ao tratamento que recebeu adubação convecional (Tabela 13), indicando o potencial do pó de rocha como fonte deste micronutriente, que pode ter sido liberado para a solução do solo uma vez que o Cu ocorre nas rochas fazendo parte de minerais que são facilmente intemperizaveis (RAIJ, 1991).

Considerando o fato que o Cu é um elemento que apresenta adsorção específica e a maior fração está associada à matéria orgânica do solo, são comuns casos de deficiência de Cu em solos ricos em matéria orgânica (MALAVOLTA, 2006). Isto pode explicar o fato de ter ocorrido diferença significativa dos tratamentos que receberam o pó de basalto em relação aos tratamentos que receberam o pó de basalto mais o esterco bovino, que apresentaram o menor conteúdo deste elemento no tecido foliar (Tabela 13).

**Tabela 16-** Acúmulo de Cu, Zn, Fe, Mn e Si nas folhas de feijão na fase de florescimento da cultura.  
Média dos dois cultivos após um ano da instalação do experimento ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

TRATAMENTOS	Cu	Zn	Fe	Mn	Si
Testemunha	9,42	54,67	317,50	204,10	0,71
Adubo Solúvel	9,34	50,67	300,31	206,04	0,64
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto	10,68	55,33	297,87	202,31	0,74
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	9,67	55,00	299,69	196,20	0,62
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	10,73	55,67	299,94	209,12	0,73
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto	11,43	57,02	315,86	231,67	0,66
4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	9,03	57,64	330,15	231,90	0,62
2,5t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	9,23	56,36	278,12	198,75	0,75
5,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	10,13	62,32	285,47	198,16	0,78
10,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	9,13	56,46	321,34	203,85	0,62
20,0t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4,0t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino	9,07	56,27	304,40	207,99	0,67
C.V. (%)	13,02	9,29	17,56	15,84	29,99

O Zn apresentou níveis mais altos no tecido foliar no ano posterior a instalação do experimento (Tabela 12). Como é um elemento encontrado distribuído de maneira uniforme nas rochas magmáticas como sulfetos (ZnS), pela ação do intemperismo libera o cátion  $\text{Zn}^{+2}$ , esta diferença pode ser atribuída à solubilização dos minerais presentes no pó de basalto e liberação do elemento para a solução do solo. O teor médio de Zn das folhas nos dois cultivos do feijão conforme a tabela 16 é 56,13  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Em relação ao Fe e ao Mn não houve diferença significativa entre os anos de cultivo (Tabela 12). A média dos teores de Fe e Mn encontram-se na faixa de 304,60 e 208,19  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  respectivamente (Tabela 16), de acordo com os níveis considerados normais para a cultura (Tabela 1).

O Si não é classificado como elemento essencial do ponto de vista fisiológico para as plantas, embora a sua absorção possa conferir inúmeros benefícios (MARSCHNER, 1995). É o elemento em maior concentração na litosfera atrás apenas do  $\text{O}_2$ . Nas rochas ígneas é expressiva a quantidade de minerais silicatados na sua composição, que pela ação intempérica podem liberar o elemento para a solução do solo.

Não foram observadas diferenças significativas entre os contrastes montados, indicando que o Si pode ter sido liberado do pó de rocha e utilizado na neoformação de outros minerais e, neste primeiro ano não foi liberado para a solução do solo para ser absorvido pelas plantas, que apresentou teores médios de 0,68  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Tabela 16).

### 3.1.3 Rendimento de Grãos

A produtividade da cultura foi determinada em dois anos de cultivo. Os tratamentos comparados pelos contrastes não apresentaram diferenças significativas. Como se trata de rochas de dissolução lenta, cuja reatividade é baixa no solo, não houve diferenças entre os tratamentos tanto no primeiro como no segundo cultivo. Apesar disso, a produtividade alcançada no primeiro cultivo nos tratamentos com pó de basalto foi alta, sendo comparável à obtida com a adubação convencional, o que parece indicar que a calagem prévia do solo deve ter sido o fator preponderante na uniformização dos resultados (Tabela 17).

**Tabela 17-** Rendimento ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) de grãos de feijoeiro com adubação a base de pó de basalto, esterco bovino e adubo solúvel, nos anos agrícolas 2005/06 e 2006/07.

TRATAMENTOS	2005/06	2006/07
Testemunha	3,98	2,04
Adubo Solúvel	4,98	2,68
2,5t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto	4,35	2,25
5,0t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto	4,41	2,61
10,0t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto	4,17	2,12
20,0t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto	4,70	2,12
4,0t. $\text{ha}^{-1}$ Esterco Bovino	4,26	2,51
2,5t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto + 4,0t. $\text{ha}^{-1}$ Esterco Bovino	4,26	2,37
5,0t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto + 4,0t. $\text{ha}^{-1}$ Esterco Bovino	4,01	2,82
10,0t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto + 4,0t. $\text{ha}^{-1}$ Esterco Bovino	4,17	2,48
20,0t. $\text{ha}^{-1}$ Basalto + 4,0t. $\text{ha}^{-1}$ Esterco Bovino	4,06	2,18
Média	4,3	2,38
C.V.(%)	22,30	28,96

Os resultados apesar de ainda preliminares diferem dos que vem sendo obtidos por outros autores, os quais têm encontrado efeitos positivos pelo emprego de pó de basalto no aumento da produtividade de algumas culturas.

KNAPIK (1987) observou maiores pesos de biomassa total de rabanetes nos tratamentos com a maior dose de pó de basalto (4,8 kg por  $\text{m}^2$ ) sem a adição de esterco e NPK. LEONARDOS et al. (1987) verificaram aumento de rendimento em feijões em experimentos com solos Lateríticos. ROSCHNIK et al. (1967) obtiveram aumento exponencial no rendimento de legumes com doses de 5 a 40 t. $\text{ha}^{-1}$  de pó de basalto. Aumentos

significativos no rendimento de cana de açúcar subsequentes à aplicação de 180 t.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto e efeito residual significativo foram verificados por d' HOTMAN DE VILLERS (1961).

A ausência de efeitos significativos pelo emprego de pó de basalto no rendimento do feijoeiro pode ser atribuída ao curto período de avaliação do experimento, sendo que não houve tempo suficiente para a dissolução expressiva dos minerais constituintes do pó de basalto, e ao efeito da dissolução mais rápida do calcário, que promoveu aumento do pH e aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica do solo contribuindo também para o fornecimento de nutrientes para a cultura.

### 3.2 EXPERIMENTO II

#### 3.2.1 Atributos químicos do solo

Conforme os contrastes montados houve diferenças entre tratamentos para as variáveis pH, P, Mg e Si do solo (Tabela 18).

**Tabela 18 - Contrastes significativos para as variáveis pH, P, K, Mg, Si do solo fertilizado com pó de rochas.**

CONTRASTES	Q.M				
	pH	P	K	Mg	Si
Testemunha <i>versus</i> Adubo solúvel	0,96*	3713,68*		0,19*	18,00*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN	0,91*	1398,76*	2337,50*		
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN	1,15*	2094,04*	3808,06*	0,10*	9,10*
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN		1574,79*	1,58*		26,62*
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFM		981,13*	2968,07*		
Pó de Basalto <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN	0,18*	1152,57*		233,24*	15,43*
Testemunha <i>versus</i> GFN	0,40*	1144,97*		0,26*	42,69*

\*significativo ( $p<0,05$ ).

Os tratamentos com pó de basalto mais GFN, isolado e associado ao esterco bovino, e o tratamento com GFN promoveram mudanças no pH do solo, que apresentaram valor significativamente maior quando comparados com a testemunha (Tabela 18).

É característica do pó de rochas básicas ou alcalinas promover aumento no pH do solo como já demonstrado por GILLMAN (1980) e GILLMAN et al. (2001) na Austrália, pela aplicação de doses elevadas de rochas basálticas em solo de baixa fertilidade de floresta. Efeito verificado também por THEODORO & LEONARDOS (2006), pela aplicação de rocha vulcânica em solo de arenoso.

Parece não ter ocorrido efeito da dosagem do pó de basalto aplicada, uma vez que os valores de pH são muito similares nas doses entre 10 a 100 t.ha<sup>-1</sup> (Tabela 19).

**Tabela 19-** Valores de pH do solo cultivado com *Eucalyptus benthamii*.

TRATAMENTOS	pH-H <sub>2</sub> O
Testemunha	5,5
Granito + Fosfato Natural (GFN)	5,9
Adubação Convencional	5,9
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	6,2
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	6,0
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	6,1
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	6,0
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	6,3
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	6,4
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	6,0
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	6,3
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	6,4
C.V.%	3,02

A carência de P nos solos brasileiros, associado à baixa mobilidade e a elevada afinidade deste elemento pelos óxidos de Fe e de Al, faz com o elemento seja um dos nutrientes mais utilizados nas adubações. Estima-se que as jazidas de fosfato no mundo não passem de quatro séculos de existência para os padrões de consumo atual (MENGEL, 1997<sup>3</sup>, citado por NOVAIS & SMYTH, 1984).

De acordo com os contrastes montados observa-se na tabela 18, que a testemunha e o tratamento que recebeu adubação convencional diferiram dos tratamentos que receberam fosfato natural. Os teores de P nos tratamentos onde foi aplicado fosfato natural foram, em média, 24 vezes superiores ao teor de P nos tratamentos com adubação convencional, e cerca de 30 vezes superior a testemunha (Tabela 20). Os teores de P nos tratamentos onde foi aplicado fosfato natural apresentam valores superestimados, uma vez que o extrator ácido utilizado, Mehlich – 1 tende a dissolver formas de P dos fosfatos naturais, que podem ainda não ter reagido no solo.

<sup>3</sup> MENGEL, K. Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. European Journal of Agronomy, v.7, p. 221-233, 1997.

**Tabela 20-** Teores de P e K do solo, extraídos pelo método Mehlich - 1.

TRATAMENTOS	P	K
	(mg.dm <sup>-3</sup> )	(mg.dm <sup>-3</sup> )
Testemunha	2,72	133,67
Granito + Fosfato Natural (GFN)	21,54	167,00
Adubação Convencional	14,5	165,50
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	29,33	141,50
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	43,12	146,50
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	36,85	182,50
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	41,82	186,50
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	24,32	170,33
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	26,04	154,66
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	30,35	166,00
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	52,48	138,33
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	42,06	185,50
C.V.%	29,29	13,52

Os teores de K no tratamento testemunha foram menores comparados aos tratamentos que receberam pó de basalto, e dos tratamentos que receberam pó de basalto mais esterco bovino, que apresentou teores inferiores ao tratamento que recebeu adubação convencional conforme as diferenças demostradas pelos contrastes na tabela 18.

O tratamento com adubação convencional proporcionou teores maiores de K do que a testemunha, pois se trata de um produto prontamente solúvel. Enquanto nos tratamentos com pó de basalto e GFN o elemento deve ser lentamente liberado da estrutura mineralógica pela ação dos agentes intempéricos.

O emprego do pó de basalto mostra-se vantajoso, uma vez que o teor de K é superior quando comparados com a testemunha.

HILDEBRAND & SCHACK-KIRCHNER (2000) e VON WILPERT & LUKES (2003) descrevem efeitos positivos do pó de rocha, no qual observaram incremento nos teores de K em solo sob floresta na Alemanha em função da aplicação de 6 t.ha<sup>-1</sup> de pó de rocha vulcânica.

A principal fonte de Ca e Mg para o solo foi o calcário dolomítico aplicado previamente para a correção do pH. Contudo, o pó de basalto pode contribuir como fonte adicional de tais elementos para o solo pelos processos de intemperismo dos minerais presentes na sua estrutura.

**Tabela 21-** Teores de Ca e Mg do solo em função dos tratamentos aplicados.

TRATAMENTOS	Ca	Mg
	(cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )
Testemunha	6,12	1,36
Granito + Fosfato Natural (GFN)	4,92	1,46
Adubação Convencional	5,16	1,42
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	5,60	1,52
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	6,04	1,42
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	2,80	1,46
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	4,12	1,42
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	2,60	1,66
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	4,36	1,70
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	5,48	1,78
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	4,04	1,72
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	5,04	1,72
C.V.%	44,75	9,21

O esterco bovino pode ter sido fator preponderante na aceleração do processo de decomposição dos minerais presentes no pó de basalto, como a enstatita, que apresenta 40,15% de MgO, e o hiperstênio, com 17,35% de MgO (MACHADO et al., 2007), e consequentemente na liberação do Mg para o solo. Os tratamentos que receberam pó de basalto mais esterco bovino apresentaram teores de Mg superiores quando comparados à testemunha (Tabela 18).

THEODORO & LEONARDOS (2006) observaram que o uso adicional de composto orgânico foi vantajoso, mostrando que a combinação da fertilização orgânica e o pó de rocha podem cumprir com a maioria das exigências nutricionais para os macronutrientes e os micronutrientes.

Do mesmo modo que ocorreu para o Mg, o esterco associado ao pó de basalto também aumentou o teor de Si trocável. O pó de basalto quando associado ao esterco bovino proporcionou aumento nos teores deste elemento (Tabela 22).

De acordo com os contrastes montados (Tabela 18), o pó de basalto combinado com esterco bovino apresentou teores de Si superiores quando comparados com a testemunha, ao tratamento com adubação convencional e aos tratamentos com pó de basalto sem associação com esterco bovino.

**Tabela 22-** Teores de Si trocável do solo em função dos tratamentos aplicados.

TRATAMENTOS	Si (mg/dm <sup>3</sup> )
Testemunha	9,28
Granito + Fosfato Natural (GFN)	8,49
Adubação Convencional	7,23
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	8,56
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	9,19
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	9,37
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	9,78
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	10,55
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	15,19
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	14,61
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	12,74
<b>100 t.ha<sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha<sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)</b>	<b>13,36</b>
C.V.%	11,62

### 3.2.2 Acúmulo de nutrientes nas folhas de *Eucalyptus benthamii*

A concentração dos nutrientes no tecido foliar varia de acordo com a posição das folhas na planta, o que pode ser atribuído às diferentes vias de translocação do nutriente e a mobilidade do elemento. SILVEIRA et al. (1995) observaram que as maiores concentrações de N, P, K, Mg e Zn são encontradas no terço superior da copa de eucalipto, e as maiores concentrações de Ca, Cu e Mn nas folhas do terço inferior.

De acordo com SILVEIRA et al. (2000), a amostragem foliar para a avaliação do estado nutricional do *Eucaliptus* sp. deve ser realizada através da coleta das duas primeiras folhas completamente desenvolvidas dos ramos situados no terço superior da planta, devendo ser realizada entre os 12 e 18 meses após o plantio. BELLOTE & SILVA (2000) recomendam que a amostragem seja realizada pela coleta de folhas recém maduras, ou seja, as 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> folhas em relação ao ápice do caule e os ramos situados no meio do caule. MALAVOLTA et al. (1997) sugerem a coleta das duas primeiras folhas completamente desenvolvidas.

No presente estudo a amostragem das folhas do terço superior foi realizada de acordo com BELLOTE & SILVA (2000), pois de acordo com os autores, são as folhas do terço superior que refletem o estado nutricional da planta. As folhas do terço inferior também foram coletadas.

**Tabela 23-** Contrastes significativos para os teores de N e K nas folhas novas e folhas velhas, e teor de Ca nas folhas novas do *E Benthami*.

CONTRASTES	Q.M				
	N (FN)	N (FV)	K (FN)	K (FV)	Ca (FN)
Testemunha <i>versus</i> Adubo solúvel	74,37*		16,92*		
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN			11,77*	4,43*	4,54*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN	25,00*	44,72*	3,21*		
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN					
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFM	34,51*				
Pó de Basalto <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN	12,40*	39,18*			
Testemunha <i>versus</i> GFN			13,78*		

\*significativo (p&lt;0,05).

**Tabela 24-** Contrastes significativos para os teores de Cu nas folhas novas e nas folhas velhas, e para os teores de Zn nas folhas novas do *E Benthami*.

CONTRASTES	Q.M.		
	Cu (FN)	Cu (FV)	Zn (FN)
Testemunha <i>versus</i> Adubo solúvel	24,00*		55,81*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN			40,18*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN	32,26*	28,44*	61,61*
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN	16,02*		
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFM			
Pó de Basalto <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN	40,83*	10,50*	30,00*
Testemunha <i>versus</i> GFN			72,80*

\*significativo (p&lt;0,05).

**Tabela 25-** Contrastes significativos para os teores de Fe nas folhas novas e nas folhas velhas, e para os teores de Mn e Si nas folhas novas do *E Benthami*.

CONTRASTES	Q.M			
	Mn (FN)	Fe (FN)	Fe (FV)	Si (FN)
Testemunha <i>versus</i> Adubo solúvel		6800,67	7920,67*	0,05*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN	10244,27*			0,04*
Testemunha <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN	4878,02*		8649,00*	0,06*
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto + GFN	3969,07*	5396,02		
Adubo Solúvel <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFM				
Pó de Basalto <i>versus</i> Pó de Basalto mais Esterco Bovino + GFN				0,03
Testemunha <i>versus</i> GFN				

\*significativo (p&lt;0,05).

Os teores de N nas folhas novas e nas folhas velhas das mudas do eucalipto são apresentados na tabela 26. Comparando com a tabela 2, verifica-se que o teor de N nas folhas novas encontra-se dentro do nível de suficiência para a cultura. Os teores de N nas folhas velhas foram menores que nas folhas novas. Como o N é mobilizado a partir das folhas velhas para as folhas mais jovens da planta e, como é um elemento de alta mobilidade, os teores nas

folhas do terço superior são geralmente maiores do que do terço inferior (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Nas folhas novas, o tratamento com adubação solúvel apresentou maior conteúdo de N do que a testemunha no tecido foliar do eucalipto (Tabela 23), pois o N no tratamento com adubação convencional está prontamente disponível para ser absorvido pela planta.

**Tabela 26-** Teor de N, P e K nas folhas novas (FN) e velhas (FV) do *E. Benthamii* (g.kg<sup>-1</sup>).

TRATAMENTOS	N	N	P	P	K	K
	FN	FV	FN	FV	FN	FV
Testemunha	17,46	7,58	0,70	0,60	9,17	5,21
Granito + Fosfato Natural (GFN)	17,50	7,00	1,10	0,90	10,30	2,93
Adubação Convencional	22,25	11,37	1,20	1,00	10,28	4,67
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	22,50	8,16	1,10	1,00	12,63	3,66
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	20,42	9,62	1,00	0,90	12,19	4,12
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	19,25	8,83	1,10	0,90	15,12	4,40
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	21,83	9,83	1,00	0,90	15,67	3,90
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	30,00	11,58	1,20	0,90	12,47	4,00
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	19,25	11,33	1,20	1,10	10,67	4,00
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	22,17	7,00	1,10	1,10	12,20	4,12
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	24,50	7,00	1,20	1,00	12,52	4,43
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	19,25		1,20		12,31	
Média	20,58	9,02	1,09	0,94	10,8	4,13
CV (%)	19,22	18,78	24,5	20,35	8,98	20,56

Como o teor de N no solo está diretamente ligado ao teor de matéria orgânica, nos tratamentos que foram aplicados esterco bovino a concentração de N nas folhas velhas da planta apresentou níveis maiores do que nos tratamentos que não receberam o esterco bovino (Tabela 26).

SILVEIRA et al. (1995) realizaram um levantamento para determinar as principais ocorrências de deficiência nutricionais em florestas plantadas de *Eucalyptus*, e concluíram que as mais comuns são as de K, P e B. Como nos tratamentos que receberam a mistura de rochas houve suprimento adequado de P e K para as plantas, o emprego deste produto em solo de florestas mostra-se vantajoso.

Na tabela 26 observa-se que o K nas folhas mais jovens apresentou teores considerados normais (Tabela 2). A concentração de K nas folhas velhas foi inferior em relação às folhas novas em função da elevada mobilidade deste nutriente na planta. Como quase todo K da planta está na forma solúvel em água, ocorreu redistribuição do elemento das folhas mais velhas para as mais jovens (TAIZ & ZAIGER, 2004).

As folhas novas e velhas apresentam teores de K significativamente mais altos nos tratamentos em que se utilizou o pó de basalto em relação à testemunha (Tabela 23). Nas folhas novas observa-se ainda que os conteúdos de K foram mais elevados no tratamento em que se utilizou apenas o pó de granito + o fosfato natural em relação à testemunha. Assim, é plausível considerar que o pó de granito + o fosfato natural possa ter contribuído com quantidade adicional de K pois o granito apresenta na sua composição 5,46% de K<sub>2</sub>O (Tabela 3).

O Ca é um elemento pouco móvel na planta. Esta baixa mobilidade é devida, em parte, ao fato do elemento em algumas plantas ocorrer na forma insolúvel em água, como pectatos da lamela média da parede celular ou ainda por formar cristais insolúveis de oxalato, e a deposição do Ca<sup>+2</sup> nessas formas pode restringir a redistribuição do elemento (MALAVOLTA, 2006). Assim, de acordo com a tabela 27, observa-se que as maiores concentrações de Ca aparecem nas folhas mais velhas, não sendo verificada diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha.

Os tratamentos com pó de basalto apresentaram teores maiores de Ca, que diferiram da testemunha nas folhas novas da planta (Tabela 23). O pó de basalto apresenta 17% de anortita na sua composição mineralógica, um silicato de alumínio do grupo dos feldspatos com 19% de Ca, e ainda o diopsídio, importante fonte de Ca para o solo (Tabela 4). A concentração de Mg na parte aérea do eucalipto não apresentou diferenças significativas para nenhum dos contrastes montados (Tabela 23).

A concentração de Cu nas folhas do *Eucalyptus benthamii* está dentro da faixa considerada adequada para a cultura (Tabela 2), sendo os teores satisfatórios tanto nas folhas velhas como nas folhas novas (Tabela 28). O comportamento do Cu nas folhas novas e nas folhas velhas foi semelhante. A maior absorção de Cu ocorreu nos tratamentos que recebeu pó de basalto associado ao esterco bovino em relação ao pó de basalto isolado e, em relação à testemunha (Tabela 24).

O pó de basalto pode ser uma fonte deste micronutriente para o solo, uma vez que o Cu ocorre nas rochas fazendo parte de minerais que são facilmente intemperizaveis (RAIJ, 1991). Como o Cu apresenta adsorção específica com a matéria orgânica do solo (MALAVOLTA, 2006), pode explicar o fato de ter ocorrido diferença entre os tratamentos que receberam o pó de basalto em relação aos tratamentos que receberam o pó de basalto mais o esterco bovino.

**Tabela 27-** Teor de Ca e Mg nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do *E Benthamii* (g.kg<sup>-1</sup>).

TRATAMENTOS	Ca		Mg	
	FN	FV	FN	FV
Testemunha	3,37	5,35	1,43	1,40
Granito + Fosfato Natural (GFN)	4,27	5,53	1,50	1,43
Adubação Convencional	4,13	5,53	1,57	1,33
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	4,90	6,17	1,53	1,37
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	4,53	6,50	1,57	1,40
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	4,13	7,30	1,53	1,40
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	3,53	5,77	1,53	1,30
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	4,90	5,17	1,50	1,36
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	4,13	6,17	1,37	1,33
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	4,63	5,87	1,53	1,30
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	4,87	7,03	1,57	1,40
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	5,67		1,63	
Média	4,34	6,12	1,52	1,35
CV (%)	21,47	21,37	7,42	11,17

**Tabela 28-** Teor de Cu e Zn nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do *E Benthamii* (mg.kg<sup>-1</sup>).

TRATAMENTOS	Cu		Zn	
	FN	FV	FN	FV
Testemunha	7,30	10,67	11,97	14,60
Granito + Fosfato Natural (GFN)	9,00	10,67	12,27	17,73
Adubação Convencional	8,00	8,00	16,90	18,43
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	8,00	8,60	18,00	18,80
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	10,00	8,67	18,07	17,03
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	11,00	14,00	18,80	14,10
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	11,00	18,67	19,33	13,97
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	13,00	13,33	14,00	15,80
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	9,00	10,67	16,00	18,40
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	8,67	10,67	18,93	18,37
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	11,33	11,33	18,07	18,40
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	10,00		17,03	
Média	9,39	10,66	13,56	16,87
CV (%)	19,75	20,63	12,35	26,11

O pó de basalto contribuiu de maneira eficiente na absorção de Zn pelas plantas, refletindo nos maiores teores do elemento nas folhas novas, que foram diferentes da testemunha e do tratamento com adubação convencional (Tabela 28). CRISTAN (2007), utilizando pó basalto em um pomar de Pêras Coroas em plantas que apresentavam deficiência de Zn, obteve resultado visual positivo pela correção desta deficiência a partir de uma aplicação de pó de basalto.

BIANCHINI et al. (2006) determinaram o conteúdo de micronutrientes em florestas de eucalipto no estado do Maranhão e concluíram que independente do material genético, o nutriente mais acumulado na parte aérea foi o Fe seguido pelo Mn e o Zn. Entretanto, verifica-se que para o Mn os teores encontrados nas folhas estão abaixo dos níveis considerados normais para o eucalipto (Tabela 2), que devem estar entre 300 e 400 mg.kg<sup>-1</sup>(Tabela 29).

Contudo, nas folhas novas, o Mn apresentou maior acúmulo nos tratamentos que receberam pó de basalto e pó de basalto associado ao esterco bovino em relação à testemunha, e pó de basalto em relação ao tratamento com adubação convencional, de acordo com os contrastes montados (Tabela 25), indicando que a presença do produto no solo pode contribuir com a disponibilização deste micronutriente.

**Tabela 29-** Teor de Fe e Mn nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do *E. Benthamii* (mg.kg<sup>-1</sup>).

TRATAMENTOS	Fe		Mn	
	FN	FV	FN	FV
Testemunha	98,00	222,00	50,00	171,33
Granito + Fosfato Natural (GFN)	105,33	220,00	140,00	91,00
Adubação Convencional	88,33	145,67	79,33	91,00
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	94,00	240,00	122,00	165,33
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	86,00	145,33	108,00	176,00
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	120,00	235,33	104,00	213,33
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	120,67	163,67	100,33	120,67
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	134,67	221,33	86,67	107,33
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	113,33	206,67	89,33	100,00
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	121,33	160,00	87,67	139,33
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	165,33	235,33	74,67	98,67
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	184,00		120,00	
Média	113,4	199,6	86,67	134,00
CV	27,50	27,95	25,87	21,36

Conforme a classificação de plantas em função dos percentuais de SiO<sub>2</sub> na matéria seca da parte aérea como: planta acumuladora, intermediária ou não acumuladoras, o eucalipto é classificado como uma planta não acumuladora de Si (CARVALHO et al., 2003).

O Si é translocado via xilema, e uma grande proporção se deposita nas células da parede dos vasos (MARSCHNER, 1995). Assim a mobilidade do Si na planta é baixa, embora, de acordo com a tabela 30, o teor médio acumulado nas folhas novas e nas folhas velhas apresentou o mesmo valor. O teor de Si nas folhas novas dos tratamentos que

receberam pó de basalto, isolado ou associado ao esterco bovino, apresentaram acúmulo superior ao da testemunha (Tabela 25), indicando que o Si estava disponível para ser absorvido pelas plantas nestes tratamentos, pois no solo o pó de basalto mais esterco bovino também apresentou teores de Si superiores quando comparados com a testemunha.

**Tabela 30-** Teor de Si nas folhas novas (FN) e nas folhas velhas (FV) do *E. Benthamii* ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

TRATAMENTOS	Si FN	Si FV
Testemunha	0,53	0,64
Granito + Fosfato Natural (GFN)	0,63	0,47
Adubação Convencional	0,55	0,63
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	0,71	0,63
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	0,72	0,48
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	0,64	0,63
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + (GFN)	0,78	0,65
4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	0,63	0,89
10 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	0,69	0,72
20 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	0,64	0,71
50 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	0,72	0,70
100 t.ha <sup>-1</sup> Basalto + 4 t.ha <sup>-1</sup> Esterco Bovino + (GFN)	0,74	0,68
Média	0,65	0,65
CV (%)	11,75	14,79

## CONCLUSÕES

### EXPERIMENTO I

- O pH do solo não sofreu mudanças significativas pela aplicação do pó de basalto após um ano da instalação do experimento, e seu emprego isolado, ou em associação com esterco bovino, não teve efeito sobre os teores de Al, matéria orgânica, cálcio, magnésio e silício do solo no primeiro ano após a aplicação;
- Os teores de K do solo nos tratamentos em que foi aplicado adubo solúvel, pó de basalto e pó de basalto mais esterco bovino, foram significativamente superiores em relação à testemunha;
- Não houve interação entre ano e tratamento para o teor de macronutrientes, micronutrientes e silício no tecido foliar das plantas de feijoeiro após um ano da instalação do experimento, mas houve incremento nos teores foliares de N, P, Ca, Mg e Zn;
- No tratamento que recebeu adubo solúvel, o teor de K nas folhas do feijão foi significativamente maior do que os tratamentos que receberam o pó de basalto, associados ou não ao esterco bovino e a testemunha;
- Quanto aos teores de Cu ocorreu diferença significativa entre os tratamentos que receberam pó de basalto em relação à testemunha e em relação ao tratamento que recebeu adubação convencional quanto aos teores de Cu;

- Não foi verificada diferença significativa pelo emprego de pó de basalto no rendimento do feijoeiro, o que pode ser atribuída ao curto período de avaliação do experimento.

## EXPERIMENTO II

- Os tratamentos com pó de basalto e GFN, isolado ou associado ao esterco bovino, e o tratamento com GFN promoveu mudanças no pH do solo, que apresentaram valor significativamente maior quando comparado com a testemunha;
- Os teores de K da testemunha foram menores comparados aos tratamentos que receberam pó de basalto e dos tratamentos que receberam pó de basalto mais esterco bovino, que apresentou teores inferiores ao tratamento que recebeu adubação convencional;
- Os tratamentos que receberam pó de basalto mais esterco bovino apresentaram teores de Mg superiores quando comparados à testemunha; O pó de basalto, quando associado ao esterco bovino, proporcionou aumento nos teores de Si;
- Nas folhas novas do eucalipto, o tratamento com adubação solúvel apresentou maior conteúdo de N e, nas folhas velhas, os tratamentos que receberam o esterco bovino apresentaram maiores concentração de N quando comparadas aos tratamento que não receberam o esterco bovino;
- As folhas novas e velhas do eucalipto apresentaram teores de K significativamente mais altos nos tratamentos em que se utilizou o pó de basalto em relação à testemunha; Nas folhas novas, os conteúdos de K foram mais elevados no tratamento em que se utilizou apenas o pó de granito + o fosfato natural em relação à testemunha;

- Os tratamentos com pó de basalto apresentaram diferença em relação à testemunha, apresentando teores maiores de Ca nas folhas novas;
- A maior absorção de Cu ocorreu nos tratamentos que recebeu pó de basalto associado ao esterco bovino em relação ao pó de basalto isolado e em relação à testemunha, nas folhas novas e nas folhas velhas do eucalipto;
- Os maiores teores de Zn foram verificados nas folhas novas dos tratamentos que receberam pó de basalto, isolado e associado ao esterco bovino, que apresentaram diferenças em relação à testemunha e ao tratamento com adubação onvencional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABRAF. Anuário Estatístico ABRAF 2006. Disponível em: <<http://www.ciagri.usp.br/>>. Acesso em: jul. 2007.

ALMEIDA, J. A., ALMEIDA, K. A., & MAFRA, A.L. Saproliito de basalto com zeolitas como fonte de nutrientes as plantas. In: **XXVI Reunião de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 2004, Lages. Resumos. Lages: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2004.

ALMEIDA, J. A., ERNANI, P.R., & MACANERO, K.C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 651-656, 1999.

AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n. 20, p. 10-12, 2003.

BARRETO, S. B. **A farinha de rocha MB-4 e o solo**. 1998. 66p.

BASSINELLO, P. Qualidade dos grãos. EMBRAPA Arroz e Feijão. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore>. Acesso em 20 de março de 2006.

BELLOTE, A. F. J. & SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricional em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-134.

BLUM, W. et al. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. Chemisch-mineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Düngemittel. Zeitschrift Pflanzenernährung Bodenkunde, v. 152, p.421-425, 1989a.

BLUM, W. et al. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft.. Wirkung von Gesteinsmehlen als Bodenverbesserungsmittel. Zeitschrift Pflanzenernährung Bodenkunde, v. 152, p. 427-430, 1989b.

BOLLAND, M.D.A., & BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, p. 59-68, 2000.

BORGES FILHO, A. C. S. et al. Resposta da cultura do cacau a aplicação de rocha moída de Ipirá. In: **XXVI Reunião de fertilidade do solo e nutrição de plantas**, 2004, Lages, Resumos Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2004.

CARNEIRO, J.E. S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARVALHO et al. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em Latossolo e Cambissolo. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v.27, n.3, p.491-500, 2003.

**COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CRISTAN, C. A. Basalto agrícola, 2007. Disponível em <http://www.socitrus.com.br/basalto.htm> Acesso em 13 mar. 2007

D'HOTMAN DE VILLERS, O. Soil rejuvenation with crushed basalt. In Maritius. **International Sugar Journal**, v. 63, p.363-364, 1961.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 306p. 2006.

ERNANI, P. R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, Viçosa, v. 10, n. 3, p. 241-245, 1986.

ESCOSTEGUY et al. Basalto moído como fonte de nutriente. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, Visoça, v. 22, p.11 – 20, 1998

FAO. Base de dados FAOSTAT. Disponível em: <<http://apps.fao.org/>>. Acesso em: fev. 2007.

FYFE, W.S., The life support system – toward earth sense. In: ERNST, W.G. **Earth systems: processes and issues**. Cambridge University Press, p. 506–515. 2000.

FYFE, W.S. Sustainable food production and agrogeology. In: PRIDE, C. & van STRAATEN, P. Agrogeology and small scale mining. 1987. Small Mining International, Bulletin.

GILLMAN, G.P., BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects ion soil cation chemistry. **Australian Journal of Soil Research**, Montpellier, v.39, p. 799-811, 2001.

GILLMAN, G.P., The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.465-468, 1980.  
GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. Colombo, 1999. p. 135-138. Boletim de Pesquisa Florestal, 39.

GUO, L.B & GIFFORD R.M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology** (8), p 345-360. 2002.

HARLEY, A.D. & GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, n. 56, p. 11-36, 2000.

HIGA, R. C. V. & PEREIRA, J.C.D. Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. 2003. Comunicado Técnico nº 100.

HIGA, R. C. V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo/PR, 1999, p. 121-123. Boletim de Pesquisa Florestal, 38.

HIGA, A. R. & CARVALHO, P. E. R. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. Silvicultura, São Paulo, n. 42, p. 459-461, 1990. Edição dos **Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro**, Campos do Jordão. 1990.

IAPAR. Instituto agronômico do Paraná. Disponível em:  
<[http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/fcultfeijao.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/fcultfeijao.pdf)>. Acesso em: mar. 2007

IBGE. **Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro:SEPLAN/IBGE, 1986, v.33, 791p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KIRK, G. J. D. & NYE, P.H. A simple model for predicting the rates of dissolution of sparingly soluble calcium phosphates in soil. II. Applications of the model. **Journal Soil Science**, p. 541, 1986.

KNAPIK, B. **Pó de pedra basáltica como fertilizante de solo.** 1987. (Monografia Pós-graduação) – Fundação Faculdade Estadual de Filosofia, Ciências e Letras de União da Vitória.

KNAPIK, J. G. **Utilização do pó de basalto basáltica como alternativa a adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrella* e *prumus sellowii*.** 2005. 163p. (Dissertação de mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KUDLA, A. P.; MOTTA, A. C. V.; KUDLA, M. E. Efeito do uso do pó de basalto aplicado em um Cambissolo álico sobre o solo e crescimento do trigo. Curitiba: UFPR, v. 15, n. 2, p. 187-195, 1996.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. & ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.56, p. 3-9, 2000.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? **Chemical Geology**, v. 60, p.361-370, 1987.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo, teoria e prática.** 2ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182 p.

MACHADO, F.B.et al., Enclopédia Multimídia de Minerais e Atlas de Rochas. [on-line]. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>>. Acesso em maio de 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba: POTAPOS, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p. 31-36, 1962.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F., et al. **O Cultura do feijoeiro comum no Brasil.** Piracicaba: Potafós, 1996. p.169-221.

OSTERROHT, M. V. Rochagem Para Que? **Agroecologia.** 12-15p. 2003.

PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L., et al. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, Curitiba, v.15, n.1/2, p.8-16, 1984.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B.; FEITOSA, C. T.; CANTARELLA, H., et al. A análise de solo para discriminar resposta à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 40, p. 57-15, 1981.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** Viçosa, 2002. 338p.

ROSCHEK, R.K.; GRANT, P.M.; NDUKU, W.K. The effect of incorporating crushed basalt rock into an infertile acid sand. **Journal Agriculture Research:** Rhodesia, Zambia, Malawi, v.5, p. 133-138, 1967.

ROSOLEM, C. A & MARUBAYASHI, O. M. **Seja o doutor do seu feijoeiro.** Piracicaba: POTAPOS (Informações Agronômicas, 68), 1994. 4 p.

SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W.; OLIVEIRA, E.R.V., et al.. Influência do vermicomposto na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p.121-130, 2001.

SILVEIRA, R. L. V. A.; CAMARGO, M. A. F.; LUCCA, E. F., et al. Absorção e exportação de macronutrientes pelas brotações de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em jardim clonal. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 25, 1995, Viçosa. Resumos Expandidos. Viçosa: UFV, 1995. p. 845-847.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed ed., 2004. 19 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELO, C.; BISSANI, C. A., et al.. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 171p.

THEODORO, S.H. & LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Brasilia, v. 78, p. 721-730, 2006.

von FRAGSTEIN, P.; PERTL, W. & VOGTMANN, H. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, v. 151, p. 141-146, 1988.

van STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Brasilia, p. 732-747, 2006.

van STRAATEN, P. Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa. ICRAF, Nairobi, Kenya, 2002. 338 p.

van STRAATEN, P. Agrogeological resources in eastern and southern Africa. In: WACHIRA, J.K. & NOTHOLT, A.J.G. Agrogeology in Africa. **Common Sci Council**, p. 12-36, 1987.

von WILPERT, K. & LUKES, M. Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulphate in a spruce stand on an acidified glacial loam. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 65, p. 115-127, 2003.

VILHORDO, B. W. et al. Morfologia. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996, p. 178.