



**Programa de Pós-Graduação em
Engenharia e Ciências Ambientais - PPGECAM**

Rogério Pires Santos

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MARMORARIA EM
CONSÓRCIO COM MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE
ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE ARGILA VERMELHA**

Caxias do Sul - RS

2017

ROGÉRIO PIRES SANTOS

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MARMORARIA EM
CONSÓRCIO COM MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE
ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE ARGILA VERMELHA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais (PPGECAM) da Universidade de Caxias do Sul - UCS.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Antônio Reichert.

Caxias do Sul - RS

2017

S237a Santos, Rogério Pires

Análise da utilização de resíduos sólidos de mamoraria em consórcio com macrófitas aquáticas na recuperação de áreas degradadas por mineração de argila vermelha / Rogério Pires Santos. – 2017.

123 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2017.

Orientação: Geraldo Antônio Reichert.

1. rochagem, impactos ambientais, recuperação de áreas degradadas, mineração de argila vermelha. I Reichert, Geraldo Antônio, orient. II. Título.

“ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MARMORARIA EM CONSÓRCIO COM MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE ARGILA VERMELHA.”

Rogério Pires Santos

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, Área de Concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.

Caxias do Sul, 02 de março de 2017.

Banca Examinadora:

Dr. Geraldo Antônio Reichert

Orientador

Universidade de Caxias do Sul

Dr. Juliano Rodrigues Gimenez

Universidade de Caxias do Sul

Dra. Mônica Spier

Escola Técnica Bom Pastor

Dra. Vania Elisabete Schneider

Universidade de Caxias do Sul

À minha família, em especial a meu
filho: Gabriel Bueno Cardoso Santos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço preliminarmente a Deus, causa primária de todas as coisas.

Agradecimentos especiais a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Orientador Dr. Geraldo Antônio Reichert pelas orientações, revisões e sugestões.

À Marmoraria Granimar, em Camaquã, RS pelas amostras de resíduos de corte de granito.

Ao Sr. Júlio Ito, pelas amostras de macrófitas aquáticas.

À Floricultura Exemplo, em Nova Petrópolis, RS pelo apoio.

À indústria cerâmica Dilmann, em Cristal RS, pela disponibilidade das amostras de solo de área de extração de argila vermelha.

Ao laboratório de Química e Fertilidade de Solos da UCS.

Às professoras Dra. Rosane Lanzer e Dra. Suelen Paesi pelo empréstimo dos laboratórios e equipamentos necessários a execução dos experimentos.

Aos colaboradores da secretaria do PPGCAM, pela sempre atenciosa dedicação às demandas solicitadas e pronto atendimento: Deise Ediane Carvalho e Flávio Ari Pedrotti.

Enfim, à coordenação, equipe e corpo docente do PPGCAM, aos colegas de curso e demais pessoas que contribuíram para a execução deste trabalho.

*Desafio do Lixo
(Gilberto Gil)*

*Onde vamos pôr
as caixas de isopor
onde diabos vamos pôr
as nossas caixas de isopor*

*como nos livrar
das plásticas palavras
ditas à mesa do bar
palavras que vão dar no mar*

*poluir é ir juntando o que resta de nós
após as refeições
nossos restos mortais*

*venenosas ilusões
milhões de garrafas vazias
cheias de alergias e aflições*

*onde vamos pôr
as caixas de isopor
a vida de mentira
a ira, do desamor*

*temos que encontrar o lugar
no deserto aberto
em nossos corações*

*Cio da Terra
(Chico Buarque/Milton Nascimento)*

*Debulhar o trigo
Recolher cada bago do trigo
Forjar no trigo o milagre do pão
E se fartar de pão*

*Decepar a cana
Recolher a garapa da cana
Roubar da cana a doçura do mel
Se lambuzar de mel*

*Afagar a terra
Conhecer os desejos da terra
Cio da terra, a propícia estação
E fecundar o chão*

RESUMO

As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos. Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas é a rochagem, que consiste basicamente na incorporação de rochas/minerais ao solo. Uma fonte considerável de resíduos minerais para a rochagem é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, pois em serrarias que produzem blocos de 20 mm de espessura, de 25 a 30% do bloco de granito são perdidos como partículas finas, considerando o fato de que o mercado brasileiro gera 240.000 t.ano⁻¹, contabilizando apenas o mármore e o granito. O presente trabalho propõe a utilização de resíduos de corte de granito e resíduos orgânicos de *Eichhornia crassipes*, em consórcio na produção de um substrato rico em matéria orgânica e mineral, composto por micro e macro nutrientes essenciais à nutrição vegetal, favorecendo a recuperação de áreas degradadas por mineração. Desta forma, o presente trabalho objetivou verificar os efeitos da rochagem com resíduos de marmoraria (granito) e da aplicação de resíduos orgânicos de macrófita aquática aguapé (*Eichhornia crassipes*) sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de capim pensacola (*Paspalum notatum*), uma gramínea nativa da América do Sul. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e constou de 12 tratamentos, como segue: subsolo de área degradada com três doses de resíduos de marmoraria (8, 16 e 32 t. ha⁻¹), combinadas com 8 t. ha⁻¹ de resíduos orgânicos (aguapé), gerando 9 tratamentos, além de três adicionais, com solo de área degradada por mineração de argila vermelha preservado, utilizado como referência. Foram realizadas análises químicas e microbiológicas do solo, além de medidas de altura, massa seca e fresca da parte aérea e do sistema radicular das plantas. Os resultados indicam que os procedimentos com resíduos de granito e aguapé, contribuíram para melhorar as condições químicas e biológicas do solo e proporcionar bons resultados para as variáveis microbiológicas, enquanto as plantas apresentaram o maior crescimento nos tratamentos em que foram adicionados maiores concentrações de resíduos de marmoraria. A rochagem consorciada com macrófitas aquáticas proporcionou elevação da qualidade do solo exposto pela atividade, colaborando para recuperação de locais degradados e fechamento do ciclo de resíduos.

Palavras-chave: Fungos micorrízicos arbusculares, *Paspalum notatum*, rochagem, impactos ambientais.

ABSTRACT

Mining activities cause significant impacts to the environment, since the development of this activity implies suppression of vegetation, soil exposure to erosive processes with changes in the quantity and quality of surface and underground water resources, besides causing air pollution, among other aspects Negative results. An alternative for the recovery of degraded areas is rock, which basically consists of incorporating rocks / minerals into the soil. A considerable source of mineral waste for rock is the ornamental stone industry, because in sawmills that produce 20 mm thick blocks, 25 to 30% of the granite block is lost as fine particles, considering the fact that The Brazilian market generates 240,000 t.⁻¹, accounting for only marble and granite. The present work proposes the use of granite cutting residues and organic residues of *Eichhornia crassipes*, in a consortium in the production of a substrate rich in organic and mineral matter, composed of micro and macro nutrients essential to plant nutrition, favoring the recovery of degraded areas by mining. In this way, the present work aimed to verify the effects of rocks with marble and granite residues and the application of organic residues of aquatic macrophyte (*Eichhornia crassipes*) on chemical and microbiological aspects of an exposed basement and on the growth of pensacola grass (*Paspalum notatum*), a grass native to South America. The experiment was conducted in a greenhouse and consisted of 12 treatments, as follows: degraded area subsoil with three doses of marble waste (8, 16 and 32. ha⁻¹), combined with 8 t. ha⁻¹ of organic waste (water hyacinth), generating 9 treatments, in addition to three additional ones, with degraded area soil by mining of preserved red clay, used as reference. Soil chemical and microbiological analyzes were carried out, as well as measurements of height, dry and fresh mass of shoot and root system of plants. The results indicate that the procedures with granite and water hyacinth residues contributed to improve the chemical and biological conditions of the soil and to provide good results for the microbiological variables, while the plants presented the highest growth in the treatments in which were added higher concentrations of residues of marble work. The rock consortium with aquatic macrophytes gave rise to the quality of the soil exposed by the activity, collaborating for the recovery of degraded sites and closure of the waste cycle.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, *Paspalum notatum*, stonemeal, environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais horizontes pedológicos encontrados em solos brasileiros	24
Figura 2: Arranjos produtivos locais (APLs) da indústria cerâmica no Brasil	26
Figura 3: Representação esquemática das etapas de licenciamento ambiental em processos de mineração.....	30
Figura 4: Etapas e Principais Produtos na Indústria de Rochas Ornamentais.....	38
Figura 5: Fluxograma do Processo de Beneficiamento Primário e Secundário de Rochas Ornamentais	38
Figuras 6-a e 6-b: Eutrofização causada pela proliferação de macrófita <i>Eichhornia crassipes</i> em represa (a) e detalhe de <i>Eichhornia crassipes</i> (b)	42
Figura 7: Detalhe de vista aérea da área de coleta das amostras de solo e subsolo em Planosolo hidromórfico em área de extração de argila vermelha - Município de Cristal - RS.....	48
Figura 8: Horizontes e camadas em área de extração de argila vermelha e material em estoque para recuperação de área degradada.....	48
Figura 9: Delineamento amostral das coletas de amostras de solo e subsolo da área degradada por mineração de argila vermelha.....	49
Figura 10: Fluxograma de ações a serem executadas na pesquisa.....	50
Figuras 11-a: Amostra composta de solo do horizonte A (Planosolo hidromórfico) de área de extração de argila vermelha. 11-b: Amostra composta de subsolo (Horizonte C).....	51
Figura 12: Representação esquemática do processo de simulação de recuperação de área degradada em escala reduzida.....	51
Figuras 13-a: Resíduo de macrófita aquática <i>Eichhornia crassipes</i> (raízes, folhas e pecíolo) desidratado e triturado após secagem 13-b: Resíduo de marmoraria (corte e polimento de granito) desidratado após secagem.....	52
Figuras 14: Diagrama esquemático representativo do perfil do solo em área de mineração de argila e processo de recuperação de área degradada por mineração de argila vermelha.....	53
Figura 15: Sementes de <i>Paspalum notatum</i> (grama pensacola) utilizadas na pesquisa.....	54
Figura 16: Pesagem de gramíneas após secagem	55
Figura 17: Raízes preservadas em álcool 50%.....	57
Figura 18: Detalhe de raízes em processo de banho-maria em solução de KOH a 10%.....	58
Figura 19: Estágios inicial e final de crescimento de unidades amostrais com plantio de gramínea <i>Paspalum notatum</i> em casa de vegetação.....	61

Figura 20: Crescimento radicular de *P. notatum* cultivados sob diferentes dosagens de resíduo de marmoraria consorciados com 8 t ha⁻¹ de *E. crassipes* e controle após 90 dias de cultivo..... 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização química de amostras de RCG estudadas por diferentes autores.....	37
Tabela 2: Dados percentuais de granulometria e massa específica de resíduos de corte de granito	39
Tabela 3: Constituição química da macrófita aquática <i>E. crassipes</i>	59
Tabela 4: Parâmetros físicos e químicos do solo para amostra controle e diferentes tratamentos com resíduos de corte de granito e macrófita aquática <i>E. crassipes</i> considerando saturação por bases	60
Tabela 5: Parâmetros químicos do solo para amostra controle e diferentes tratamentos com resíduos de corte de granito e macrófita aquática <i>E. crassipes</i> considerando saturação por bases	61
Tabela 6: Crescimentos foliar e radicular médio nos diferentes tratamentos e controle.....	64
Tabela 7: Massa de matéria seca em gramas nos diferentes tratamentos e controle.....	65
Tabela 8: Taxa percentual de colonização de FMA.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Terminologia adotada pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos referente a recuperação de áreas degradadas	28
Quadro 2: Legislação Federal aplicada a mineração no Brasil	31
Quadro 3: Descrição de resíduos gerados por marmorarias	36
Quadro 4 : Período de sobrevivência de patógenos em lodo de esgoto estabilizado em função do tempo	40
Quadro 5: Período de sobrevivência de patógenos em lodo de esgoto estabilizado em função da temperatura	41
Quadro 6 : Representação da organização experimental das unidades amostrais.....	51

LISTA DE SIGLAS

ANICER: Associação Nacional da Indústria Cerâmica

ANOVA: Análise de Variância

APLs: Arranjos Produtivos Locais

APP: Área de Preservação Permanente

CTC: Capacidade de Troca de Cátions

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

FMA: Fungos Micorrizos Arbusculares

FRX: Fluorescência de Raios X

HCl: Ácido clorídrico

IBAMA: Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis

KOH: Hidróxido de potássio

MME: Ministério de Minas e Energia

MO: Matéria orgânica

pH: Potencial de Hidrogênio

PRADs: Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas

RENASEM: Registro Nacional de Produtores de Sementes

RIMA: Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

SB: Soma de Bases Trocáveis

SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SNUC: Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UCS: Universidade de Caxias do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1 Definição de área degradada	21
3.1.1 Recuperação de áreas degradadas por mineração: processos e técnicas	21
3.2 Noções sobre solos.....	23
3.3 Mineração de argila vermelha	24
3.3.1 Aspectos Legais referentes à mineração e recuperação de áreas degradadas....	26
3.4 Rochagem como alternativa para recuperação de áreas degradadas por mineração	31
3.4.1 Considerações sobre a rochagem	32
3.5 Geração de resíduos sólidos em marmorarias.....	34
3.5.1 Impactos ambientais.....	34
3.5.2 Classificação e caracterização de resíduos sólidos gerados por marmorarias.....	37
3.5.2.1 Possibilidade do uso de resíduos orgânicos consorciados com resíduos de rochas.....	40
3.6 Potencial de <i>Eichhornia crassipes</i> como condicionador de solos.....	43
3.7 Processos de sucessão ecológica em áreas degradadas	44
3.7.1 Uso de gramíneas no processo de recuperação de áreas degradadas por mineração	45
4 METODOLOGIA	47
4.1 Tipologia da pesquisa.....	47
4.2 Coletas e preparação das amostras de substrato	47
4.2.1 Amostragem do solo.....	48
4.3 Coleta e amostragem de resíduos e macrófitas aquáticas.....	49
4.4 Delineamento experimental e metodologia de execução da pesquisa.....	50
4.5 Cultivo de gramínea indicadora.....	53

4.5.1 Avaliação das gramíneas	54
4.5.2 Extração de esporos de FMA.....	55
4.5.3 Contagem de esporos de FMA e definição da taxa de colonização	56
4.6 Análise de dados	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1 Artigos submetidos à publicação.....	59
5.2 Artigo I.....	59
5.2 Artigo II.....	79
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
6.1 Sugestões para futuros trabalhos.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
APÊNDICES.....	102
Artigo publicado em anais de congresso.....	103
Anexo I: Comprovante de submissão de publicação de artigo I.....	115
Anexo II: Comprovante de submissão de publicação de artigo II.....	116
Anexo III: Análise de tecido foliar.....	117
Anexo IV: Relatórios de química de solo.....	119

1 INTRODUÇÃO

As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos (MECHI e SÁNCHEZ, 2010).

Pode-se considerar que geralmente toda atividade de mineração resulta em supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Por outro lado, o solo superficial, o qual apresenta maior índice de fertilidade é removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos acarretando em assoreamento dos corpos d'água do entorno, sendo necessário a sua recuperação, preferencialmente paralela à atividade de extração, sempre que possível.

Segundo Silva *et al.* (2008), a degradação de uma área “...ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil do solo é removida ou enterrada e a qualidade do regime de vazão do sistema hídrico, alterada.”

Da mesma forma, o art. 1º do Decreto Federal nº 97.632/89, que regulamenta o art. 2º, VIII, da Lei Federal nº 6.938/81 (BRASIL, 1989) estabelece o dever de recuperar no processo de estudo da viabilidade ambiental da atividade minerária:

(...) os empreendimentos que se destinem à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente um plano de recuperação de área degradada.

De acordo com Silva *et al.* (2008, p.324):

Ocorre que algumas obras de engenharia promovem a degradação, pois retiram os horizontes superficiais do solo, principalmente para empréstimo em aterros e barragens, expondo horizontes inferiores, onde o material não apresenta agregação e os processos erosivos se acentuam. A ausência de matéria orgânica e a baixa disponibilidade de nutrientes, nessas situações, não permitem o estabelecimento de vegetação, facilitando a ação dos agentes erosivos.

Assim, considerando que as atividades de mineração resultam em aspectos e impactos ambientais negativos, é necessário a sua recuperação, preferencialmente paralela à atividade de extração, sempre que for possível.

Ocorre que apesar da obrigação legal de recuperar as áreas degradadas por imposição legal, segundo o Decreto Federal nº 97.632, de 10 de abril de 1989 (BRASIL, 1989) persistem inúmeras dificuldades em promover-se esta recuperação (ALMEIDA e SANCHES, 2005), especialmente em áreas de mineração de argila vermelha, devido as características socioeconômicas deste setor, composto em grande parte por empresas de

pequeno e médio porte, as quais carecem de meios e recursos apropriados, bem como acesso a novas tecnologias.

O Brasil possui grandes reservas de argilas para cerâmica vermelha. Dados do Departamento Nacional de Mineração (DNPM) sobre reservas minerais indicam que houve um aumento significativo no número de reservas desse minério a partir do ano 2000 (MME, 2009).

Segundo Ministério de Minas e Energia (2009), em 1996 as reservas medidas de argilas comuns e plásticas eram de aproximadamente 1,4 bilhões de toneladas. Já em 2001 os valores de reserva de argilas comuns chegaram a cerca de 2,2 bilhões de toneladas, e em 2005 as reservas atingiram 3,6 bilhões de toneladas.

No entanto, segundo Ministério de Minas e Energia (2009, p. 7):

(...) este crescimento abrupto das reservas oficiais não está relacionado diretamente à descoberta e dimensionamento de novas jazidas, mas, sobretudo, à atuação mais efetiva dos órgãos gestores de mineração e ambiental, que obrigou o empreendedor, que atuava de maneira informal, a regularizar sua situação no DNPM (...)

Ainda, segundo Ministério de Minas e Energia (2009) das principais reservas medidas, mais de 70%, estão concentradas em quatro estados brasileiros, onde estão localizados os mais importantes pólos de cerâmica vermelha (SP, MG, PR e SC). No estado do Rio Grande do Sul os pólos cerâmicos concentram-se em Pelotas e região, Feliz e vale do Caí.

Na maioria dos empreendimentos de mineração do setor, a mineração de argila apresenta deficiências técnicas envolvendo a pesquisa mineral, a lavra e o beneficiamento. Isto resulta em deficiências na qualidade das matérias-primas, o que prejudica a competitividade da cadeia produtiva. Da mesma forma, parte dos empreendimentos opera de maneira informal ou em desacordo com a legislação mineral e ambiental, o que compromete o controle e a recuperação ambiental das áreas mineradas (JUNIOR *et al.*, 2005). Esta realidade trás um sério problema ambiental: a degradação ambiental de áreas mineradas a céu aberto, pela dificuldade de recuperação destas áreas, tornando-se necessário o desenvolvimento de técnicas e meios de regeneração dos ambientes de mineração tornando-o mais próximo o possível dos ambientes naturais anteriores ao processo minerário.

Associado a esta realidade, existe a necessidade de destinação final adequada de outro produto da indústria de mineração: resíduos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais, o pó de rochas, proveniente do corte e polimento de blocos de granito. Este

resíduo pode ser utilizado como composto na técnica de rochagem, consorciado com resíduos orgânicos vegetais provenientes do descarte de macrófitas aquáticas geradas na limpeza de canais de irrigação, represas ou tanques de tratamento de efluentes de atividade de piscicultura/carcinicultura promovendo destinação final a resíduos de diferentes cadeias e etapas produtivas.

No mesmo sentido, a macrófita aquática flutuante *Eichhornia crassipes* apresenta vasta distribuição geográfica, sendo considerada planta daninha por apresentar proliferação excessiva em diversos ambientes aquáticos. Essa macrófita pode acarretar problemas aos usos múltiplos de rios, lagos e represas, dificultando a navegação e a captação de água, prejudicando a geração de energia elétrica, empreendimentos de saneamento e comprometendo as atividades de lazer (CAMARGO *et al.*, 2003; MARTINS *et al.*, 2003). No entanto, devida à ampla distribuição e característica de altas taxas de crescimento, somadas à elevada capacidade de acumularem nutrientes, tornam esses vegetais potencialmente atrativos para a produção de substratos condicionadores de solos.

Macrófitas aquáticas têm sido utilizadas com sucesso no tratamento de efluentes urbanos e de aquíicultura (HENRY-SILVA, 2001). Neste sentido, existe um reduzido aproveitamento da biomassa vegetal produzida nesses sistemas de tratamento, onde as plantas necessitam ser retiradas periodicamente para aperfeiçoar a remoção de nutrientes. Nesse contexto, alternativas de aproveitamento dessa biomassa excedente podem ser implementadas, como na produção de papel e biogás, na alimentação de animais e na fertilização de solos (PIETERSE e MURPHY, 1990; EL-SAYED, 1999), ou no tratamento e remoção de metais pesados em efluentes industriais (SCHNEIDER, 1995).

Diante do exposto, a utilização de resíduos de marmorarias e resíduos orgânicos de *Eichhornia crassipes*, em consórcio, pode gerar um substrato rico em matéria orgânica e mineral, composto por micro e macronutrientes essenciais a nutrição vegetal.

O processo de consorciamento de resíduos de marmoraria com resíduos de macrófitas aquáticas pode promover a recuperação de áreas degradadas por mineração, em especial, proporcionando uma melhoria da qualidade do subsolo exposto pela atividade com conseqüente recuperação do local, pois a técnica proposta proporciona uma melhoria da qualidade dos solos.

Em condições apropriadas os minerais dispostos permanecem por mais tempo no solo, e são absorvidos lentamente pelas plantas, promovem retenção de água seguindo os pressupostos do desenvolvimento sustentável (RAMOS *et al.*, 2014-a; THEODORO e LEONARDOS, 2006).

Neste contexto, o presente trabalho se propõe a responder o seguinte problema de pesquisa: A utilização de resíduos sólidos de marmorarias (partículas finas de granito provenientes do corte de blocos) em consórcio com macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*) podem produzir um substrato de qualidade capaz de complementar e/ou substituir a camada de solo orgânico, com resultados positivos para fatores físicos, químicos e biológicos, em áreas degradadas por mineração, em especial áreas de extração de argila vermelha?

2 OBJETIVOS

Na sequência são apresentados os objetivos geral e específicos do presente trabalho.

2.1 Objetivo geral

Analisar a eficiência da aplicação de resíduos minerais da atividade do corte de granito (marmoraria) consorciados com resíduos orgânicos de macrófita aquática para fins de recuperação de áreas degradadas por mineração de argila vermelha.

2.2 Objetivos Específicos

- determinar a composição química dos resíduos sólidos resultantes do corte de blocos de granito em marmorarias com foco na identificação do seu potencial para a rochagem;
- quantificar o teor de nutrientes em amostra de macrófita aquática *E. crassipes*;
- realizar experimentos em casa de vegetação com resíduos minerais consorciados com macrófitas aquáticas e vegetação;
- avaliar o crescimento e produção de biomassa dos exemplares cultivados em substrato de resíduos de corte de granito consorciados com resíduos vegetais;
- determinar o potencial de consorciamento dos resíduos sólidos de marmoraria com macrófitas aquáticas para fins de recuperação de áreas degradadas por mineração de argila vermelha;
- determinar a taxa de colonização de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) no substrato produzido e a presença de atividade biológica capaz de favorecer a recuperação efetiva de áreas degradadas por mineração de argila vermelha.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração pode ser efetuada a partir de diversas técnicas. Uma técnica pouco usual no Brasil consiste na rochagem, a qual pode ser potencializada pelo consorciamento de resíduos orgânicos de diversas origens, inclusive macrófitas aquáticas, em conjunto com resíduos de corte de granito.

Macrófitas aquáticas podem ser utilizadas em processos de tratamentos de efluentes, gerando assim uma biomassa que deve ser descartada corretamente, além de estarem presentes em ambientes naturais, onde são consideradas, muitas vezes, como plantas invasoras e daninhas.

A conceituação de área degradada é muito diversa na literatura especializada. De modo geral, qualquer alteração ambiental pode ser considerada uma forma de degradação. Os termos se consolidaram no Brasil na década de 1980, no entanto conceituações genéricas são encontradas na literatura em torno dos termos degradação e recuperação.

3.1 Definição de área degradada

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) define degradação do solo como a deterioração ou perda total da capacidade destes para uso atual e futuro (FAO, 1980 *apud* ARAUJO *et al.*, 2005). Sendo assim, necessário delimitar e conceituar os diferentes termos: degradação e perturbação.

Desmatar uma área ou deteriorar as propriedades de um solo pode ser considerado degradações ou perturbações, considerando-se diferentes graus de intensidade de danos. Assim, se o ambiente não se recupere naturalmente em um tempo razoável, está degradado, e a intervenção antrópica é necessária. No entanto, caso o ambiente mantenha sua capacidade de regeneração ou depuração, está perturbado, e a intervenção humana apenas promove a aceleração do processo de recuperação (CORRÊA, 2007).

A perda de resiliência em solos resulta em áreas degradadas. Porém, em determinados locais, a mitigação dos impactos ambientais causadores da alteração pode ser suficiente para que processos de regeneração natural recuperem o ecossistema terrestre. Nesta situação, pode-se considerar que as áreas encontram-se perturbadas, pois apresentam certo grau de resiliência, sendo importante reconhecer estes aspectos e diferenças conceituais para que se obtenham bons resultados em PRADs.

3.1.1 Recuperação de áreas degradadas por mineração: processos e técnicas

As atividades de mineração em geral causam degradação ambiental, descaracterizando o ambiente natural, porém as técnicas de restauração ecológica possibilitam a reconstrução de um ambiente onde seja possível, dentro de limitações técnicas, o restabelecimento do equilíbrio ecológico (TREVISAN *et al.*, 2011).

Considerando a recuperação dessas áreas, as mesmas encontram-se constituídas por um substrato quase sempre muito compacto e pobre em nutrientes, e nesta situação, o crescimento das plantas é mais difícil. No entanto, o restabelecimento de comunidades vegetais nativas é uma das formas mais utilizadas para recuperar áreas degradadas pela mineração, promovendo um novo uso do solo que visa à conservação ambiental (ALMEIDA e SÁNCHEZ, 2015).

Neste sentido, existem muitas dificuldades na implementação de medidas propostas nos Programas de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) sendo frequente a ocorrência de problemas relativos ao manejo do solo e das plantas, o que compromete o sucesso da revegetação (ALMEIDA e SÁNCHEZ, 2015).

A exigência legal de recuperar áreas degradadas pela mineração não é recente no Brasil, mas ainda persistem dificuldades de ordem técnica e econômica para a condução adequada de recuperação de áreas degradadas. Segundo Bitar (1997), os procedimentos descritos nos PRADs muitas vezes não são seguidos na prática. Segundo Dias e Sánchez (2001), a fiscalização e a avaliação dos resultados efetivos da implantação de medidas de recuperação ambiental em minerações são raramente implementados de modo sistemático, devido a múltiplas razões.

Sánchez e Almeida (2015) descrevem que nos locais de mineração, em geral há dois tipos de áreas, onde é necessária a revegetação:

- áreas de mata ciliar que, segundo o Código Florestal Brasileiro (Lei Federal 12.651/2012), são áreas de preservação permanente (APP) e devem ser revegetadas exclusivamente com espécies nativas;
- áreas operacionais da mineração, incluindo margens de cavas, áreas de disposição de rejeitos, locais de estocagem, instalações de beneficiamento, oficinas, escritórios e demais construções, cuja revegetação pode, muitas vezes, ser feita com outras espécies e depende da reabilitação planejada e dos objetivos de uso da área após o encerramento da mineração.

Na revegetação de áreas degradadas, tem sido usualmente recomendada a aplicação do modelo sucessional, o qual separa as espécies vegetais em grupos ecológicos com características comuns e funções diferentes na dinâmica da floresta (WEST *et al.*, 1981;

SWAINE e WITHMORE, 1988).

Assim, ao elaborar um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) deve-se:

(...) visar, primeiramente, à criação de paisagens estáveis nas jazidas explotadas. Depois, devem tornar substratos minerados aptos ao recebimento de plantas e, finalmente, devem identificar as espécies vegetais que são capazes de iniciarem um processo de sucessão ecológica (CORRÊA, 2007, p.12).

Em processos de mineração, ações de desmatamento e remoção de solo retiram nutrientes do meio, que são essenciais para o seu funcionamento e equilíbrio ecológico. Desta forma, para fins de revegetação de áreas degradadas, solo será: “... o produto final da intervenção humana sobre um substrato que apresenta baixo potencial biológico” (CORRÊA, 2007, p.13).

A condição adversa à atividade biológica e regeneração vegetal é resultante em áreas mineradas, do resultado da perda da estrutura física, química e biológica original dos solos não degradados. Podemos considerar segundo Corrêa (2007) três áreas de enfoque que visam à recuperação de áreas degradadas:

(...) **revegetação, remediação e geotecnia**. As estabilidades ecológica e ambiental, a estabilidade química e a estabilidade física são, respectivamente, os objetivos dessas três áreas de atuação. A interação entre essas áreas é intensa, pois não há que se pensar em revegetação sem antes se remediarem processos químicos e se estabilizarem fisicamente locais minerados (**Grifado no original**).

Substratos minerados tornam-se geralmente incapazes de promover a percolação e infiltração de água, causando erosão e resultando em eliminação da vida microbiológica do solo. Assim a degradação resulta em quebra de ciclos naturais e a recuperação de uma área degradada deve ser entendida como a restituição da função ecológica desse local. Projetos de revegetação devem considerar os ciclos ecológicos a partir de conhecimentos da Edafologia, da Ecologia para que se obtenha êxito na execução dos PRAD's.

3.2 Noções sobre solos

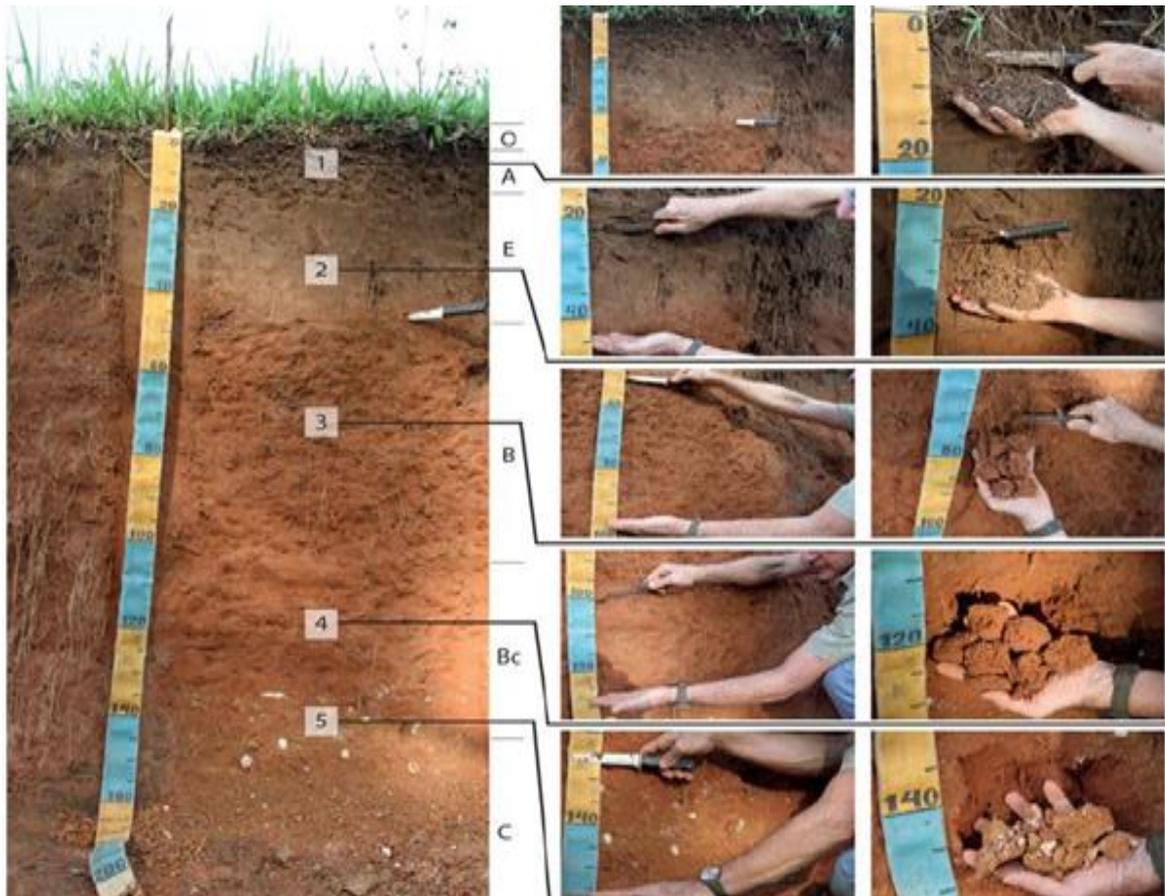
Para fins de atividade de mineração, é importante localizar a(s) camada(s) que interessa explorar e definir a sua espessura. Na recuperação de uma área minerada, é essencial saber qual o horizonte que permanecerá exposto ao final da lavra, pois é sobre ele que o novo ecossistema será implantado.

A pedologia é a ciência que estuda a formação e as características dos solos por meio da descrição de perfis (STRECK *et al.*, 2009). Em ambientes degradados, sob o enfoque da Edafologia, deve-se aumentar a matéria orgânica, a aeração e a capacidade de

armazenamento de água de substratos minerados. Só assim o substrato estará apto ao crescimento de plantas e outros organismos.

Solos são formados por diferentes perfis, sendo que cada horizonte ou camada possui características específicas, atributos e limitações de ordem física, química, biológica, hidrológica e estrutural (Figura 1).

Figura 1: Principais horizontes pedológicos encontrados em solos brasileiros



Horizontes O: Camada orgânica, formada sob condições aeróbicas, sem água estagnada (húmus). A: Horizonte superficial mineral, usado para classificar solos. Concentra a maior parte da matéria orgânica e da vida em solos minerais. E: Horizonte mineral de perda de matéria orgânica, argila e óxidos de ferro. B: Horizonte subsuperficial usado para classificar solos. Bc: Horizonte ou camada mineral de acúmulo de ferro e alumínio. C: Horizonte mineral parcialmente intemperizado e ainda apresentando características da rocha-mãe.

Fonte: Adaptado de Lepsch (2011).

3.3 Mineração de argila vermelha

O termo argila, *lato sensu*, é empregado para definir um material inorgânico de origem natural, que apresenta comportamento plástico quando em presença de água. Do ponto de vista sedimentológico e granulométrico, a fração argila corresponde ao conjunto

de partículas inferiores a 2 μm ou 4 μm , segundo as escalas de Attemberg e Wentworth, respectivamente (JUNIOR *et al.*, 2005).

Na indústria de cerâmica vermelha as argilas são empregadas como matéria-prima na fabricação de blocos de vedação, telhas e tijolos maciços.

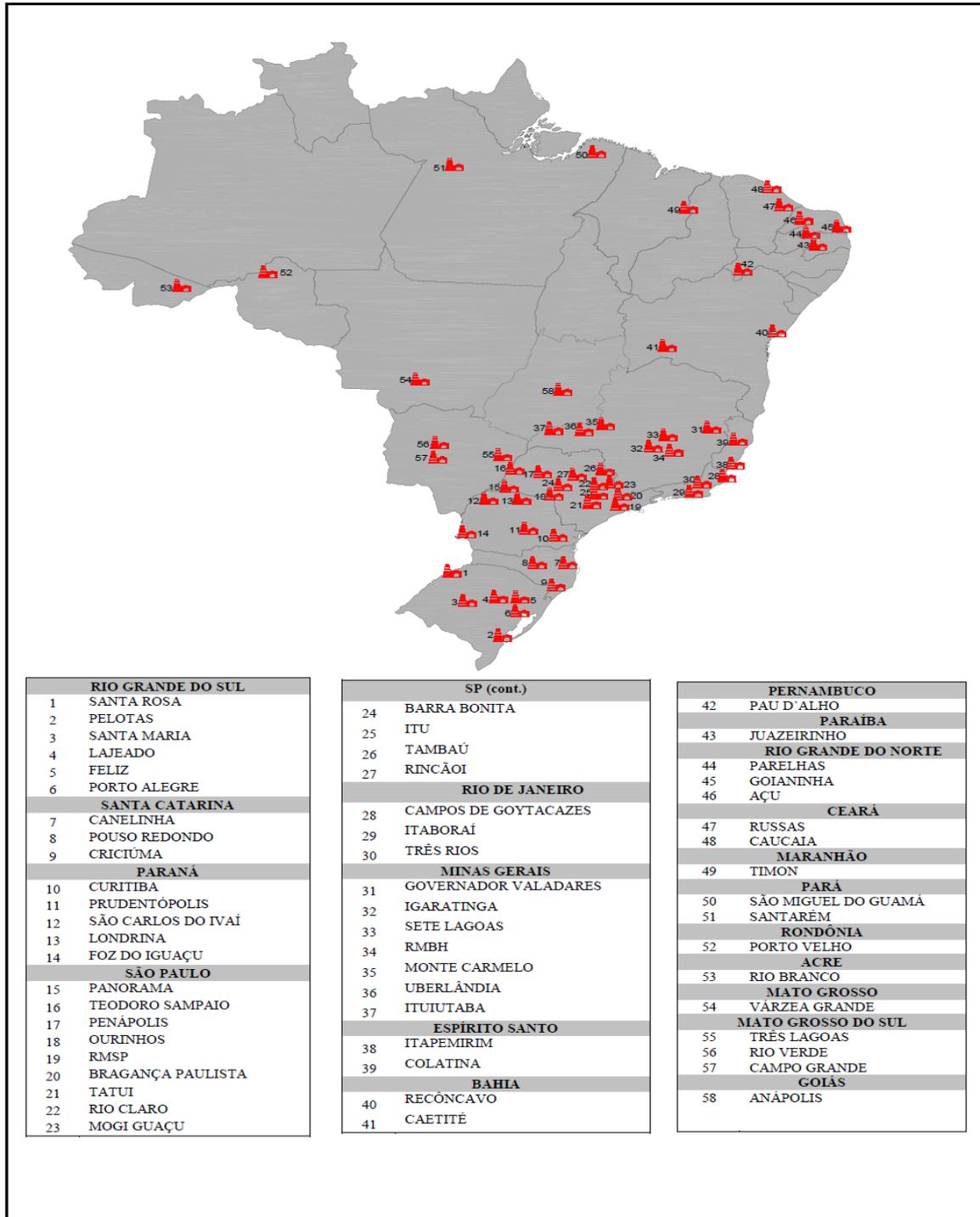
O maior desenvolvimento do setor de cerâmica vermelha no Brasil ocorreu a partir da década de 1960, pela implementação de políticas públicas no setor habitacional, por meio da criação do Sistema Financeiro da Habitação e do Banco Nacional da Habitação e durante a década de 1970, a partir de uma demanda continuada com aumento significativo dos empreendimentos de construção civil no país, provocando a modernização e expansão da indústria cerâmica nacional (JUNIOR *et al.*, 2005).

Dados da Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2016) indicam que o setor de cerâmica vermelha conta atualmente com aproximadamente 6.903 estabelecimentos fabris, distribuídos amplamente por todo território nacional, mais notadamente nas regiões Sudeste e Sul, perfazendo um faturamento anual da ordem de R\$ 18 bilhões.

Desta forma, concentrações de empresas do mesmo setor podem, no mesmo território, agregar outros segmentos da cadeia produtiva, como fornecedores de insumos e serviços, apresentando graus variados de interação entre os agentes empresariais e com organismos externos, como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e inovação. Esse adensamento da cadeia produtiva de base mineral, associada à interação, cooperação e aprendizado entre seus diversos elos e agentes externos, favorece o incremento da competitividade de todos os negócios associados localmente, com significativos ganhos, em especial ao pequeno e médio empreendedor.

No entanto, a promoção do desenvolvimento econômico deve estar relacionada ao desenvolvimento sustentável, que compreende a tríade de fatores ambientais, sociais e econômicos, sendo um desafio uma vez que a demanda por matéria prima para o processo fabril torna-se um desafio ao minerador, pois se trata da extração de um recurso natural de fundamental importância para o suporte a vida em suas diferentes formas além de ser responsável pela estabilidade geológica e hidrogeológica dos ambientes naturais. Este parque industrial embora constituído em sua maior parte por pequenas e médias empresas apresenta uma demanda de consumo anual de cerca de 82 milhões de toneladas de argilas (ANICER, 2016). Em determinadas regiões, como ocorre no RS, na região do Vale do Caí, este conjunto de indústrias constituem os chamados Arranjos Produtivos Locais (APLs) de base mineral, conforme Figura 2.

Figura 2: Arranjos produtivos locais (APLs) da indústria cerâmica no Brasil



Fonte: Junior *et al.*, 2005.

3.3.1 Aspectos Legais referentes à mineração e recuperação de áreas degradadas

A Constituição Federal (BRASIL, 1988) estabelece em seu artigo 225 que:

(...) todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder

Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Em seu § 2º está estabelecido que:

(...) aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

A recuperação de áreas degradadas, qualquer que seja o estado de degradação, encontra suporte também em normas infraconstitucionais e o tema constitui um dos pilares da Política Nacional do Meio Ambiente. A Lei Federal 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) determina que:

Artigo 2º- A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

(...)

VIII - Recuperação de áreas degradadas.

(...)

Entretanto, com finalidade de conceituar as diferenças entre degradação e recuperação levou a promulgação do Decreto Federal 97.632, de 10 de abril de 1989 (BRASIL, 1989), que regulamenta o artigo 2º, Inciso VIII da Lei Federal nº 6.938/81. Em seu artigo 1º, o Decreto Federal nº 97.632/1989 prevê que:

(...) os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente o Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD.

Decreto Federal nº 97.632, artigo 2º:

Para efeito deste Decreto são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.

Decreto Federal nº 97.632, artigo 3º:

A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

Segundo Corrêa (2007) países em que o tema encontrava-se mais desenvolvido à época da promulgação de legislação brasileira, já haviam tomado posições mais realistas, a exemplo da definição criada em 1974, pela Academia de Ciências dos Estados Unidos, conforme se observa no Quadro 1.

Quadro 1: Terminologia adotada pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos referente a recuperação de áreas degradadas

Termo	Definição
Restauração	Reposição das exatas condições ecológicas da área degradada, ou ao <i>status quo ante</i> . A restauração de um ecossistema é extremamente difícil e onerosa, só justificável para ambientes raros. Os profissionais que trabalham com Ecologia da Restauração atuam no ramo da reconstrução de ecossistemas perturbados ou degradados. A restauração é improvável quando o ambiente foi agudamente degradado, como em áreas mineradas. Além disso, as restaurações geralmente produzem apenas comunidades simplificadas, em relação às originais, ou comunidades que não se podem manter.
Reabilitação	Retorno da função produtiva da terra, não do ecossistema, por meio da revegetação. Retorno de uma área a um estado de recuperação de pelo menos algumas das funções do ecossistema e de algumas espécies originais. A escarificação do substrato de uma área minerada, por exemplo, é capaz de devolver-lhe a função hidrológica de permitir a infiltração de águas pluviais.
Recuperação	Estabilização de uma área degradada sem o estreito compromisso ecológico. Recuperação é um processo genérico que abrange todos os aspectos de qualquer projeto que vise à obtenção de uma nova utilização para um sítio degradado. É um processo que objetiva, sobretudo, alcançar a estabilidade do ambiente.

Fonte: Adaptado de Corrêa, 2007.

Áreas degradadas no Brasil são geralmente revegetadas, assim recuperação e reabilitação são termos normalmente utilizados (IBAMA, 1990). Em processos de revegetação de uma área minerada, a recuperação é um processo que se inicia com o planejamento, antes da mineração, e termina após a exploração da lavra, com a manutenção do plantio (BARTH, 1989). Ao término da manutenção do plantio, a área deve encontrar-se em um processo independente de sucessão ecológica, ou seja, a intervenção humana não se faz mais necessária.

Na prática, o termo recuperação prevê atividades que permitem o desenvolvimento de vegetação, nativa ou exótica, no ambiente explorado, ou a reutilização do local que foi degradado para diversos outros fins. O resultado desses processos dependerá do objetivo pretendido e da capacidade do local de suportá-lo. Essa posição é compartilhada pelo órgão ambiental federal no Brasil: Instituto Brasileiro de Recursos Naturais e Renováveis (IBAMA) desde 1990. O IBAMA define recuperação como o retorno de áreas degradadas a uma forma de utilização tecnicamente compatível, em conformidade com os valores ambientais, culturais e sociais locais (IBAMA, 1990). Dessa forma, o termo recuperação encontra base conceitual e técnica para que se adotem diversas medidas no tratamento de áreas degradadas. Assim, podem-se conceituar áreas degradadas como ambientes criados por ação antrópica, sendo e a ecologia que rege seus processos, inclusive os de recuperação, ainda pouco conhecida.

O artigo 48 da Lei de Crimes Ambientais: Lei Federal n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998) considera crime passível de detenção impedir ou dificultar a regeneração natural de florestas e demais formas de vegetação:

Art. 2º Quem, de qualquer forma, concorre para a prática dos crimes previstos nesta Lei, incide nas penas a estes cominadas, na medida da sua culpabilidade, bem como o diretor, o administrador, o membro de conselho e de órgão técnico, o auditor, o gerente, o preposto ou mandatário de pessoa jurídica, que, sabendo da conduta criminoso de outrem, deixar de impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la.

(...)

Art. 48. Impedir ou dificultar a regeneração natural de florestas e demais formas de vegetação:

Pena - detenção, de seis meses a um ano, e multa.

No mesmo sentido, a Lei Federal no 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) objetiva, entre outros, recuperar e restaurar ecossistemas degradados (Artigo 4º, Inciso IX). Em seu artigo 2º, o SNUC define:

XIII - recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original.

XIV - restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo da sua condição original.

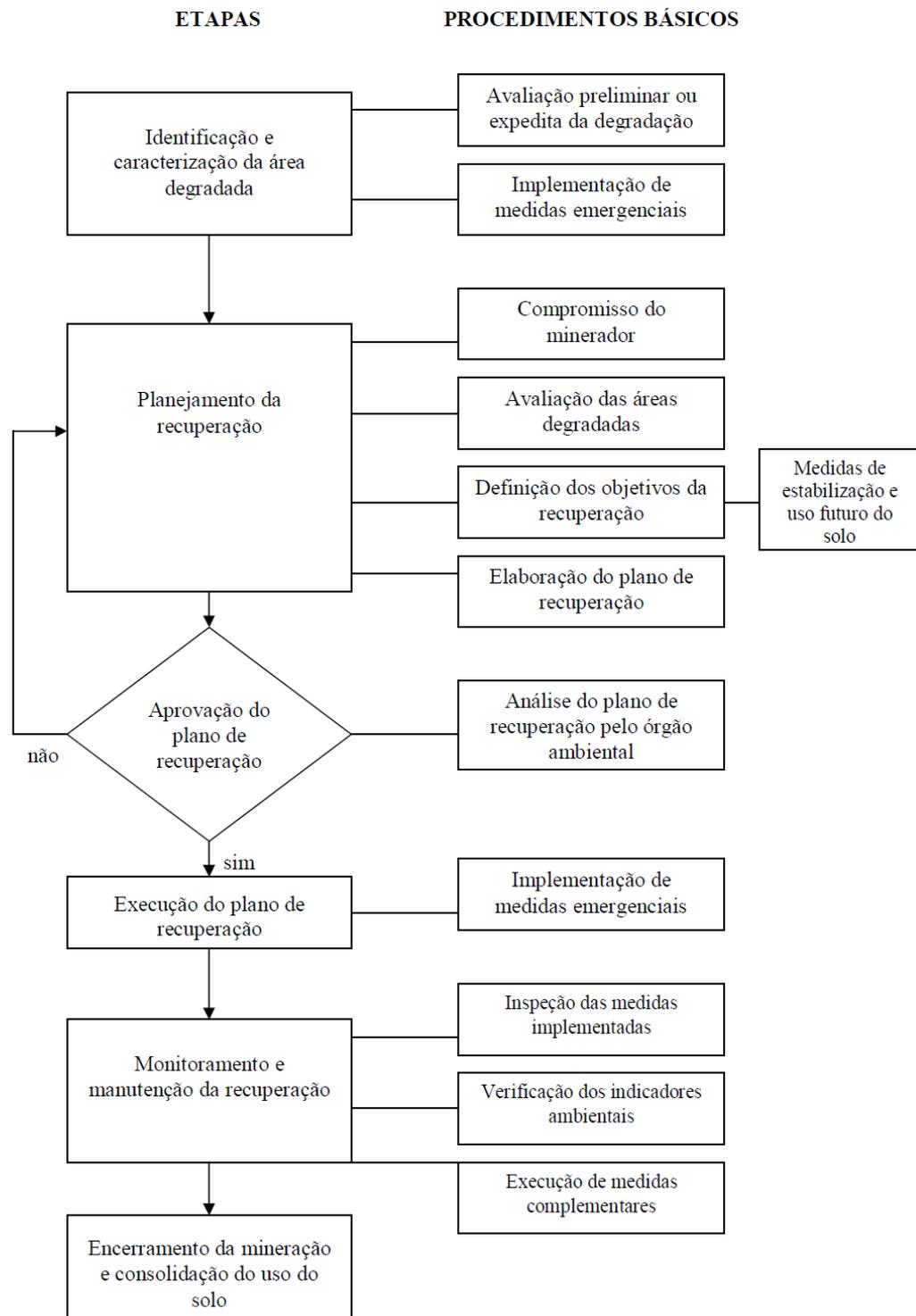
Dessa forma, não somente pelo cumprimento da Lei, mas principalmente porque são as leis naturais que regem os processos ecológicos, os conceitos atuais de degradação, resiliência, recuperação e restauração são mais realistas e devem ser os adotados em PRAD's.

Os processos de regeneração natural, sempre que possível, devem ser preferidos à intervenção direta, pois custos são reduzidos, evita-se a interferência direta sobre ciclos naturais e anulam-se riscos de impactos que a execução de um PRAD pode causar em porções frágeis de ecossistemas, sobretudo aquáticos.

Neste sentido a legislação ambiental estabeleceu em consonância aos princípios da precaução e do poluidor pagador a obrigatoriedade de recuperação das áreas degradadas, constituindo obrigação dos órgãos ambientais expedirem condições e restrições para a atividade, a partir da proposição de técnicas apropriadas para extração, estas detalhadas nos termos de referência propostos em um processo de licenciamento ambiental.

Na Figura 3 pode-se visualizar a representação gráfica das etapas a serem obedecidas na adoção de um PRAD a partir do processo de licenciamento ambiental

Figura 3: Representação esquemática das etapas de licenciamento ambiental em processos de mineração



Fonte: Anjos *et al.* (2016).

No Quadro 2 é possível verificar-se uma síntese dos principais diplomas legais relacionados a atividade de mineração no Brasil.

Quadro 2: Legislação Federal aplicada a mineração no Brasil

Norma	Função
Decreto-Lei nº 227/1967	estabelece o Código de Mineração
Lei nº 6.567/1978	dispõe sobre o regime especial para exploração e aproveitamento das substâncias minerais da Classe II
Lei nº 7.347/1985	disciplina as Ações Cíveis Públicas por danos ao meio ambiente
Lei nº 7.805/1989	altera o Decreto nº 227/67, criando o regime de permissão de lavra e garimpagem, a obrigatoriedade do licenciamento ambiental e extingue o regime de matrícula
Lei nº 7.990/1989	estabelece a compensação financeira da mineração
Decreto nº 97.632/1989	regulamenta o artigo 2º, Inciso VIII da Lei nº 6.938/1981
Decreto nº 99.274/1990	regulamenta as Leis nº 6.902/81 e 6.938/1981
Decreto nº 98.812/1990	regulamenta a Lei nº 7.805/1989
Decreto nº 99.556/1990	dispõe sobre a proteção das cavidades subterrâneas naturais
Resolução CONAMA nº 01/1986	estabelece a obrigatoriedade dos estudos de impacto ambiental para as atividades potencialmente poluidoras
Resolução CONAMA nº 237/1997	dispõe sobre o licenciamento ambiental para as atividades consideradas poluidoras/impactantes, estando previsto em seu texto a obrigatoriedade da realização de estudos ambientais e a apresentação de um plano detalhado de reparação dos danos causados ao meio ambiente

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Rochagem como alternativa para recuperação de áreas degradadas por mineração

Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas é a rochagem, que consiste basicamente na incorporação de rochas em forma de pó ou grânulos ao solo. Esta técnica é conhecida mundialmente desde o século XVIII, por meio dos estudos de James Hutton (BACKEY, 1967). No Brasil a técnica vem sendo utilizada desde a década de 1950, segundo Beneduzzi (2011).

Em processos naturais de intemperismo das rochas e formação do solo, participam diferentes reações que podem ocorrer de forma simultânea, tornando difícil prever como o mineral irá se dissolver. O aumento do potencial para dissolução da rocha se dá na desintegração estrutural da mesma, aumentando a superfície específica de contato facilitando a ação de ácidos orgânicos presentes na rizosfera e permitindo que os nutrientes estejam mais facilmente disponíveis para as plantas (RAMOS, *et al.*, 2014-a). Considerando que as plantas necessitam de micro e macronutrientes (estes presentes nas rochas), de fundamental importância são os estudos envolvendo a técnica da rochagem,

como forma de minimizar a necessidade de fertilizantes minerais, na sua maioria importados e de alto custo, com grandes implicações econômicas e ambientais negativas.

A Lei Federal 12.890/2013 (BRASIL, 2013) estabelece alguns critérios para a rochagem no Brasil, considerando-a uma técnica válida e reconhecida legalmente, definindo o composto produzido como:

Art. 3º (...)

e) remineralizador, o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo.

3.4.1 Considerações sobre a rochagem

Uma fonte considerável de resíduos minerais para a rochagem é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, pois, segundo Gonçalves (2000), em serrarias que produzem blocos de 20 mm de espessura, de 25 a 30% do bloco de granito são perdidos como partículas finas, e considerando que o mercado brasileiro gera anualmente 240.000 toneladas deste resíduo, contabilizando-se somente o mármore e o granito. Do mesmo modo, considerando-se que as empresas do setor são em sua maioria pequenas e médias empresas, que utilizam equipamentos defasados, a geração pode ainda ser maior, gerando para estas um passivo ambiental considerável, pois a geração deste resulta em um resíduo passível de contaminação dos solos, da água e assoreamento de recursos hídricos.

Segundo Santos, Lira e Ribeiro (2012), o granito é uma rocha plutônica ácida, com aproximadamente 75% de sílica; cristais de 1 a 5 mm, ou maiores, considerando estes autores que existe uma grande importância no estudo de aplicações destes resíduos, oriundos inclusive da construção civil, pois:

(...) a geração destes não ocorre apenas nos canteiros de obra, mas também em outros setores que fornecem matéria-prima para a indústria da construção. Sendo assim, o montante de resíduos gerados pelas empresas de britagem de granito pode ser reaproveitado e inserido novamente no processo produtivo, oferecendo uma nova possibilidade de comercialização (SANTOS; LIRA e RIBEIRO, 2012).

A rochagem é uma técnica que vem sendo utilizada em escala internacional para suprir necessidade de fertilização de solos para fins de agricultura, mais difundida entre agricultores que cultivam produtos orgânicos, sendo alvo de inúmeras pesquisas nesta área. Outrossim, para fins de recuperação de áreas degradadas, ainda carece de aprofundamento.

Segundo Leonardos *et al.* (1976), a rochagem proporciona a diversificação de fontes de nutrientes, promovendo novas condições de suprimento de minerais, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo considerada como um tipo de

remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para reformular solos pobres ou lixiviados, com fundamento básico na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e conseqüentemente na produtividade sustentável.

Experimento conduzido por Ramos *et al.* (2004-b), em Nova Prata, RS, a partir de resíduos de rochas vulcânicas ácidas, demonstraram que todos os macronutrientes e a maioria dos micronutrientes descritos na literatura estiveram presentes em quantidades variáveis na amostra estudada, evidenciando um possível potencial para liberação de nutrientes ao solo e que a utilização de soluções de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, testadas no estudo referido, como agentes extratores, mostraram-se eficientes na disponibilização de nutrientes minerais às plantas, corroborando estudos anteriores sobre a técnica.

Da mesma forma, Silva *et al.* (2008), em experimento realizado em área degradada oriunda da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, apresentou consideráveis resultados, utilizando resíduos de basalto consorciados com resíduos de esterco bovino ou plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*), ou lodo de esgoto, proporcionando melhoramento nas condições químicas do subsolo e para as variáveis microbiológicas, concluindo que a rochagem realizada com basalto proporcionou resultados positivos.

Wang *et al.* (2000), na condução de experimento com a cultura de arroz realizado na China, relacionaram o crescimento de algumas plantas com a oferta de potássio proveniente da aplicação da técnica de rochagem a partir de gnaiss, concluindo que a presença de potássio influenciou no crescimento da cultura de arroz e que o crescimento das plantas se mostrava mais expressivo nas porções onde a fração granulométrica mais fina era dominante, corroborando outros estudos em que a rochagem promoveu o rejuvenescimento de solos, especialmente comparando-se o efeito a maior proporção de silte.

No entanto, devido aos baixos teores solúveis de nutrientes disponíveis em pó de rochas, esse material tem sido pouco utilizado como fertilizante para as plantas, encontrando resistência por parte dos agricultores que adotam a agricultura convencional. A maior desvantagem está relacionada à dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para os vegetais (HARLEY e GILKES, 2000).

Porém, a utilização do pó de rochas pode apresentar vantagens quando da utilização correta desses materiais, pois além de permitir que pequenas reservas ou resíduos de

exploração sejam aproveitados, constitui-se em adubação mais completa e com vários nutrientes (COLA e SIMÃO, 2012).

Uma alternativa para aumento da disponibilidade de nutrientes de rochas é a solubilização biológica. Diversos microrganismos conseguem solubilizar nutrientes, através da decomposição de minerais silicados (GARCIA JUNIOR, 1991). As bactérias do gênero *Acidithiobacillus* são ótimas oxidantes do enxofre, capazes de produzir ácido sulfúrico a partir do enxofre elementar, proporcionando a liberação de fósforo e potássio insolúveis, por efeito do baixo pH (GARCIA JÚNIOR, 1991). Aliado a este fato, a aplicação de enxofre elementar com bactérias do gênero *Acidithiobacillus* ao solo proporciona uma maior produção de SO_4^{2-} , que é requerido em grandes quantidades pelas plantas, e seguido pela ação direta e indireta do H_2SO_4 sobre o pH do solo, especialmente para aplicação em solos de elevado pH (STAMFORD *et al.* 2008).

Assim, segundo Stamford *et al.* (2008), o ácido sulfúrico produzido na reação microbiológica de bactérias oxidantes do enxofre pode atuar sobre as rochas disponibilizando os nutrientes pela redução do pH.

Um subsolo exposto, mesmo de uma área degradada, conserva atividade microbiológica, embora em menor grau, necessitando assim, de complementação em matéria orgânica.

Igualmente, Ramos *et al.* (2014-b) obtiveram bons resultados, concluindo que houve disponibilidade de nutrientes para o meio aquoso indicado e que todas as amostras liberaram macronutrientes e micronutrientes importantes para o crescimento das plantas, além da não disponibilidade de alumínio para o meio aquoso, o que é uma grande vantagem, pois o alumínio é um elemento tóxico para as plantas.

3.5 Geração de resíduos sólidos em marmorarias

Para Santos, Lira e Ribeiro (2012, p. 126):

O reaproveitamento de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável que proporciona um destino definitivo para os resíduos oriundos não só da construção civil, como também de indústrias de mineração, por exemplo, extração de mármore e granito.

3.5.1 Impactos ambientais

Durante o beneficiamento dos blocos de rochas ornamentais, entre 25% a 30% são transformados em resíduos finos constituídos por partículas entre $<2 \mu\text{m}$ a $2000 \mu\text{m}$ (SANTOS, DESTEFANI e HOLANDA, 2013), sendo que no Brasil, estima-se que sejam

geradas 240.000 toneladas ao ano de resíduos destas rochas, o que implica em um problema de grande magnitude, caso não sejam tomadas medidas corretas de gestão e destinação final adequadas, incluindo medidas de reutilização deste resíduo (FORMIGONI, 2006).

Considerando a atividade de marmorarias, estas:

(...) produzem¹ enormes quantidades de resíduos em forma de lama, formada por finos a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore. Esta lama residual é um rejeito que se tornou um problema ambiental pela quantidade produzida² (FERREIRA e NUNES, 2007).

Mello (2004) caracterizou as marmorarias no Estado de São Paulo, apresentando as seguintes características, as quais não divergem da maioria das empresas do ramo no restante do país, destacando-se que:

1. a quase totalidade destas empresas é de pequeno e médio porte;
2. são empreendimentos essencialmente familiares;
3. sua maioria empregam entre cinco e quinze funcionários;
4. os treinamentos são desenvolvidos normalmente na própria empresa;
5. equipamentos específicos de segurança, como artefatos de filtragem de ar, equipamentos e bancadas de trabalho com design econômico quase sempre estão ausentes;
6. o maquinário utilizado tem, na maioria das vezes, de seis a sete anos de funcionamento;
7. as perdas de processo chegam a 20% dos insumos pétreos trabalhados;
8. o gerenciamento da qualidade dos produtos é praticamente todo feito por observação visual, principalmente em pequenas e médias empresas, mas também não descartado em empresas de maior porte;
9. a preocupação com descarte e aproveitamento com resíduo, bem como a emissão de poeira e a geração de ruídos, é baixa, sobretudo em empresas menores.

O setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos principais de resíduos, como se pode visualizar no Quadro 3.

¹ Usualmente utiliza-se o termo geração em detrimento ao termo produção, para resíduos sólidos.

² *Ibd idem*

Quadro 3: Descrição de resíduos gerados por marmorarias

Resíduo	Características	Volume gerado
Retalhos de rocha	Proveniente de sobras e quebras de peças. Estes retalhos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa.	Perda de 10% a 20%.
Lama de serraria	Proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas. Esta lama é o resíduo gerado em maior quantidade.	Entre 30% a 40% em volume dos blocos serrados.
Lama de marmoraria	Ocorre em forma de finos formados a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas geradas nas serrarias.	Esta lama é gerada em 2% do total de volume processado.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Nunes (2007).

Os resíduos gerados por atividades de marmorarias proporcionam significativos impactos ambientais, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais, pois segundo Santiago *et al.* (2011 p. 2):

(...) atividade industrial de produção e venda de produtos beneficiados de granito como chapas, ladrilhos e outros produtos com aceitação no mercado externo e interno, torna-se cada vez mais importante, tanto para a geração de saldos positivos na balança de pagamentos do Brasil, quanto para a geração de empregos e renda no país.

Ainda, segundo esses autores, a produção de rochas ornamentais apresentou crescimento nas últimas décadas, sendo os estados de maior produção: Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia.

As rochas ornamentais comercialmente mais importantes são os granitos que podem ser colocados em partes externas e interna da construção civil, por serem mais resistente que o mármore e sua cor não se alterarem com intempéries, sendo tratados desde primórdios como artigos de luxo em construções (SANTIAGO *et al.*,2011).

A indústria de rochas ornamentais está relacionada com a indústria de construção civil, e também é responsável por diversos impactos ambientais desde a extração mineral até a fase de polimento das peças. Esses impactos incluem poeira, ruído e vibrações, lama e fragmentos de rocha.

Diante desta realidade vários autores tem pesquisado sobre a utilização destes resíduos na construção civil, a exemplo de Calmon *et al.* (1997); Neves *et al.*(1999); Lima Filho *et al.* (1999) e Gonçalves (2000).

3.5.2 Classificação e caracterização de resíduos sólidos gerados por marmorarias

A Norma NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Quanto à classificação, podem ser classificados em: resíduos classe I - perigosos; resíduos classe II - não perigosos; resíduos classe II A - não inertes; resíduos classe II B- inertes.

Os resíduos gerados por empresas beneficiadoras de rochas ornamentais podem ser classificados seguindo a metodologia da NBR 10.004/2004, como resíduos sólidos não perigosos, classe II A, não inerte, segundo Gonçalves (2000).

A composição química de resíduos provenientes de corte de blocos de granito (RCG), para fins ornamentais, segundo Moura, Gonçalves e Leite (2002), a partir de revisão de outros trabalhos é apresentada na Tabela 1:

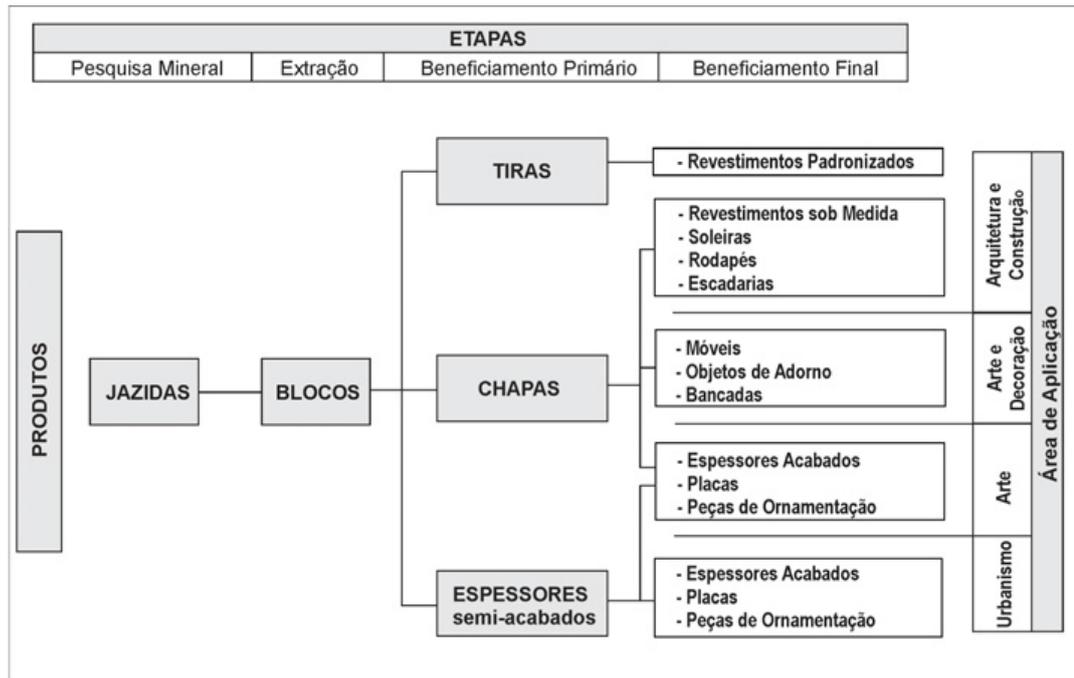
Tabela 1: Caracterização química de amostras de RCG estudadas por diferentes autores

Teor (%)	Calmon <i>et al.</i> (1997)	Gonçalves (2000)	Moreira <i>et al</i> (2002)
SiO ₂	59,95	59,62	65,95
Fe ₂ O ₃	6,05	9,49	7,89
Al ₂ O ₃	10,28	12,77	12,84
CaO	6,51	4,83	3,01
MgO	3,25	1,96	1,47
K ₂ O	4,48	5,30	4,19
TiO ₂	0,92	---	0,93
SO ₃	---	0,03	---
Na ₂ O	3,39	2,72	2,39

Fonte: Adaptado de Moura, Gonçalves e Leite (2002).

Nas Figuras 4 e 5, podem-se visualizar os fluxogramas de processo produtivo e acabamento de rochas ornamentais.

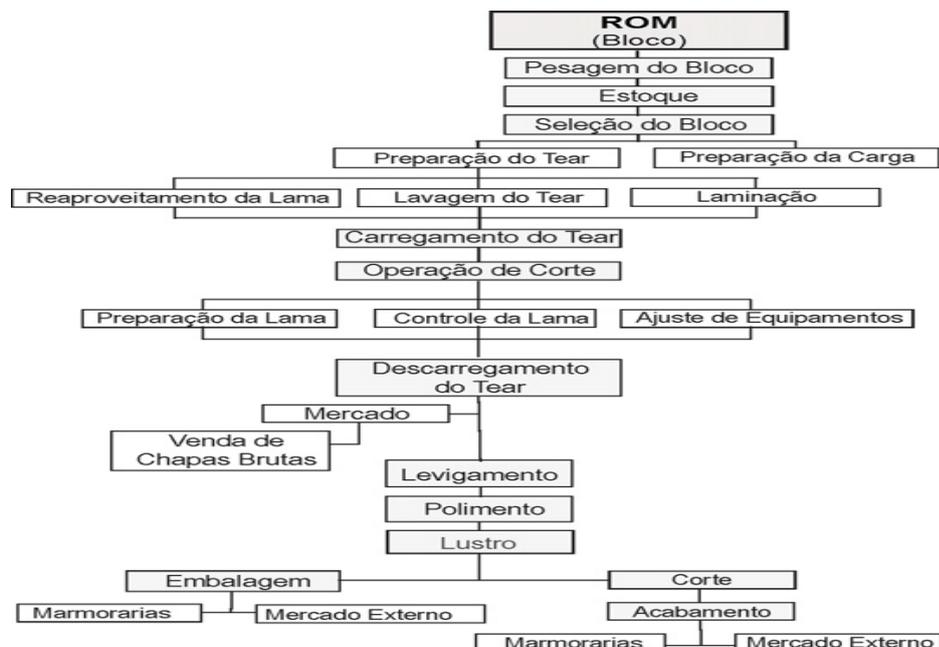
Figura 4: Etapas e Principais Produtos na Indústria de Rochas Ornamentais



Fonte: Margueron & Mello, 2005.

O processo industrial de produção de rochas ornamentais como visto nas Figuras 4 e 5, gera resíduos finos, onde predominantemente há pó de rochas, e em menor grau granalha e cal (Hidróxido de Cálcio), utilizados no processo de corte.

Figura 5: Fluxograma do Processo de Beneficiamento Primário e Secundário de Rochas Ornamentais



Fonte: Margueron & Mello, 2005

Este resíduo apresenta-se já beneficiado, pronto para o uso em rochagem, o que viabiliza economicamente o processo, embora possam ser também utilizados resíduos provenientes da mineração e resíduos maiores das fases de acabamento, como fragmentos, pedaços de rochas e cacos, os quais podem passar por uma fase de trituração e moagem.

Santos, Destefani e Holanda (2013) efetuaram a caracterização de resíduos de corte de granito e concluíram que os resíduos de corte apresentam granulometria variada, de acordo com o tipo de processo a que o bloco fora submetido: levigação, diamantação ou polimento.

Segundo os autores:

(...) o levigamento ou desbaste representa o desengrossamento das chapas, com a criação de superfícies planares e paralelas. O polimento produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos grãos minerais, criando uma superfície lisa, opaca e mais impermeável que a de uma face natural da mesma rocha. O lustro é aplicado no sentido de se imprimir brilho à superfície da chapa, produzido pelo espelhamento das faces dos cristais constituintes da rocha (SANTOS; DESTEFANI; HOLANDA, 2013. p.1443).

No referido trabalho, os autores caracterizaram os resíduos, apresentando para os mesmos, características muito próximas em granulometria a solos encontrados no Brasil, considerando as frações de argila, silte e areia, o que encoraja a utilização destes resíduos na confecção de substrato para recuperação de solos degradados, inclusive por ser rocha a matriz de qualquer solo, e no caso do granito, de muitos solos do Brasil.

A Tabela 2 contém a caracterização dos resíduos conforme Santos, Destefani e Holanda (2013).

Tabela 2: Dados percentuais de granulometria e massa específica de resíduos de corte de granito

Resíduo	Diamantado	Granalha	Levigação	Polimento
Pedregulho (%)	0,2	-	0,2	-
Argila (%)	9,8	8,5	7,9	8,0
Silte (%)	75,6	66,3	18,4	81,8
Areia (%)	14,4	25,3	73,5	10,2
Massa específica real (g/cm ³)	3,02	2,82	2,70	2,52

Fonte: Santos; Destefani; Holanda (2013).

3.5.2.1 Possibilidade do uso de resíduos orgânicos consorciados com resíduos de rochas

Um subsolo exposto, como o de uma área degradada por mineração ainda pode possuir uma atividade de microrganismos, principalmente bactérias e fungos, no entanto muito baixa e lenta para promover a restauração natural de um ecossistema, por tratar-se de um processo ecológico de sucessão, sendo necessária assim uma ação proativa neste sentido (PAVINATO e ROSOLEM, 2008), dada a baixa resiliência resultante do processo de degradação.

Segundo Corrêa (2007) a escolha da melhor fonte de matéria orgânica não depende apenas dos nutrientes que ela carrega, devendo-se considerar também os custos com transporte, preço de aquisição e incorporação ao substrato minerado.

Uma fonte de nutrientes e matéria orgânica é o lodo de esgotos domésticos. No entanto, estes resíduos conservam mesmo após secagem ou processos de compostagem, na qual, este último processo, as temperaturas chegam a 60°C, ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias, conforme se verifica nos Quadros 4 e 5, o que pode tornar-se um problema pela possibilidade de contaminação dos solos e lençol freático por lixiviação, pois geralmente não há esterilização do lodo de esgoto. Alguns vermes (helmintos) são sensíveis a compostagem, outros podem sobreviver (CORRÊA, 2007).

Quadro 4 : Período de sobrevivência de patógenos em lodo de esgoto estabilizado em função do tempo

Patógeno	Tempo de sobrevivência
Bactérias	
<i>Escheria colli</i>	14 dias
<i>Coliforme fecal</i>	de 25 dias a vários anos
<i>Leptospires sp.</i>	12 horas a 15 dias
<i>Salmonella typhosa</i>	de 1 semana a 50 dias
<i>Shigella spp</i>	1 semana
<i>Streptococci sp.</i>	de 5 a 20 semanas
<i>Turbercle bacilli</i>	178 dias
Protozoários	
<i>Entamoeba histolytica</i>	de 18 horas a 10 dias
Cistos de protozoários	menos de 10 dias
Vermes	
<i>Ancylostoma doudenale</i>	de 5 dias a 6 meses
<i>Ascaris lumbricoides</i>	3 meses a 10 anos
<i>A. lumbricoides</i> (ovos)	vários anos
<i>Taenia sp.</i>	até 1 ano
Ovos de helmintos	de 2 a 7 anos
Vírus	
Enterovirus	de 15 a 170 dias
Poliovirus	de 8 a 91 dias

Fonte: Adaptado de Golueke (1975), Hu, *et al.* (1996), Jenkins (1994), Silva *et al.* (1995), Vesilind (1979) *apud* Corrêa (2007).

Quadro 5: Período de sobrevivência de patógenos em lodo de esgoto estabilizado em função da temperatura

Organismo	Comportamento sob compostagem
<i>Ascaris lumbricoides</i>	morte a mais de 60 °C
<i>Ascaris lumbricoides</i> (ovos)	morte em 1h a mais de 50°C
<i>Ascaris suum</i> (ovos)	inativado em 2 h a 55 °C ou 8 dias a 45 °C
<i>Brucella abortus</i> ou <i>B. suis</i>	morte em 1 h a 55 °C ou 3 minutos a 61 °C
<i>Cholera vibrio</i>	morte a mais de 60 °C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	morte em 45 min. a 55 °C
<i>Entamoeba histolytica</i>	morte a 68 °C
<i>Entamoeba histolytica</i> (cistos)	morte a 55 °C
Virose entérica	morte a 60 °C
<i>Escherichia coli</i>	a maioria morre em 1 h a 55 °C ou em 20 min. a 60 °C
Coliforme fecal	a maioria morre em 3 semanas a 55 °C
Cisto de Giardia	a maioria morre em 3 semanas a 55 °C
Ovos e larvas de helmintos	a maioria morre em 3 semanas a 55 °C
Ovos de <i>Ancilostoma</i> spp	morte em 5 min. a 50 °C ou 1 dia 40 °C
<i>Leptospires</i> sp.	morte em 10 min. a 55 °C
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. aureus	morte em 10 min. a 50 °C
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	morte em 20 min. a 66 °C
<i>M. tuberculosis</i> var. hominis	morte em 20 min. a 66 °C
<i>Mycobacterium diphtheriae</i>	morte em 45 min. a 55 °C
<i>Necator americanus</i>	morte em 50 min. a 45 °C
Cistos de protozoários	inativação em 3 semanas a 55 °C
<i>Salmonella typhosa</i>	morte em 30 min. a 55 - 60 °C ou inativação a 46 °C
<i>Salmonella</i> spp	morte em 1 - 20 h a 55 °C - 60 °C ou em 20 min. a 60°C
<i>Schistosoma</i> spp (ovos)	morte em 1 h a 50 °C

Fonte: Adaptado de Golueke (1975), Hu, *et al.* (1996), Jenkins (1994), Silva *et al.* (1995), Vesilind (1979) *apud* Corrêa (2007).

Entretanto, as maiores dificuldades encontradas ao se utilizar lodos em PRAD's relacionam-se a seu transporte, manuseio e aplicação, por causa do elevado teor de umidade que lodos de esgotos contêm, ou seja, 85 - 88% (CORRÊA, 2007). O excesso de água também encarece o transporte e o estado semi-sólido dificulta o manuseio, a aplicação e a incorporação desses materiais a solos e substratos. O custo de transporte e de aplicação de lodos em solos e substratos pode variar. Quintana *et al.* (2012) determinaram o valor de R\$11,84 por tonelada para distância de 25 km no estado de São Paulo.

No entanto, diversos resíduos orgânicos de origem vegetal podem ser utilizados como fonte de nutrientes para atividade agrícola, por tratar-se de processo natural de ciclagem de nutrientes (MALAVOLTA, 1989).

Uma alternativa de utilização de resíduos orgânicos agrícolas é o uso de plantas aquáticas; macrófitas que podem se tornar um problema onde ocorrem de forma excessiva, gerando, por exemplo, eutrofização.

Um dos problemas do processo de eutrofização é a elevada proliferação das macrófitas aquáticas, que podem impedir os múltiplos usos dos recursos hídricos como,

por exemplo, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, pesca e recreação (Figuras 6-a e 6-b em detalhe).

Figuras 6-a e 6-b: Eutrofização causada pela proliferação de macrófita *Eichhornia crassipes* em represa (a) e detalhe de *Eichhornia crassipes* (b)



(a)

(b)

Fonte: Instituto Biológico de São Paulo (2015).

Outro problema ambiental provocado pela proliferação de macrófitas aquáticas é a disposição inadequada após remoção dos corpos hídricos, considerando que estas em estágio de decomposição podem consumir até 32 g de O₂/kg (BRANCO,1986).

Segundo o Instituto Biológico de São Paulo (2015):

(...) a planta daninha aquática que causa mais problemas no Brasil é o aguapé (*Eichhornia crassipes*), uma espécie muito vigorosa que dobra sua área a cada 6-7 dias, quando em condições ótimas de crescimento, chegando a produzir 480 toneladas de massa verde/ha/ano. Em segundo lugar aparece a alface d'água (*Pistia stratiotes*), uma espécie que cobre totalmente o ambiente aquático, desenvolvendo-se rapidamente nos ambientes poluídos e provocando profundas alterações no ecossistema.

Assim, a possibilidade de uso destas plantas, como *Eichhornia crassipes*, na incorporação ao solo em consórcio com resíduos de marmorarias, pode ser uma alternativa de solução promissora na destinação final destes resíduos. *Eichhornia crassipes*, conhecido no Brasil como aguapé, é um gênero botânico originário da Bacia Amazônica. Pertence à família *Pontederiaceae*, Ordem *Commelinales*, Classe *Liopsida*, Divisão *Magnoliophyta*. É considerada uma planta daninha e invasora (SCHNEIDER, 1995).

Malavolta (1989) efetivou a determinação química dos micronutrientes e macronutrientes presentes na planta de *Eichhornia crassipes* com fins de utilização da mesma como adubo verde, considerando a sua viabilidade para tal fim, devido às altas concentrações de matéria orgânica e minerais, tendo obtido na sua composição (em Kg de massa seca): N: 10,3 g, P: 1,6 g, K: 49,0 g, Ca: 25,8 g, Mg: 10,5 g e S: 3,3 g; B: 25,0 mg,

C: 1,9 mg, Cu: 10,2 mg, Fe: 8,969 mg, Mn: 1,415 mg, Mo: 2,3mg, Ni: 4,0 mg e Zn: 41,6mg.

3.6 Potencial de *Eichhornia crassipes* como condicionador de solos

Em solos que recebem resíduos de origem vegetal normalmente, o cálcio e o magnésio aumentam em solução, quando o pH é menor que 6,0. Assim, em solos com altos teores de alumínio pode haver complexação desse elemento com ânions orgânicos, tornando-o não tóxico para as plantas (PAVINATO e ROSOLEM, 2008), o que diminui o efeito ácido do alumínio proveniente de rochas vulcânicas ácidas.

Desta forma o potencial de *Eichhornia crassipes* como complemento na composição de um substrato orgânico composto de resíduos de rochas pode ser promissor na recuperação de áreas degradadas, como corroborado por Silva *et al.* (2008) favorecendo a reutilização/reciclagem de resíduos de mineração, agrícolas ou sanitários, com o aproveitamento de resíduos minerais provenientes de atividades de mineração e/ou beneficiamento de rochas e resíduos provenientes de limpeza de represas, lagos e canais de irrigação/drenagem, que contém grandes quantidades de *Eichhornia crassipes*, a qual muitas vezes tornam-se um problema econômico e ambiental para estes recursos hídricos, demandando custos para remoção e disposição dos resíduos gerados pela remoção, além da possibilidade do uso de resíduos destas plantas quando utilizadas no tratamento de efluentes de carcinicultura/piscicultura.

Considerando o resíduo orgânico *Eichhornia crassipes*, este de pode aumentar devido a massa verde crescer 15% ao dia, acumulando 800 kg por hectare, dobrando-a a cada seis ou sete dias. Sob condição ótima, produz até 480 toneladas de massa verde por hectare ao ano, com um incremento de volume de 4,8% por dia (GENTELINI *et al.*, 2008). Esta característica pode conferir em condições indesejadas, sério problema sanitário em represas, lagos, canais de irrigação ou drenagem, gerando um resíduo orgânico a ser corretamente destinado.

Outro ponto considerável para a consorciação de matéria orgânica vegetal à matéria mineral, para fins de rochagem, é o fato de proporcionar um acréscimo de nutrientes e favorecer a formação de um meio propício ao desenvolvimento de vida microbológica, potencializando os efeitos da remineralização e formação do solo (SILVA *et al.*, 2008).

Solos tropicais minerais em geral possuem de 2 a 6% de sua massa entre 0 e 20 cm de profundidade constituída de matéria orgânica (STRECK *et al.*, 2008). No entanto, a

influência da matéria orgânica sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos vai muito além desse montante (BRADY, 1989).

Desta forma, a adição de matéria orgânica promove a recuperação do solo degradado, favorecendo a sucessão ecológica necessária ao processo de recuperação, com o estabelecimento inicial da biomassa, formações campestres de cobertura vegetal e posteriormente a colonização por espécies arbustivo-arbóreas.

Deve-se considerar ainda, que os efeitos positivos da adição de matéria orgânica mantêm-se por longo período de tempo (FARIA *et al.*, 1994). Ao se elevar os teores de matéria orgânica dos substratos minerados a níveis adequados haverá melhorias químicas, físicas e biológicas que tornarão a área degradada mais propensa à revegetação. Alguns benefícios da adição de matéria orgânica ao substrato degradado são descritos na sequência (CORRÊA, 2007):

- elevação da capacidade de troca catiônica (CTC), que potencializa a adubação química;
- liberação lenta de nutrientes, que é essencial para espécies perenes;
- redução da lixiviação de nutrientes aplicados por meio de fertilizantes;
- formação de quelatos, que favorecem a absorção de micronutrientes pelas plantas;
- melhoria da agregação e da estruturação do substrato, que aumentam a porosidade, a infiltração e a quantidade de água disponível para plantas;
- aumento da capacidade tampão para pH;
- maior sanidade vegetal, proporcionada pelos organismos e microrganismos de solos que habitam a rizosfera.

3.7 Processos de sucessão ecológica em áreas degradadas

A sucessão ecológica pode ser definida como um processo de modificação do ambiente pelas próprias comunidades que o habitam. Essa se inicia com a colonização de uma área por uma comunidade simples e de pouca biomassa e termina com uma comunidade clímax, cuja biomassa atinge o valor máximo possível para as condições locais, e a diversidade é geralmente maior do que aquela existente na comunidade que iniciou o processo de sucessão (ODUM, 1993).

As sucessões primárias correspondem à colonização de um meio que nunca sofrera significativa influência biológica, como ocorre nos horizontes expostos de áreas mineradas (CORRÊA, 2007). Esse tipo de sucessão leva séculos para atingir uma comunidade clímax (BEGON *et al.*, 1990). Sucessões secundárias ocorrem em um local anteriormente colonizado, mas do qual foram eliminados os seres vivos por meio de modificações

climáticas, geológicas, ou antrópicas. Sucessões ecológicas resultam frequentemente em uma comunidade clímax diferente da que existia anteriormente no local.

No entanto, ainda que se obtenha sucesso na regeneração vegetal, remanesce no local uma composição em diversidade biológica e patrimônio genético pobre.

A riqueza e a diversidade de espécies (Índice de Shannon) também se mostram inversamente proporcionais à profundidade de corte de cavas mineradas. Corrêa *et al* (1998) verificaram que em seis meses de regeneração, locais que perderam apenas 0,2 m de camada superficial recuperaram apenas 79% da diversidade original de espécies.

De acordo com Odum (1993), qualquer comunidade evolui para um clímax, por mais lenta que seja essa evolução.

Teoricamente, as condições adversas resultantes de áreas mineradas assemelham-se a ecossistemas de ambientes desérticos, cuja cobertura vegetal e diversidade biológica são baixas (DAJOZ, 1973; ODUM, 1993). Dessa forma, a intervenção humana é então necessária para prover uma cobertura vegetal satisfatória nesses locais.

3.7.1 Uso de gramíneas no processo de recuperação de áreas degradadas por mineração

Para efeitos de sucessão ecológica, o recomendado é seguir um processo de sucessão mais próximo do natural, com a revegetação de gramíneas e herbáceas e após a colonização com espécies arbóreas pioneiras proporcionando condições para as secundárias iniciais, tardias e espécies clímax.

Segundo Corrêa (2007), várias espécies herbáceas são utilizadas em processos de revegetação de áreas degradadas, entre elas o *Paspalum notatum*, o qual pode produzir até 6 t. ha⁻¹ de matéria seca na semeadura de 40 kg.ha⁻¹, o que o torna uma gramínea promissora no processo sucessional de recuperação de áreas degradadas por mineração em locais onde é nativo, pois é uma espécie nativa da América do Sul, de características apropriadas a recuperação de áreas degradadas como a grande proporção de raízes e alta produção de biomassa.

Promover uma camada herbácea rasteira proporciona grande estabilidade a substratos minerados e à paisagem. Além do efetivo controle da erosão, a camada herbácea melhora a estrutura e aumenta o teor de matéria orgânica no solo além de permitir que sementes de outras herbáceas, arbustos e árvores se desenvolvam no local, havendo dessa forma, a aceleração do processo de sucessão (CORRÊA, 2007).

Paspalum notatum é uma espécie vegetal utilizada na contenção de taludes e áreas degradadas e que possui condições de aplicação como regeneradora de ambientes minerados. Gramínea nativa da América do Sul, presente nos campos sulinos, possui sementes de variável comercializada, utilizada como pastagem e também na contenção de erosão e taludes em estradas e outras obras de engenharia. Por tratar-se de espécie nativa, esta pode favorecer o processo de sucessão ecológica de forma segura, sem alterar significativamente a dinâmica genética do ecossistema local, facilitando o restabelecimento posterior de vegetação superior.

4 METODOLOGIA

Na sequência são apresentadas a tipologia e metodologia da pesquisa.

4.1 Tipologia da pesquisa

Referente à abordagem, o presente produto propõe uma pesquisa aplicada. Quanto à natureza, qualifica-se como pesquisa experimental (CRUZ e RIBEIRO, 2004).

4.2 Coletas e preparação das amostras de substrato

Para a realização do experimento, que consiste na simulação em escala reduzida, do processo de recuperação de áreas degradadas por mineração de argila vermelha a partir da produção e utilização de substrato formado por resíduos de marmoraria, consorciados com macrófitas aquáticas e solo orgânico. Foi coletado uma amostra de subsolo, que consiste na camada pós mineração, ao horizonte C de área degradada, o qual serviu como base para “assentamento” da camada de substrato produzido pelo consorciamento de macrófitas aquáticas, resíduos de corte de granito (marmoraria) e solo proveniente do material conservado em estoque pela atividade de mineração de argila vermelha (horizonte A). O solo do local da mineração foi classificado quanto à sua tipologia, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), como Planossolo Hidromórfico Háplico Solódico.

Foram também definidas as características pedológicas, além da coleta e caracterização físico-química do horizonte A do solo do mesmo local, sendo coletada para esta variável a camada superficial de cerca de 20 cm de solo, camada que representa em um processo de mineração à aberto e recuperação de áreas degradadas, o material em estoque conservado pelas mineradoras para posterior recuperação destas áreas. O material desta amostra serviu como constituinte no substrato produzido (fonte de inóculo de microrganismos) e como controle (branco) no processo da presente pesquisa.

Na figura 7 apresenta-se a área da coleta das amostras, situada no município de Cristal, RS, local de extração de argila vermelha constituído por Planossolo Hidromórfico Háplico, situada na bacia hidrográfica do rio Camaquã.

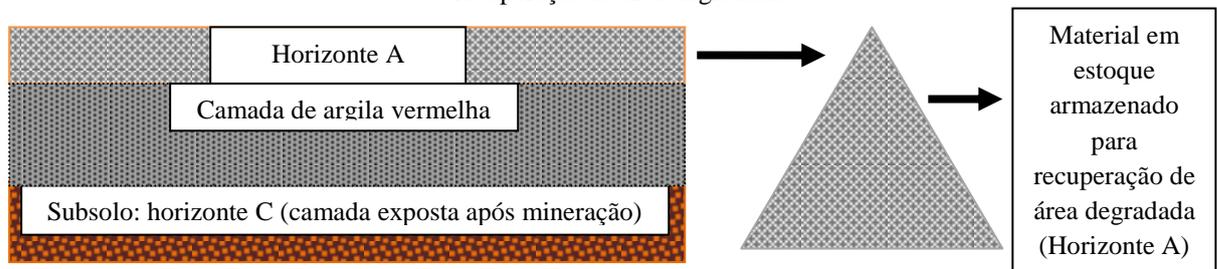
Figura 7: Detalhe da vista aérea da área de coleta das amostras de solo e subsolo em Planossolo hidromórfico em área de extração de argila vermelha- município de Cristal-RS



Fonte: Adaptado de Google Earth. Data de captura da imagem pelo satélite: 07.06.2016.

Na figura 8 representam-se sinteticamente os horizontes e camadas de extração de argila vermelha e o estoque de material proveniente do horizonte A geralmente utilizado no processo de recuperação de áreas degradadas.

Figura 8: Horizontes e camadas em área de extração de argila vermelha e material em estoque para recuperação de área degradada



Fonte: Autor.

4.2.1 Amostragem do solo

As amostras de solo do horizonte A foram coletadas e enviadas para análise granulométrica (textura), e química: matéria orgânica pH, macro e micronutrientes, saturação por bases³, CTC (capacidade de troca de cátions)⁴ SB (soma de bases trocáveis)⁵.

³ Proporção de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH 7; a expressão alta saturação se aplica a solos com saturação por bases igual ou superior a 50% : Eutrófico, e baixa saturação para valores inferiores a 50% : Distrófico. Esta característica está relacionada diretamente à fertilidade natural do solo onde os atributos Eutrófico (alta fertilidade) e Distrófico (baixa fertilidade) indicam a necessidade ou não de adubação para uso agrícola.

⁴ Quantidade total de cátions retidos à superfície de solos ou argilas em condição permutável: $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + H^{+} + Al^{3+}$.

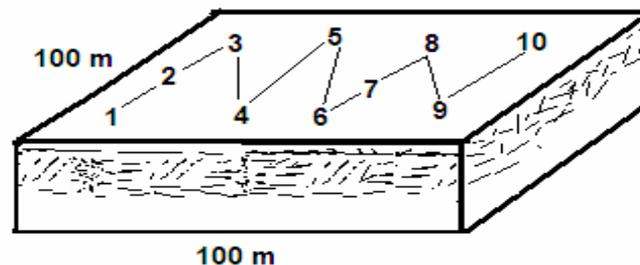
⁵ Soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H^{+} e Al^{3+} , onde : $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K$.

Para uma maior efetividade da amostragem, parcelas de áreas similares quanto à topografia, condição de drenagem, cor do substrato, profundidade, manchas, erosão e quaisquer outros atributos suspeitados como relevantes foram primeiramente identificados. Após a área foi dividida com base nas semelhanças e nas diferenças visualmente encontradas. Foi coletada da parcela de um hectare (100 m x 100 m) uma amostra composta.

A amostra composta foi formada pela mistura de dez amostras simples. O procedimento consistiu em caminhar em zigue-zague por um hectare de uma parcela previamente delimitada e retirados cerca de 500 g de substrato de cada ponto de amostragem. As dez amostras simples foram misturadas em um vasilhame (balde) limpo e uma porção de aproximadamente 1 kg de substrato foi retirada. Essa porção de substrato formada pela mistura das dez amostras simples foi chamada de amostra composta. A amostra composta foi armazenada em embalagem plástica e enviada para análise físico-química no Laboratório de Química e Fertilidade de Solos da Universidade de Caxias do Sul-UCS.

Na Figura 9 representa-se o delineamento amostral para coletas das amostras de solo e subsolo.

Figura 9: Delineamento amostral das coletas de amostras de solo e subsolo da área degradada por mineração de argila vermelha



Fonte: Corrêa (2007).

4.3 Coleta e amostragem de resíduos e macrófitas aquáticas

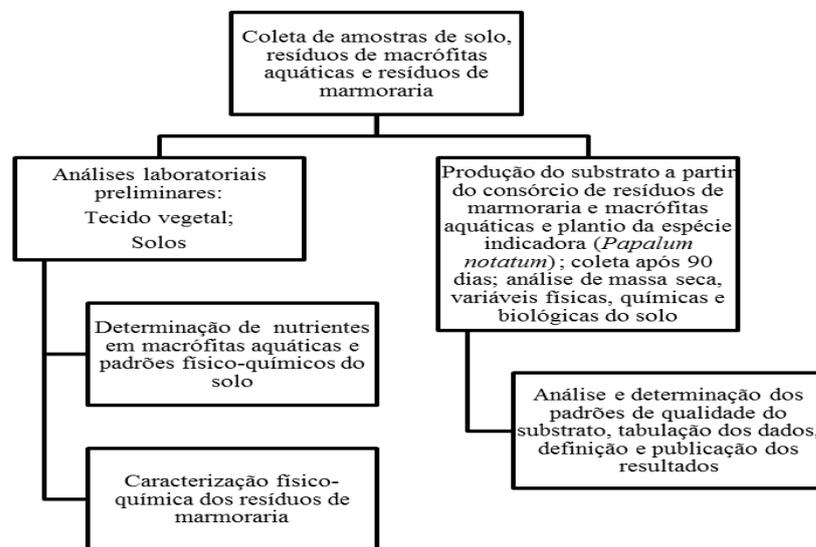
Foi coletada uma amostra de 5 kg de resíduos sólidos de marmoraria, proveniente da etapa de corte, polimento e lustro de peças de granito, em empresa beneficiadora de granito no município de Camaquã, RS sendo armazenado em embalagem plástica após secagem em estufa a 60°C até massa constante. Para definição dos minerais na forma de óxidos, foi efetuado revisão de literatura considerando diferentes autores que utilizaram a

determinação de minerais em resíduos de corte de granito através da técnica de fluorescência de raios X.

As macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* foram coletadas em um lago de piscicultura na localidade de Bela Vista, Nova Petrópolis-RS, e após a coleta foi separada uma amostra de folhas e folíolos, a qual foram lavadas em água corrente e encaminhados para laboratório de análise de solos e tecidos vegetais da UCS para determinação do teor de micro e macronutrientes presentes no tecido foliar. O restante do material foi seco ao sol até massa constante, triturado em moinho de facas e armazenado em embalagem plástica para uso na execução do experimento.

A síntese dos procedimentos adotados pode ser visualizada no fluxograma da Figura 10.

Figura 10: Fluxograma de ações executadas na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Delineamento experimental e metodologia de execução da pesquisa

O delineamento experimental foi conduzido com três repetições por tratamento. O experimento foi inteiramente casualizado, com a disposição aleatória das unidades amostrais na casa de vegetação. Foram estabelecidos três tratamentos para cada consorciação de resíduos sólidos de marmoraria com macrófitas: subsolo de área degradada com três doses de resíduos de marmoraria (8, 16 e 32 t.ha⁻¹), a partir da adaptação de metodologia proposta por Silva *et al.* (2008), a qual obteve bons resultados, no entanto concluiu que as dosagens de resíduos deveriam ser maiores em estudos posteriores. Para formação do substrato experimental foi utilizado uma camada de 10 cm³

de solo do horizonte A, em simulação ao solo conservado para recuperação da área minerada, obtido junto a uma unidade de mineração no mesmo local da obtenção das amostras de solo e subsolo, como inóculo de microrganismos vivos, além de um tratamento adicional, exclusivamente com solo preservado, de origem do horizonte A, da mesma área de extração do subsolo da área degradada que serviu como controle (Figuras 11-a e 11-b).

Figuras 11-a: Amostra composta de solo do horizonte A (Planosolo hidromórfico) de área de extração de argila vermelha. **11-b:** Amostra composta de subsolo (Horizonte C)



(a)

(b)

Fonte: Autor

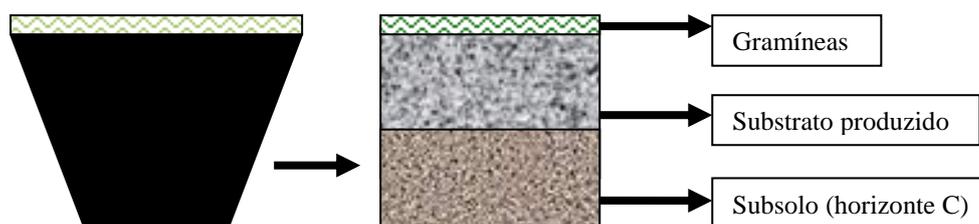
Todos os tratamentos foram efetuados com três repetições. A representação da organização experimental das unidades amostrais podem ser visualizadas no Quadro 6 e Figura 12.

Quadro 6 : Representação da organização experimental das unidades amostrais

Amostras	A1	A2	A3	A4
Composição	Controle (subsolo + solo orgânico)	(subsolo+solo +8 t. ha ⁻¹ RM+ 8 t. ha ⁻¹ Rmacr.)	(subsolo+solo +16 t. ha ⁻¹ RM+ 8 t. ha ⁻¹ Rmacr.)	(subsolo+solo +32 t. ha ⁻¹ RM+ 8 t. ha ⁻¹ Rmacr.)

RM – Resíduos sólidos de marmoraria; Rmacr.- Resíduos orgânicos de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*).

Figura 12: Representação esquemática do processo de simulação de recuperação de área degradada em escala reduzida



Fonte: Autor

Todos resíduos foram secos, e o resíduo orgânico moído em moinho de facas para ter ao final, o diâmetro de 0,5 mm, facilitando assim a atividade de decomposição no solo conforme Figuras 13-a e 13-b.

Figuras 13-a: Resíduo de macrófita aquática *Eichironia crassipes* (raízes, folhas e pecíolo) desidratado e triturado após secagem **13-b:** Resíduo de marmoraria (corte e polimento de granito) desidratado após secagem



(a)

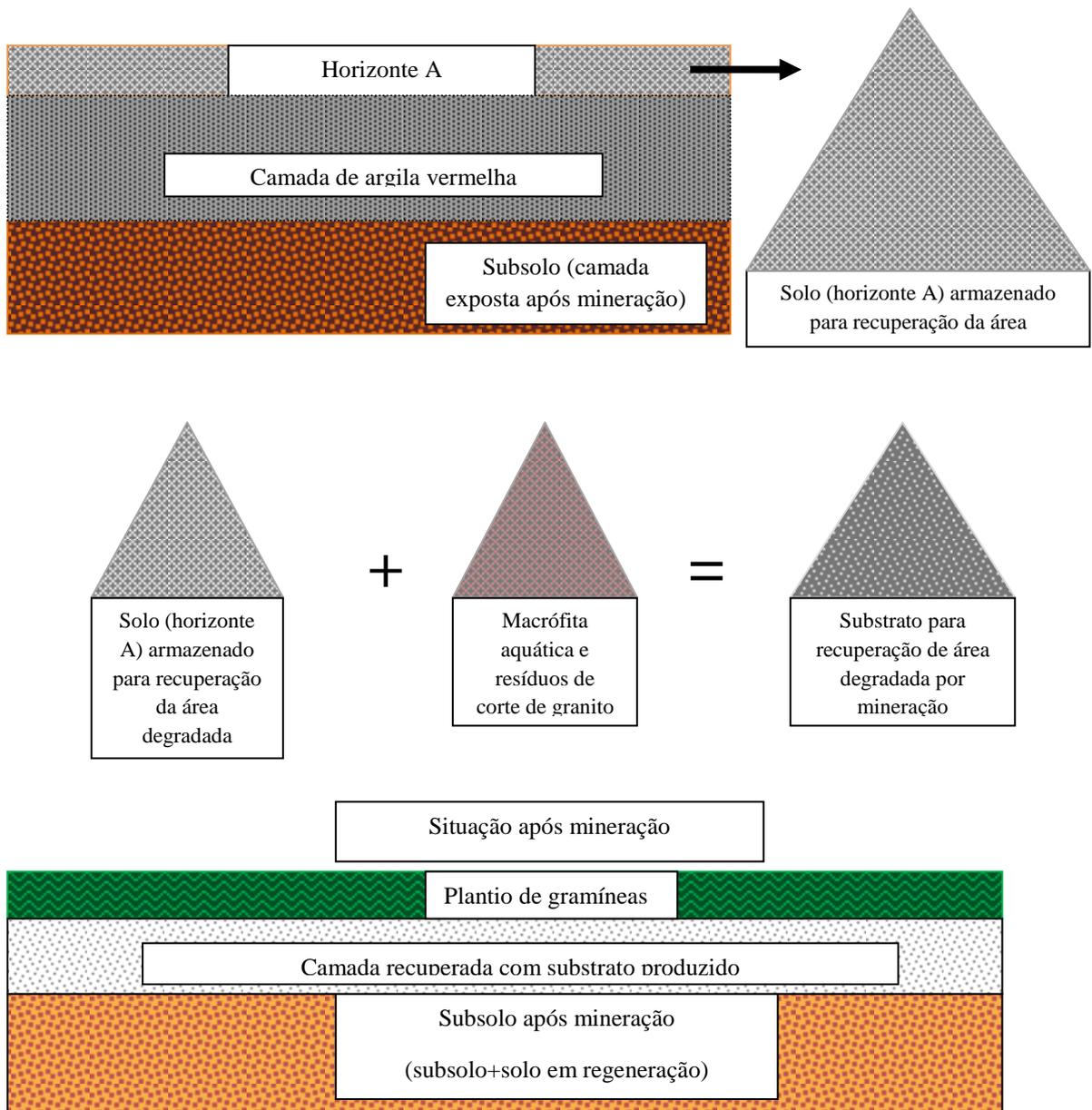
(b)

Fonte: Autor

Após esta etapa os resíduos foram homogeneizados e acondicionados em recipientes para cultivo de plantas (vasos), de acordo com a dosagem definida para cada tratamento.

Na Figura 14 é possível visualizar um diagrama esquemático de forma sintética do perfil do solo em uma área de mineração de argila vermelha e do processo proposto pela presente pesquisa.

Figura 14: Diagrama esquemático representativo do perfil do solo em área de mineração de argila e processo de recuperação de área degradada por mineração de argila vermelha



Fonte: Autor.

4.5 Cultivo de gramínea indicadora

Foi cultivada gramínea nativa, variedade comercial: grama pensacola (*Paspalum notatum*) na proporção de 15 g.m⁻², como planta indicadora da qualidade do substrato e potencial de regeneração vegetal. Foram monitorados os seguintes indicadores: crescimento foliar, crescimento radicular, de massa seca total, taxa de colonização radicular de Fungos Micorrizos Arbusculares - FMA .

As gramíneas foram cultivadas em casa de vegetação, a partir de sementes da marca BR Seeds®, cultivar Pensacola, com grau de pureza de 95,7%, germinação de 71%, lote

02/2015, registro RENASEM SP 02776/2010 (Figura 15), sendo plantadas em vasos de poliestireno com capacidade para 3 kg de substrato e irrigadas sempre que necessário a partir de observação visual do teor de umidade no substrato, em condições de temperatura média de 25°C e umidade relativa do ar em torno de 70%, sendo mantidas em casa de vegetação em unidade comercial de produção de plantas ornamentais em Nova Petrópolis, RS, no mês de agosto de 2016.

Figura 15: Sementes de *Paspalum notatum* (grama pensacola) utilizadas na pesquisa



Fonte: autor.

4.5.1 Avaliação das gramíneas

As plantas foram avaliadas quanto ao crescimento, após 90 dias do plantio, por meio de medidas de altura (cm) crescimento do sistema radicular (cm), folhas (cm) e da massa de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular (g) Antes da secagem, um grama de raiz fresca de cada repetição foi separado e preservado em álcool 50% para futura análise. O restante do material foi colocado em sacos de papel, levados à estufa a 60°C por cinco dias e pesados para verificação da massa seca da parte aérea e do sistema radicular conforme Figura 16.

Figura16: Pesagem de gramíneas após secagem em estufa a 60°C por cinco dias



Fonte: autor

O substrato, sem raízes, foi peneirado (malha de 2 mm) e homogeneizado. Amostras compostas foram preparadas, a partir de amostras simples coletadas em todas as unidades experimentais (repetições) de um mesmo tratamento. Parte dessas amostras foram enviadas para análise da determinação dos parâmetros físicos e químicos do substrato sendo parte reservada para as análises microbiológicas. A análise físico-química do substrato ao final do período de experimento tem como fundamento a comparação dos parâmetros encontrados com os da amostra controle, subsidiando a análise de eficiência do substrato produzido como condicionador de solos degradados por mineração.

Parte das amostras de solo previamente separadas foram utilizadas para verificação da presença de esporos de Fungos Micorrizos Arbusculares (FMA) autóctones com fins de subsidiar a etapa posterior de definição da taxa de colonização. Para tanto, 100 g de solo, por repetição, foram processados segundo uma associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN e NICOLSON, 1963) e centrifugação e flutuação em sacarose (JENKINS, 1964).

4.5.2 Extração de esporos de FMA

A extração dos esporos foi efetuada a partir de uma solução de 50% de sacarose, constituída de um litro de água destilada e 0,5 kg de açúcar refinado. Foi utilizado um litro de solução. As amostras de solo foram homogeneizadas e segregadas 50 mL para extração, após transferidas para um balde de 4-5 litros.

O solo foi umedecido e destorroado, pressionando-o com os dedos, após completando-se o volume do balde e suspendendo o solo com auxílio de um bastão. O conteúdo do balde foi deixado em repouso por um minuto para que as partículas mais grosseiras decantem, após foi vertido o conteúdo sobre peneiras de 0,42 mm e 0,053 mm de malha, restando no balde às partículas mais grosseiras.

O procedimento anterior foi repetido até que a água ficasse aparentemente limpa sem partículas de argila suspensas. O solo restante foi descartado. O material recolhido na peneira de 0,42 mm foi vertido numa placa de petri para posterior verificação de possíveis esporos que tenham sido retidos nesta malha.

Com auxílio de uma pisseta transferiu-se o material retido na peneira de malha de 0,053 mm para um tubo de centrífuga de 50 mL. As peneiras foram lavadas com detergente antes de reiniciar o processo com outras amostras.

O material foi centrifugado a 3.000 rpm por três minutos. Após retirados os tubos, descartado o sobrenadante sem remover as partículas decantadas no fundo do tubo. Foi adicionado aos tubos a solução preparada de 50% de sacarose até aproximadamente 40 mL.

As amostras foram suspensas nos tubos mexendo-as com bastão limpo de vidro. Os tubos foram pesados e padronizados com solução de sacarose, até que tivessem mesma massa com fins de manter equilíbrio no centrifugador. Foram centrifugados por 2 minutos a 2.000 rpm, suspendendo os esporos no sobrenadante.

O conteúdo foi vertido sobre peneira de 0,053 mm, o material lavado com água corrente eliminando resíduos de sacarose, e com auxílio de uma pisseta transferido o material para placa de petri para posterior análise sob lupa.

As amostras foram conservadas em vidros sob refrigeração até o momento da análise em lupa binocular para determinação da presença de FMA.

4.5.3 Definição da taxa de colonização

Após a determinação da presença de FMA, conforme etapa anterior, 1 grama de raízes foram separados, lavados em água corrente e conservadas em álcool 50% (Figura17). Na sequência foram submetidas ao processo de determinação da taxa de colonização. A contagem foi realizada em placa de petri quadriculada, sob microscópio estereoscópico. Para a avaliação da colonização micorrízica, as raízes preservadas foram lavadas em água corrente, clarificadas em KOH 10%, acidificadas com HCl 1%, coloridas

com solução de 5% de tinta de caneta tinteiro (Pilot, preta) e vinagre branco (ácido acético 4,2%) (VIERHEILIG *et al.* , 1998).

Figura 17: Raízes preservadas em álcool 50%



Fonte: autor

A taxa de colonização foi estimada pelo método de placa quadriculada (GIOVANETTI e MOSSE, 1980) conforme procedimentos descritos na sequência.

Foram selecionadas as raízes mais novas e tenras, lavando-as para retirar solo e matéria orgânica.

Após, foi pesado um grama de raízes limpas, envoltas em malha de nylon[®], identificadas. As malhas com as raízes foram colocadas em um Becker contendo KOH 10%, aquecendo em capela a 90°C por uma hora (Figura 18). Após vertido o KOH e lavadas as raízes em água corrente. Na sequência foram transferidas as cápsulas para um Becker contendo HCl 1%, agitando por 3-5 minutos. Após vertido o conteúdo líquido, adicionado solução de tinta de caneta e vinagre branco a 5%. Após o conteúdo foi aquecido em banho-maria por 3 minutos a 90°C.

Figura 18: Detalhe de raízes em processo de banho-maria em solução de KOH a 10%



Fonte: autor

Finalizada a etapa anterior, transferido o conteúdo para placa de petri e observadas às raízes coradas em microscópio estereoscópio em ampliação de 10 a 40 vezes para avaliação da taxa de colonização.

Para avaliação, as raízes foram espalhadas pela placa de petri, colocado de 1 a 2 mL de água, e observadas no microscópio. A contagem foi efetuada observando os pontos de intersecção entre os fragmentos de raízes e as linhas da placa quadriculada, computando-se “sim” para raiz em ponto de intersecção e “não” para raiz fora do ponto de intersecção, sendo a percentagem obtida por regra de três simples, avaliados 100 pontos de intersecção.

4.6 Análise de dados

Os dados gerados na aplicação da metodologia foram analisados e tabulados, o tratamento estatístico das médias obtidas seguiu a análise de variância (ANOVA) para verificação da validade estatística das amostras, com teste de significância (teste de Tukey) com auxílio dos *softwares* Excel® e Assistat® versão 7.7. Foi efetuada a comparação dos tratamentos com as amostras controle, favorecendo a análise da eficiência do substrato produzido como regenerador de solos degradados por mineração. Para tanto foram comparados os parâmetros físicos textura (percentual de argila, areia e silte), parâmetros químicos (CTC, saturação por bases, bases trocáveis, pH, micro e macronutrientes) e biológicos (FMA) do solo e substrato promovendo avaliação à cerca da viabilidade técnica e ambiental do substrato como solo produzido a partir do consorciamento dos resíduos descritos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o regimento do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais - PPGECAM, são apresentados os resultados da presente pesquisa em dois artigos submetidos à periódicos científicos.

5.1 Artigos submetidos à publicação

Como parte integrante dos resultados são apresentados na sequência, dois artigos ⁶ submetidos a periódicos especializados com classificação B2, para a grande área Ciências Ambientais pela Capes (Revista Cerâmica, comprovante de submissão: Anexo I e Revista Gestão e Sustentabilidade, comprovante de submissão: Anexo II).

5.2 Artigo I

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM CONSÓRCIO COM *Eichhornia crassipes* NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE ARGILA VERMELHA

ANALYSIS OF THE USE OF WASTE FROM CUT OF GRANITE IN CONSORTIUM WITH *Eichhornia crassipes* ON THE RECOVERY OF AREAS DEGRADED BY RED ARGILA MINING

Rogério Pires Santos ⁽¹⁾

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais- PPGECAM-Universidade de Caxias do Sul-UCS. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL - Campus Camaquã-RS- e-mail: rogerio.santos@camaqua.ifsul.edu.br.

Geraldo Antônio Reichert ⁽²⁾

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS. Engenheiro do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre. Professor do Curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul – UCS

Endereço (1,2): Universidade de Caxias do Sul-UCS - Rua Francisco Getúlio Vargas-1130-Cidade Universitária – CEP: 95.070-560 - Caxias do Sul-RS

Resumo

Atividades de mineração causam impactos ambientais negativos, sendo necessárias medidas corretivas para recuperar as áreas degradadas. Uma técnica pouco utilizada no Brasil é a rochagem, que consiste na utilização de resíduos de rochas como remineralizador. Uma fonte de resíduos minerais para a rochagem é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais. O mercado brasileiro gera 240.000 toneladas deste resíduo por ano. O presente trabalho objetivou verificar os efeitos da rochagem com

⁶ Artigos apresentam formatação e normalização de acordo com as normas dos referidos periódicos.

resíduos de corte de granito consorciado com macrófita aguapé (*Eichhornia crassipes*) sobre aspectos químicos e microbiológicos de um solo degradado por mineração de argila vermelha e o crescimento do capim pensacola (*Paspalum notatum*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação. Foram realizadas análises químicas e microbiológicas do solo, além de medidas de altura e massa seca das plantas. Os resultados indicam que os resíduos consorciados contribuíram para melhorar as condições químicas do solo e proporcionaram bons resultados para as condições microbiológicas.

Palavras-chave: impactos ambientais, mineração, cerâmica vermelha, resíduos de corte de granito.

Abstract

Mining activities cause negative environmental impacts and corrective measures are necessary to recover degraded areas. A technique little used in Brazil is stonemeal, which consists in the use of rock residues as a remineralizer. A source of mineral waste for rock is the ornamental rock processing industry. The Brazilian market generates 240,000 tons of this waste per year. The objective of this work was to verify the effects of the rock with granite cuttings consortium with macrophyte (*Eichhornia crassipes*) on chemical and microbiological aspects of a soil degraded by red clay mining and the growth of the bahia grass (*Paspalum notatum*). The experiment was conducted under greenhouse conditions. Chemical and microbiological analyzes of the soil were carried out, as well as height and dry mass measurements of the plants. The results indicate that the consortium residues contributed to improve soil chemical conditions and provided good results for the microbiological conditions.

Keywords: environmental impacts, mining, red ceramics, granite cutting residues.

Introdução

As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos [1].

Pode-se considerar que geralmente toda atividade de mineração resulta em supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Por outro lado, o solo superficial, o qual apresenta maior índice de fertilidade é removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos acarretando em assoreamento dos corpos d'água do entorno, sendo necessário a sua recuperação, preferencialmente paralela à atividade de extração, sempre que possível.

Da mesma forma, o art. 1º do Decreto Federal nº 97.632/89, que regulamenta o art. 2º, VIII, da Lei Federal nº 6.938/81[2] estabelece o dever de recuperar no processo de estudo da viabilidade ambiental da atividade minerária:

(...) os empreendimentos que se destinem à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente um plano de recuperação de área degradada.

Ocorre que apesar da obrigação legal de recuperar as áreas degradadas por imposição legal [2] persistem inúmeras dificuldades em promover-se esta recuperação [3].

O Brasil possui grandes reservas de argilas para cerâmica vermelha. Dados do Departamento Nacional de Mineração (DNPM) sobre reservas minerais indicam que houve um aumento significativo no número de reservas desse minério a partir do ano 2000 [4].

Na maioria dos empreendimentos de mineração do setor, a mineração de argila apresenta deficiências técnicas envolvendo a pesquisa mineral, a lavra e o beneficiamento. Isto resulta em deficiências na qualidade das matérias-primas, o que prejudica a competitividade da cadeia produtiva. Da mesma forma, parte dos empreendimentos opera de maneira informal ou em desacordo com a legislação mineral e ambiental, o que compromete o controle e a recuperação ambiental das áreas mineradas [5]. Esta realidade trás um sério problema ambiental: a degradação ambiental de áreas mineradas a céu aberto, pela dificuldade de recuperação destas áreas, tornando-se necessário o desenvolvimento de técnicas e meios de regeneração dos ambientes de mineração tornando-o mais próximo o possível dos ambientes naturais anteriores ao processo minerário.

Associado a esta realidade, existe a necessidade de destinação final adequada de outro produto da indústria de mineração: resíduos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais, o pó de rochas, proveniente do corte e polimento de blocos de granito. Este resíduo pode ser utilizado como composto na técnica de rochagem, consorciado com resíduos orgânicos vegetais provenientes do descarte de macrófitas aquáticas geradas na limpeza de canais de irrigação, represas ou tanques de tratamento de efluentes de atividade de piscicultura/carcinicultura promovendo destinação final a resíduos de diferentes cadeias e etapas produtivas.

Uma fonte considerável de resíduos minerais é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, pois em serrarias que produzem blocos de 20 mm de espessura, de 25 a 30% do bloco de granito são perdidos como partículas finas, e considerando que o

mercado brasileiro gera anualmente 240.000 toneladas deste resíduo, contabilizando-se somente o mármore e o granito [6].

O granito é uma rocha plutônica ácida, com aproximadamente 75% de sílica; cristais de 1 a 5 mm, ou maiores, considerando estes autores que existe uma grande importância no estudo de aplicações destes resíduos [7].

Neste sentido, esses resíduos encontram-se prontos para uso através da técnica de rochagem, ou seja a utilização de resíduos de rochas como fonte de minerais para o solo em cultivos. A rochagem é uma técnica que vem sendo utilizada em escala internacional para suprir necessidade de fertilização de solos para fins de agricultura, mais difundida entre agricultores que cultivam produtos orgânicos, sendo alvo de inúmeras pesquisas nesta área. Outrossim, para fins de recuperação de áreas degradadas, ainda carece de aprofundamento.

A rochagem proporciona a diversificação de fontes de nutrientes, promovendo novas condições de suprimento de minerais, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo considerada como um tipo de remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para reformular solos pobres ou lixiviados, com fundamento básico na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e conseqüentemente na produtividade sustentável [8].

Experimento conduzido em Nova Prata, RS, a partir de resíduos de rochas vulcânicas ácidas, demonstrou que todos os macronutrientes e a maioria dos micronutrientes descritos na literatura estiveram presentes em quantidades variáveis na amostra estudada, evidenciando um possível potencial para liberação de nutrientes ao solo e que a utilização de soluções de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, testadas no estudo referido, como agentes extratores, mostraram-se eficientes na disponibilização de nutrientes minerais às plantas, corroborando estudos anteriores sobre a técnica [9].

Da mesma forma em experimento realizado em área degradada oriunda da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, apresentou consideráveis resultados, utilizando resíduos de basalto consorciados com resíduos de esterco bovino ou plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*), ou lodo de esgoto, proporcionando melhoramento nas condições químicas do subsolo e para as variáveis microbiológicas, concluindo que a rochagem realizada com basalto proporcionou resultados positivos [10].

Ainda, em condução de experimento com a cultura de arroz realizado na China, pesquisadores relacionaram o crescimento de algumas plantas com a oferta de potássio proveniente da aplicação da técnica de rochagem a partir de gnaiss, concluindo que a

presença de potássio influenciou no crescimento da cultura de arroz e que o crescimento das plantas se mostrava mais expressivo nas porções onde a fração granulométrica mais fina era dominante, corroborando outros estudos em que a rochagem promoveu o rejuvenescimento de solos, especialmente comparando-se o efeito a maior proporção de silte [11].

No entanto, devido aos baixos teores solúveis de nutrientes disponíveis em pó de rochas, esse material tem sido pouco utilizado como fertilizante para as plantas, encontrando resistência por parte dos agricultores que adotam a agricultura convencional. A maior desvantagem está relacionada à dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para os vegetais [12].

Porém, a utilização do pó de rochas pode apresentar vantagens quando da utilização correta desses materiais, pois além de permitir que pequenas reservas ou resíduos de exploração sejam aproveitados, constitui-se em adubação mais completa e com vários nutrientes [13].

Igualmente, em experimento a partir da técnica de rochagem, pesquisadores obtiveram bons resultados, concluindo que houve disponibilidade de nutrientes para o meio aquoso indicado e que todas as amostras liberaram macronutrientes e micronutrientes importantes para o crescimento das plantas, além da não disponibilidade de alumínio para o meio aquoso, o que é uma grande vantagem, pois o alumínio é um elemento tóxico para as plantas [9].

Uma alternativa para aumento da disponibilidade de nutrientes de rochas é a solubilização biológica. Diversos microrganismos conseguem solubilizar nutrientes, através da decomposição de minerais silicados [14]. Um subsolo exposto, mesmo de uma área degradada, conserva atividade microbiológica, embora em menor grau, necessitando assim, de complementação em matéria orgânica.

Neste sentido, a utilização de resíduos vegetais, como o de macrófitas aquáticas tem apresentado bons resultados [15]. A macrófita aquática flutuante *Eichhornia crassipes* apresenta vasta distribuição geográfica, sendo considerada planta daninha por apresentar proliferação excessiva em diversos ambientes aquáticos. Essa macrófita pode acarretar problemas aos usos múltiplos de rios, lagos e represas, dificultando a navegação e a captação de água, prejudicando a geração de energia elétrica, empreendimentos de saneamento e comprometendo as atividades de lazer [16 e 17]. No entanto, devida à ampla distribuição e característica de altas taxas de crescimento, somadas à elevada capacidade

de acumularem nutrientes, tornam esses vegetais potencialmente atrativos para a produção de substratos condicionadores de solos.

Macrófitas aquáticas têm sido utilizadas com sucesso no tratamento de efluentes urbanos e de aquicultura [18]. Neste sentido, existe um reduzido aproveitamento da biomassa vegetal produzida nesses sistemas de tratamento, onde as plantas necessitam ser retiradas periodicamente para aperfeiçoar a remoção de nutrientes. Nesse contexto, alternativas de aproveitamento dessa biomassa excedente podem ser implementadas, como na produção de papel e biogás, na alimentação de animais e na fertilização de solos [18,19] ou no tratamento e remoção de metais pesados em efluentes industriais [20]

Possibilidade do uso de resíduos orgânicos consorciados com resíduos de rochas

Um subsolo exposto, como o de uma área degradada por mineração ainda pode possuir uma atividade de microrganismos, principalmente bactérias e fungos, no entanto muito baixa e lenta para promover a restauração natural de um ecossistema, por tratar-se de um processo ecológico de sucessão, sendo necessária assim uma ação proativa neste sentido [21], dada a baixa resiliência resultante do processo de degradação.

A escolha da melhor fonte de matéria orgânica não depende apenas dos nutrientes que ela carrega, devendo-se considerar também os custos com transporte, preço de aquisição e incorporação ao substrato minerado [22].

Uma fonte de nutrientes e matéria orgânica é o lodo de esgotos domésticos. No entanto, estes resíduos conservam mesmo após secagem ou processos de compostagem, na qual, este último processo, as temperaturas chegam a 60°C, ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias, o que pode tornar-se um problema pela possibilidade de contaminação dos solos e lençol freático por lixiviação, pois geralmente não há esterilização do lodo de esgoto. Alguns vermes (helmintos) são sensíveis a compostagem, outros podem sobreviver [22].

Uma alternativa de utilização de resíduos orgânicos agrícolas é o uso de plantas aquáticas; macrófitas que podem se tornar um problema onde ocorrem de forma excessiva, gerando, por exemplo, eutrofização.

Potencial de *Eichhornia crassipes* como condicionador de solos

Em solos que recebem resíduos de origem vegetal normalmente, o cálcio e o magnésio aumentam em solução, quando o pH é menor que 6,0. Assim, em solos com altos teores de Alumínio pode haver complexação desse elemento com ânions orgânicos,

tornando-o não tóxico para as plantas, o que diminui o efeito ácido do alumínio proveniente de rochas vulcânicas ácidas [21].

Solos tropicais minerais em geral possuem de 2 a 6% de sua massa entre 0 e 20 cm de profundidade constituída de matéria orgânica [23]. No entanto, a influência da matéria orgânica sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos vai muito além desse montante [24].

Deve-se considerar ainda, que os efeitos positivos da adição de matéria orgânica mantêm-se por longo período de tempo [25]. Ao se elevar os teores de matéria orgânica dos substratos minerados a níveis adequados haverá melhorias químicas, físicas e biológicas que tornarão a área degradada mais propensa à revegetação.

Uso de gramíneas no processo de recuperação de áreas degradas por mineração

Para efeitos de sucessão ecológica, o recomendado é seguir um processo de sucessão mais próximo do natural, com a revegetação de gramíneas e herbáceas e após a colonização com espécies arbóreas pioneiras proporcionando condições para as secundárias iniciais, tardias e espécies clímax.

Promover uma camada herbácea rasteira proporciona grande estabilidade a substratos minerados e à paisagem. Além do efetivo controle da erosão, a camada herbácea melhora a estrutura e aumenta o teor de matéria orgânica no solo além de permitir que sementes de outras herbáceas, arbustos e árvores se desenvolvam no local, havendo dessa forma, a aceleração do processo de sucessão [22].

Paspalum notatum é uma espécie vegetal utilizada na contenção de taludes e áreas degradadas e que possui condições de aplicação como regeneradora de ambientes minerados. Gramínea nativa da América do Sul, presente nos campos sulinos, possui sementes de variável comercializada, utilizada como pastagem e também na contenção de erosão e taludes em estradas e outras obras de engenharia. Por tratar-se de espécie nativa, esta pode favorecer o processo de sucessão ecológica de forma segura, sem alterar significativamente a dinâmica genética do ecossistema local, facilitando o restabelecimento posterior de vegetação superior.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi testar a eficiência do consorciamento de resíduos de diferentes etapas e cadeias produtivas como condicionadores de solos com baixa fertilidade, promovendo a conservação da atividade microbiológica destes e proporcionando solução sustentável à destinação final dos resíduos descritos em processos

de recuperação de áreas degradadas por mineração, em especial de extração de argila vermelha.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em unidade comercial de produção de plantas ornamentais em Nova Petrópolis, RS. Utilizou-se um subsolo de área degradada por mineração de argila vermelha, oriundo de área de extração localizada no município de Cristal, RS classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) como Planosolo Háptico Solódico. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento, os quais foram distribuídos de forma aleatória em casa de vegetação. Estabeleceram-se 3 tratamentos: subsolo de área de degradada por mineração de argila vermelha com três doses de resíduo de corte de granito (8, 16 e 32 t ha⁻¹), combinadas com 8 t ha⁻¹ de resíduos orgânicos de macrófita aquática aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.,1824) Solms,1883), além de um tratamento adicional, com solo oriundo da camada de reposição da área de extração preservado para futura reabilitação da área degradada, todos com 3 repetições, gerando 12 parcelas . O resíduo de corte de granito utilizado foi coletado na cidade de Camaquã, RS. O aguapé (*Eichhornia crassipes*) foi coletado em um lago artificial em área de piscicultura no município de Nova Petrópolis, RS. Todos resíduos foram secos ao ar e o resíduo de macrófita aquática moído em moinho de facas para ter ao final diâmetro de 0,05 mm, favorecendo a decomposição ao ser aplicado ao solo.

A espécie vegetal utilizada como indicadora foi o capim pensacola (*Paspalum notatum*), uma gramínea nativa da América do Sul, utilizada como pastagem e como fixadora de taludes para combate à erosão em estradas e obras de engenharia. A gramínea foi cultivada no mês de agosto de 2016 em vasos de poliestireno com capacidade para 3 kg de substrato, a partir de sementes comerciais da marca BR Seeds *BR Seeds*®, cultivar Pensacola, com grau de pureza de 95,7%, germinação de 71%, lote 02/2015, registro RENASEM SP 02776/2010 e irrigadas sempre que necessário a partir da observação visual do teor de umidade no substrato, em condições de temperatura média de 25°C e umidade relativa do ar em torno de 70%.

As plantas foram avaliadas quanto ao crescimento, após 90 dias plantio, por meio de medidas de altura (cm) e da massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. Antes da secagem, um grama de raiz fresca, de cada repetição, foi separado e preservado

em álcool 50% para futura análise. O restante do material foi colocado em sacos de papel, levados à estufa a 60 °C por cinco dias e pesados para verificação da massa seca da parte aérea e do sistema radicular.

O substrato (subsolo), sem raízes, foi peneirado (malha de 2 mm) e homogeneizado. Amostras compostas foram preparadas, a partir de amostras simples coletadas em todas as unidades experimentais (repetições) de um mesmo tratamento. Parte dessas amostras foram enviadas para análise química [26].

A determinação do teor de nutrientes minerais no tecido vegetal, considerando pecíolos, folíolos e raízes foi determinada a partir de metodologia proposta por Malavolta; Vitti e Oliveira [27] sendo fósforo, potássio, sódio, cobre, zinco, cálcio, magnésio, enxofre e ferro, determinados por digestão nítrico-perclórica, boro determinado por calcinação e nitrogênio determinado por digestão sulfúrica.

A análise dos resíduos de marmoraria foi baseada em resultados obtidos por diferentes autores a partir da análise de fluorescência de raios X (FRX).

Para a avaliação da colonização micorrízica, as raízes preservadas foram lavadas em água corrente, clarificadas em KOH 10%, acidificadas com HCl 1%, coloridas com tinta de caneta tinteiro (Pilot, preta) e vinagre branco (ácido acético 4,2%) [28]. A taxa de colonização foi estimada pelo método de placa quadriculada [29]. Segmentos de raízes, de 1 cm de comprimento, foram avaliados para colonização micorrízica em microscópio óptico. Foram analisados 100 segmentos por placa, por repetição, por tratamento. As análises estatísticas constaram da comparação de médias entre os tratamentos, realizada pela análise de variância ANOVA e teste de Tukey a 95% de significância empregando-se o programa estatístico ASSISTAT®.

Resultados e discussão

Após a coleta de amostra de macrófita aquática *E. crassipes* foi encaminhado amostra para Laboratório de Química e fertilidade de Solos da Universidade de Caxias do Sul-UCS, onde foram determinadas as concentrações de micro e macro nutrientes, conforme Tabela I.

Tabela I-Constituição química da macrófita aquática *E. crassipes*.
 [Table I- Chemical composition of the aquatic macrophyte *E. crassipes*.]

Macronutrientes		Micronutrientes	
	g/kg		mg/kg
N	23,8	Zn	141,9
P	10,2	Cu	29,1
K	54,8	Mn	54,0
Ca	11,6	Fe	120,7
Mg	3,0	B	30,4
S	2,5		

Determinação a partir de metodologia proposta por Malavolta; Vitti e Oliveira [27], sendo P, K, Na, Cu, Zn, Ca, Mg, S, Fe determinados por digestão nítrico-perclórica, B determinado por calcinação e N determinado por digestão sulfúrica.

[Determination from the methodology proposed by Malavolta; Vitti and Oliveira [27], being P, K, Na, Cu, Zn, Ca, Mg, S, Fe determined by nitric-perchloric digestion, B determined by calcination and N determined by sulfur digestion.]

Os resultados da análise foliar de *E. crassipes* apresentou resultados de acordo com o encontrado por outros autores [15,18 ,20] sendo as macrófitas aquáticas excelentes fontes de minerais de importância agrícola.

Destaca-se o elevado teor de potássio, o qual é um nutriente que na forma livre regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, abertura e fechamento, de estômatos, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese protéica, além de contribuir para a resistência ao acamamento de gramíneas.

Caracterização dos resíduos de marmoraria

A análise dos resíduos de corte de granito (RCG) em marmorarias foi baseada em revisão de literatura, considerando os resultados obtidos a partir da análise de fluorescência de raios X (FRX). Os resultados da caracterização química podem ser visualizados na Tabela II

O elemento mais representativo no resíduo de corte de granito foi o dióxido de silício, seguido do óxido de alumínio e óxido de cálcio. Destaca-se a presença de potássio, elemento químico essencial à nutrição vegetal, o qual os solos brasileiros apresentam carência, sendo necessária correção via adubação química, além dos elementos cálcio, ferro e magnésio. Estes minerais sob ação dos ácidos húmico e fúlvico, resultante da decomposição da matéria orgânica proveniente das macrófitas aquáticas, potencializaram a

elevação dos teores de minerais no substrato produzido conforme se pode verificar nas Tabelas III e IV.

Tabela II- Caracterização química de amostras de RCG estudadas por diferentes autores.
[Table II - Chemical characterization of RCG samples studied by different authors.]

Teor (%)	Calmon <i>et al.</i> (1997)	Gonçalves (2000)	Moreira <i>et al.</i> (2002)
SiO ₂	59,95	59,62	65,95
Fe ₂ O ₃	6,05	9,49	7,89
Al ₂ O ₃	10,28	12,77	12,84
CaO	6,51	4,83	3,01
MgO	3,25	1,96	1,47
K ₂ O	4,48	5,30	4,19
TiO ₂	0,92	---	0,93
SO ₃	---	0,03	---
Na ₂ O	3,39	2,72	2,39

Fonte: Adaptado de Moura, Gonçalves e Leite [30].

Caracterização físico-química e biológica do substrato produzido

À medida que foi aumentada a dosagem de resíduos de corte de granito, houve maior disponibilidade de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ nos diferentes tratamentos, com exceção do magnésio para tratamento com 8 t ha⁻¹ e para potássio no tratamento com 32 t ha⁻¹. A lixiviação pode ter contribuído para o menor teor de potássio (Tabelas III e IV) devido à textura mais arenosa do substrato proporcionada pelo aumento na dosagem de resíduo de corte de granito, composto por percentual médio de 60 % de SiO₂ (Tabela II) .

Tabela III- Parâmetros físicos e químicos do solo para amostra controle e diferentes tratamentos com resíduos de corte de granito e macrófita aquática *E. crassipes*.

[Table III - Physical and chemical parameters of the soil for control sample and different treatments with cutting residues of aquatic granite and macrophyte *E. crassipes*.]

Tratamento	Cmol/dm ³						Saturação (%)			% m/v	
	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Al	Bases	Índice SMP	MO	Argila
Controle	5,2	3,2	2,2	1,3	9,7	6,9	18,8	36,8	5,3	1,9	47
8 t.ha ⁻¹	5,3	3,6	1,4	0,5	6,9	6,0	0,5	44,5	5,6	2,1	39
16 t.ha ⁻¹	5,6	4,0	2,2	0,3	5,5	7,0	0,3	55,1	5,8	2,2	39
32 t.ha ⁻¹	5,7	4,3	2,3	0,2	4,9	7,3	0,2	59,0	5,9	2,2	41

Determinação de pH em água na proporção 1:1; Ca, Mg, Al e Mn tocáveis extraídos com KCl 1 mol/L. Índice SMP estimado pela solução TSM. Argila determinada pelo método do densímetro. MO por digestão úmida com dicromato [26].

[Determination of pH in water in a ratio of 1: 1; Ca, Mg, Al and Mn extracted with 1 mol / L KCl. SMP index estimated by the TSM solution. Clay determined by the densimeter method. Organic matter by wet digestion with dichromate [26].]

Na Tabela IV podem-se observar os parâmetros químicos para amostra controle e diferentes tratamentos com resíduos de corte de granito e macrófita aquática *E. crassipes*.

Tabela IV-Parâmetros químicos do solo para amostra controle e diferentes tratamentos com resíduos de corte de granito e macrófita aquática *E. crassipes* considerando saturação por bases.

[Table IV-Physical and chemical parameters of the soil for control sample and different treatments with cutting residues of aquatic granite and macrophyte *E. crassipes* considering base saturation.]

Tratamento	mg/dm ³		Cmol _c /dm ³			mg/dm ³					
	S	P	K	CTC	pH	K	Cu	Zn	B	Mn	Na
Controle	2,3	1,9	0,235	15,3	7	92	1,4	1,0	0,4	27,1	36,0
8 t.ha ⁻¹	12,1	11,8	0,512	12,4		200,0	2,2	3,2	0,4	26,0	>15,0
16 t.ha ⁻¹	12,3	18,0	0,527	12,2		206,0	3,7	3,7	0,4	28,0	>15,0
32 t.ha ⁻¹	13,1	20,6	0,486	12,0		190,0	5,6	4,9	0,5	31,0	>15,0

S-SO₄ extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg/L de P, P, K e Na extraídos pelo método de Mehlich-1. Zn e Cu extraídos com Mehlich-1 e B extraído com água quente [26].

[S-SO₄ extracted with Ca (H₂ PO₄) 2500 mg / L of P,P, K and Na extracted by Mehlich-1 method. Zn and Cu extracted with Mehlich-1 and B extracted with hot water[26]].

A partir dos dados dispostos nas tabelas III, IV e V, verifica-se que houve uma contribuição relevante para o teor de fósforo, pois para culturas florestais o parâmetro indicado como referência é de 6 - 8 mg/dm³ para teores médios e de 9-16 mg/dm³ para teores altos do elemento no solo. Considerando que a recuperação de áreas degradadas por mineração enseja a restauração do ecossistema, com plantio inicial de gramíneas e posterior de espécies arbóreas, houve melhoria na concentração de P disponível com a aplicação dos resíduos em consórcio.

Da mesma forma, ao se comparar os teores de K⁺ trocável, observa-se uma evolução, considerando a elevação de um teor médio para um teor alto (valores entre 0,16-0,30 cmol_c/dm³ para 0,31-0,60 cmol_c/dm³), conforme Tabela V.

Tabela V- Limites de interpretação de teores de potássio e de fósforo em solo
 Table V- Limits of interpretation of potassium and phosphorus contents in soil

Teor	Produção	K ⁺ trocável	P resina			
			Florestais	Perenes	Anuais	Hortalias
	%	cmol _c /dm ³		mg/dm ³		
Muito baixo	0-70	0,0-0,07	0-2	0-5	0-6	0-10
Baixo	71-90	0,08-0,15	3-5	6-12	7-15	11-25
Médio	91-100	0,16-0,30	6-8	13-30	16-40	26-60
Alto	>100	0,31-0,60	9-16	31-60	41-80	61-120
Muito alto	>100	>0,60	>16	>60	>80	>120

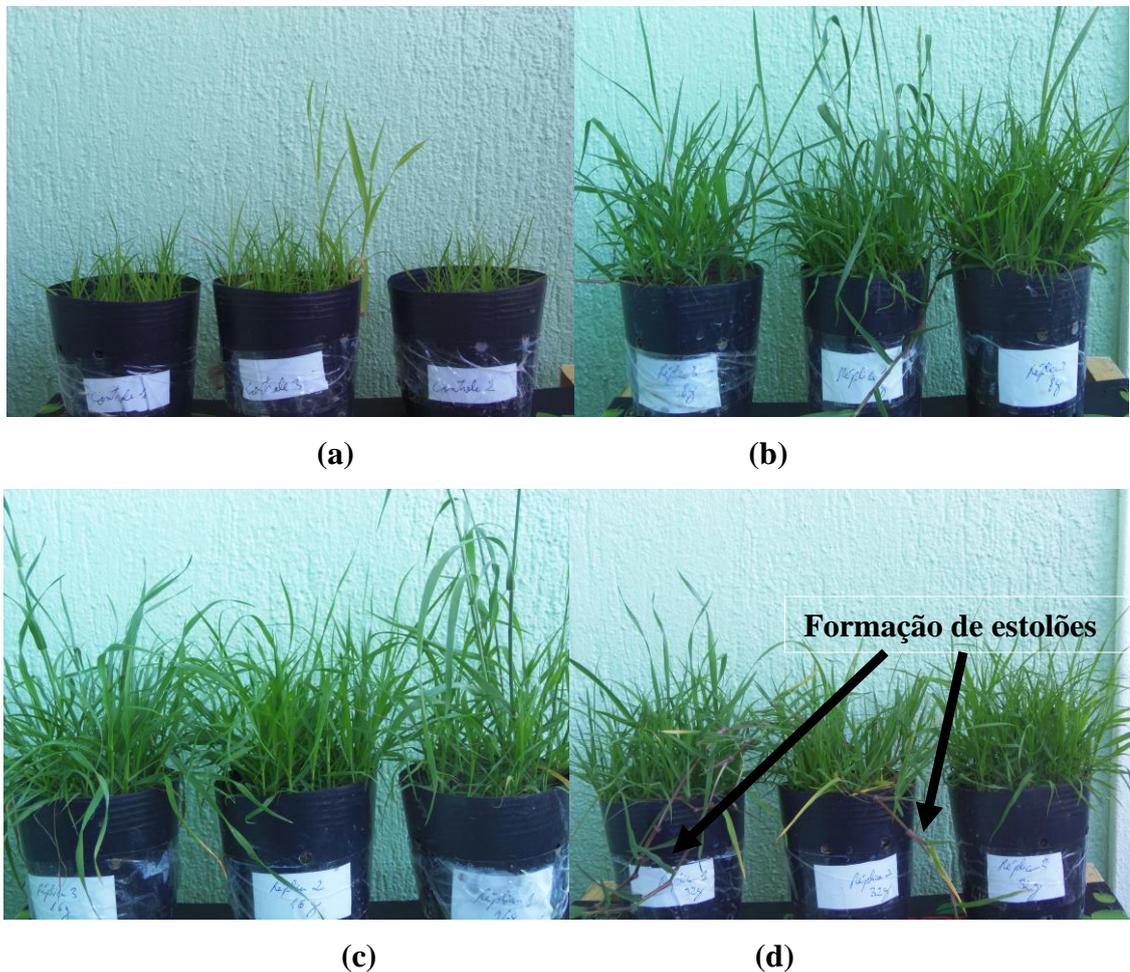
Fonte: Adaptado de Instituto Agrícola de São Paulo.

Source: Adapted from Instituto Agrícola de São Paulo.

O maior aporte de nutrientes favoreceu o crescimento das gramíneas, conforme Figura 1, onde é possível visualizar os estágios de desenvolvimento das gramíneas durante o experimento para os diferentes tratamentos e controle.

Os teores de micronutrientes (cobre, manganês e zinco) apresentaram elevação à medida que foram elevadas as dosagens de resíduos em consórcio, com exceção do boro que se manteve estável, enquadrando-se em parâmetros médio para o boro e alto para cobre, zinco e manganês [23].

Figura 1- Estágio final de crescimento de unidades amostrais com plantio de gramínea *Paspalum notatum* em casa de vegetação
 [Figure 1- Final stage of growth of sample units with *Paspalum notatum* in greenhouse]



Tratamentos (resíduo de corte de granito nas diferentes dosagens, consorciado com 8 t ha⁻¹ de *E. Crassipes*) - a: controle; b: 8 t ha⁻¹ resíduo de corte de granito; c: 16 t ha⁻¹ resíduo de corte de granito; d: 32 t ha⁻¹ resíduo de corte de granito .

[Treatments (granite cutting residue at different dosages consorted with 8 t ha⁻¹ of *E. crassipes*) - a: control; b: 8 t ha⁻¹ granite cutting residue; c: 16 t ha⁻¹ granite cutting residue; d: 32 t ha⁻¹ granite cutting residue.]

Referente à matéria orgânica (MO), a adição do resíduo de macrófitas aquáticas proporcionou melhoria no teor da mesma (de 1,9 % para 2,2 %). A adição de MO proporciona melhores condições para o desenvolvimento de vida microbiana no solo. Se houver condições favoráveis à sobrevivência de bactérias e fungos, formam-se ácidos húmicos. Esses ácidos têm um importante papel na formação de grumos e macroporos responsáveis por tornar o solo poroso e facilitar a entrada de ar e água no solo.

A matéria orgânica não é, essencialmente, um fertilizante em forma orgânica, mas sim um condicionador biofísico do solo que recupera sua porosidade. Desta forma, por possuir baixa densidade em relação aos minerais, reduz a densidade aparente do solo.

Quando a matéria orgânica for humificada, trará mais benefícios, aumentando a capacidade de troca de cátions do solo (Tabela IV) e o poder tampão. Entre os diversos tipos de substâncias orgânicas, somente o húmus consegue influir nas propriedades químicas do solo, embora os resíduos vegetais, durante sua decomposição, tenham influência maior sobre a física do solo. Assim, o efeito da matéria orgânica depende de um manejo adequado sendo necessário que seja aplicada superficialmente e não em profundidade [31].

Os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, são conhecidos como nutrientes principais e são absorvidos pelas plantas em maior proporção que os micronutrientes boro, zinco, cobre, ferro, molibdênio, cloro e manganês, que são conhecidos como elementos traço. Ambos são constituintes dos minerais que dão origem aos solos, e da matéria orgânica do substrato onde as plantas crescem, encontrando-se também dissolvida na solução do solo. No entanto, um ou vários nutrientes podem estar ausentes no solo ou em uma forma que as raízes não conseguem absorver. Para torná-los disponíveis, o solo deve ser adequadamente manejado. Entretanto, quando os nutrientes estão ausentes é necessário repô-los.

Assim, a capacidade de troca iônica dos solos (CTC) representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes.

Quanto ao magnésio, a menor concentração observada em relação ao controle (Tabela III) pode ser determinada pela maior absorção pelas plantas ou devido a diluição do solo utilizado como controle e inóculo de microrganismos em todos os tratamentos, o que pode ter contribuído para menor concentração, pois a disponibilidade do nutriente via macrófita, estima-se ter resultado uma contribuição similar em todos tratamentos, dado a dosagem utilizada em cada tratamento, sendo o oposto quanto dosagem em relação a resíduos de corte de granito, o qual pode ter contribuído para maior disponibilidade nos demais tratamentos.

Entretanto, referente ao magnésio, no tratamento com 8 t ha^{-1} , este pode determinar a diminuição da CTC efetiva do tratamento em relação ao controle, no entanto o crescimento radicular, foliar e de massa seca foi consideravelmente superior, bem como o indicador soma de bases, o qual determina a fertilidade do solo.

Neste sentido, pode-se afirmar que à medida que a dosagem de resíduos de corte de granito foi aumentada, a maior parte da CTC do solo foi ocupada por cátions essenciais

como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , podendo-se afirmar que esse é um substrato com boas condições para a nutrição das plantas em oposição a grande parte da CTC ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al^{3+} , na amostra controle, o que pode ser considerado como indicador de um solo pobre em nutrientes.

Os resultados para H^+ e Al^{3+} apresentaram-se positivos em relação ao controle, em todos tratamentos, havendo a neutralização do Al^{3+} tóxico para plantas, em solos que recebem resíduos de origem vegetal normalmente, o cálcio e o magnésio aumentam em solução, quando o pH é menor que 6,0. Assim, pode-se afirmar que provavelmente houve complexação com ânions orgânicos, tornando o alumínio não tóxico para as plantas [21], o que pode diminuir o efeito ácido do alumínio proveniente de rochas vulcânicas ácidas.

Desta forma, solos com valor baixo de CTC indicam que há pequena capacidade para retenção de cátions em forma trocável; nesse caso, não se devem fazer as adubações e calagens em grandes quantidades de uma só vez, mas sim de forma parcelada para que se evitem maiores perdas por lixiviação [31].

No mesmo sentido, o pH indica a quantidade de íons hidrogênio (H^+) que existe no solo. Assim, um solo é ácido quando possui muitos íons H^+ e poucos íons cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca.

O pH fornece indícios das condições químicas gerais do solo. Solos com acidez elevada geralmente apresentam: pobreza em bases (cálcio e magnésio principalmente); elevado teor de alumínio tóxico; excesso de manganês; alta fixação de fósforo nos coloides do solo e deficiência de alguns micronutrientes. O pH do solo é o indicador de uma situação biológico-físico-química e como tal seria enganoso considerar somente os seus efeitos químicos diretos às raízes [32].

O efeito direto da acidez do solo sobre o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais manifesta-se por meio da toxidez do alumínio (Al) e/ou do manganês (Mn), constituindo-se em um dos problemas sérios dos solos tropicais. Em solos excessivamente ácidos, o desenvolvimento das plantas é prejudicado pela indisponibilidade de nutrientes essenciais, como fósforo, zinco e ferro que, em geral, complexam-se com substâncias orgânicas ou com outros elementos minerais. Nessas condições, o crescimento das raízes e da parte aérea é reduzido e a quantidade elevada de alumínio trocável, no solo, atua no sistema radicular das plantas modificando sua anatomia, sugerindo que a concentração deste elemento limita a habilidade das raízes em absorver muitos dos outros nutrientes [33]. As células de raízes afetadas pelo alumínio podem sofrer alterações citológicas,

ocasionando paralisação no seu crescimento, pois este mineral interfere no processo de divisão celular principalmente na replicação do DNA [34].

No entanto, para se avaliar corretamente a toxidez por alumínio deve-se calcular a saturação por alumínio (m%), a qual nos diferentes tratamentos apresentou melhoria significativa comprovando a redução do potencial tóxico do alumínio (Tabela III).

Na Tabela VI podem-se visualizar os resultados dos crescimentos foliar e radicular médio para diferentes tratamentos e controle. Pode-se observar que em relação ao controle todos os tratamentos obtiveram diferença estatística significativa para crescimento foliar e radicular, evidenciando a dissolução de minerais e consequente absorção de nutrientes disponíveis no substrato.

Tabela VI-Crescimentos foliar e radicular médio nos diferentes tratamentos e controle.
[Table VI-Average leaf and root growth in different treatments and control.]

Tratamento	Cresc. foliar médio em cm (média de 3 repetições)	Cresc. radicular médio em cm (média de 3 repetições)
Controle	10,00 c	3,33 b
8 t ha ⁻¹	20,30 ab	15,00 a
16t ha ⁻¹	23,30 a	16,00 a
32t ha ⁻¹	17,67 b	15,33 a
F	47,733	94,7381
CV%	7,17	8,70

F = Estatística do teste F. CV% = Coeficiente de variação em % . Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 = < p < .05$). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

[F = Test statistic F. CV% = Coefficient of variation in%. Significant at the 5% probability level ($.01 = < p < .05$). The averages followed by the same letter do not differ statistically from each other. The Tukey test was applied at the 5% probability level.]

Referente à massa de matéria seca em gramas (Tabela VII), observa-se um aumento diretamente proporcional à dosagem de resíduos de corte de granito nos diferentes tratamentos em comparação ao controle.

Tabela VII-Massa de matéria seca em gramas nos diferentes tratamentos e controle.
 [Table VII-Weight of dry matter in grams in the different treatments and control.]

Tratamento	Massa em gramas
Controle	1,82 b
8 t ha ⁻¹	4,96 a
16 t ha ⁻¹	5,48 a
32 t ha ⁻¹	6,46 a
F	13,19
CV%	20,44

F = Estatística do teste F. CV% = Coeficiente de variação em % . Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

[F = Test statistic F. CV% = Coefficient of variation in%. Significant at the 5% probability level ($.01 \leq p < .05$). The averages followed by the same letter do not differ statistically from each other. The Tukey test was applied at the 5% probability level.]

Em relação aos micro e macronutrientes presentes (Tabelas III e IV), houve relação significativa com o resíduo de corte de granito, pois a dosagem de resíduos de macrófitas aquáticas fora a mesma (8 t ha⁻¹) em todos tratamentos, sendo assim o aumento na disponibilidade destes elementos não se deve somente ao disponibilizado pelas macrófitas. Apesar do tempo relativamente curto, houve indícios de solubilização química e biológica do resíduo de corte de granito o que forneceu as plantas maiores teores de nutrientes favorecendo o crescimento radicular, foliar e massa de matéria seca em relação ao controle.

Outro indicador importante da melhoria do substrato produzido é a saturação por bases. Este parâmetro apresentou elevação em todos os tratamentos, inclusive elevando-se a 59% no tratamento com 32 t ha⁻¹ de resíduos de corte de granito, alterando a classificação de solo Distrófico para Eutrófico (Tabela III).

No mesmo sentido, a análise da taxa de colonização de FMA, mostrou-se significativa e diretamente proporcional a elevação na dosagem de resíduos de corte de granito, sendo fundamentais na absorção de nutrientes (Tabela VIII). Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos que formam associações simbióticas mutualistas com as raízes de vegetais, as quais ocorrem normalmente na natureza.

Tabela VIII-Taxa percentual de colonização de FMA.
 [Table VIII-Percentage rate of FMA colonization.]

Tratamento	Taxa de colonização FMA em percentual (%)
Controle	15,66 d
8 t.ha ⁻¹	36,30 c
16t.ha ⁻¹	78,30 b
32t.ha ⁻¹	91,00 a
F	2490
CV%	2,21

F = Estatística do teste F. CV% = Coeficiente de variação em % . Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

[F = Test statistic F. CV% = Coefficient of variation in%. Significant at the 5% probability level ($.01 = <p < .05$). The averages followed by the same letter do not differ statistically from each other. The Tukey test was applied at the 5% probability level.]

Uma das vantagens da colonização micorrízica ocorre devido ao aumento da absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente dos elementos de baixa mobilidade no solo, como é o caso do fósforo, levando ao maior crescimento e produtividade da planta [32]. A alta eficiência das hifas na absorção de P deve-se ao seu menor diâmetro, à maior superfície de contato hifa-solo e também à capacidade de estocar polifosfatos nos vacúolos [35].

O conhecimento atual dos FMA permite fazer generalizações amplas sobre as suas características ecológicas, mas as maneiras pelas quais as micorrizas afetam espécies de plantas e a dinâmica das comunidades, e seu uso, em larga escala, na produção agrícola e na conservação ambiental são grandes desafios, sendo imperioso a discussão em qualquer estudo que aborde a biotecnologia agrícola [36].

Desta forma, a alta taxa de colonização trouxe indícios de uma contribuição positiva e ambientalmente segura no uso dos resíduos consorciados.

Considerações finais

O consorciamento de resíduos de corte de granito com resíduos de macrófitas aquáticas composta por *E. crassipes* proporcionou melhorias significativas no crescimento da gramínea *P. notatum* e no substrato produzido, considerando as variáveis físicas, químicas e biológicas, sendo que o aumento gradual de resíduos de corte de granito em especial a dosagem de 32 t ha⁻¹ apresentou melhores resultados, elevando inclusive a saturação por bases, promovendo a reclassificação como eutrófico (saturação por bases >50%), sendo positivo também para a elevação da taxa de colonização de FMAs.

Desta forma a utilização da rochagem com resíduos de corte de granito consorciada com resíduos de macrófitas aquáticas proporcionou solução ambientalmente viável para destinação final de resíduos de diferentes etapas e ciclos produtivos, favorecendo o fechamento do ciclo dos resíduos e proporcionando alternativa sustentável para etapa de recuperação de área degradada por mineração de argila vermelha, ao proporcionar condições apropriadas de revegetação com gramínea nativa, favorecendo a correta sucessão ecológica, preparatória ao reestabelecimento de vegetação superior e êxito no processo de recuperação de áreas degradadas.

Referencias bibliográficas

- [1] MECCHI, A.; SANCHES, D. L. The Environmental Impact of Mining in the State of São Paulo. *Estud. av.* [online]. **24**, 68 (2010) 209-220.
- [2] BRASIL. Decreto Lei 97.632 de 10 de abril de 1989. Dispões sobre a regulamentação do artigo 2º, VIII da Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981 e dá outras providências.
- [3] ALMEIDA, R.O.P.O.; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. *Revista Árvore*, **29** (2005) 47-54.
- [4] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-MME, Perfil de argilas para Cerâmica Vermelha, Relatório Técnico, Brasília, (2009).
- [5] JUNIOR, C.M; MOTTA, J.F.M; ALMEIDA, A.S; TANNO, L.C. Argilas para cerâmica vermelha *in*: LUZ, A.B; FREITAS LINS, F.A, Rochas & Minerais Industriais, Rio de Janeiro, CETEM/MCT (2005).
- [6] GONÇALVES, J.P. Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 120 fl. il. Porto Alegre (2000).
- [7] SANTOS, R. A.; LIRA, B. B; RIBEIRO, M. A. C. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito, *Revista Holos*, **5** (2011) 125-135.
- [8] LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I, *Anais do 29 Congr. Brasil. Geol*, Belo Horizonte, MG (1976) 137-145.
- [9] RAMOS, C.G; MELLO, A.G; KAUTZMANN, R.M, A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* (2014) 30–35.
- [10] SILVA, E.A., CASSIOLATO, A.M.R, MALTONI, L, SCABORA, M.H, Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um solo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott, *R. Árvore*, **32**, 2 (2008) 323-333.
- [11] WANG, J.G., ZHANG, F. S., ZHANG, X. L.; CAO. Y. P. Release of potassium from K-bearing minerals: Effect of plant roots under P deficiency. In: HINSINGER, P. (edit.) *Nutrient cycling in agroecosystems*. Kluwer Academic Publishers (2000) 45-52.
- [12] 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*, **56** (2000) 11-36.
- [13] COLA, G.P.A; SIMÃO, J.B.P, Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica, *Revista Verde*, **7**, 4 (2012) 15-27.

- [14] GARCIA JÚNIOR, O, Isolation and characterization of *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans* from mineral mines, **Rev. Bras. Microbiol.** 20 (1991) 1-6.
- [15] MALAVOLTA, E., MALAVOLTA, M.L., CABRAL, C.P., ANTONIOLLI, F., Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichhornia crassipes*), *An. Esalq, Piracicaba*, 46 (1989) 155-162.
- [16] CAMARGO, A. F. M.; HENRY-SILVA, G. G.; PEZZATO, M. M. Crescimento e produção primária de macrófitas aquáticas em zonas litorâneas. In: HENRY, R. (Ed.) *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*, São Carlos, Fundibio/Rima (2003) 213-232.
- [17] MARTINS, D., TERRA, M.A., MARCHI, S.R., VELINNI, E.D., Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana-SP), *Planta Daninha*, 21 (2003) 21-25.
- [18] HENRY-SILVA, G. G., CAMARGO, F.M., Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura, *Planta Daninha*, 24 (2006).
- [19] PIETERSE, A. H.; MURPHY, K., *Aquatic weeds and management of nuisance aquatic vegetation*, New York, Oxford University Press (1990).
- [20] SCHNEIDER, I.A.H. *Biossorção de metais pesados com a biomassa de macrófitas aquáticas*, Dissertação de Mestrado, Programa de pós graduação em Engenharia de Materiais, Minas e Metalurgia. Porto Alegre, UFRGS (1995).
- [21] PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A., Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online], 32, 3 (2008) 911-920.
- [22] CORREA, R.S. *Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para revegetação*, Brasília, Universa (2007).
- [23] STRECK, E.V., *Solos do Rio Grande do Sul*, 2 ed., Porto Alegre, EMATER-RS (2009).
- [24] BRADY, N.C., *Natureza e propriedades dos solos*, 7. ed., Rio de Janeiro, Freitas Bastos (1989).
- [25] FARIA, J.M.R.; DAVIDE, A.C.; BOTELHO, S.A., *Anais do I Simpósio Sul-americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná – FUPEF, Foz do Iguaçu, PR (1994) 499-508.
- [26] TEDESCO, M.J., *Análise de solo, plantas e outros materiais*, Boletim técnico nº 05, ed. rev. e ampl., Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS (1995).
- [27] MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A., *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*, 2ª ed. Piracicaba, POTAFOS (1997).
- [28] VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A.P.; WYSS, U.; PICHÉ, Y., Inky and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi, *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (1998) 5004-5007.
- [29] GIOVANETTI, M.; MOSSE, B., An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots, *New Phytol.*, 84 (1980) 489-500.
- [30] MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S., Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso, *Sitientibus*, 26 (2002).
- [31] RONQUIM, C. C., *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*, Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite (2010).
- [32] YANG, W.Q., The effect of aluminium and media the growth of mycorrhizal and nonmycorrhizal highbush blueberry plantlets, *Plant Soil*, 183 (1996) 301-308.
- [33] MINOCHA, R., LONG, S.L., SHORTLE, W.C., Effects of aluminum on DNA synthesis, cellular polyamine, polyamine biosynthetic enzymes and inorganic ions in cell

suspension cultures of a woody plant. *Catharauthus roseus*. *Plant Physiol*, **85** (1992) 417-424.

[34] CLARK, R.B, Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low Ph, *Plant Soil*, **192** (1997) 15-22.

[35] MARSCHENER, H, Mineral Nutrition of Higher Plants, Hohenheim, Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim (1997).

[36] COSTA, T.A.; SILVA, E.S., PINTRO, J.C., GOMES DA COSTA, S.M, Influência da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, da acidez do solo e de fontes de fósforo no crescimento do milho, *Acta Scientiarum*, **24**, 5 (2002) 1583-1590.

5.3 Artigo II

AVALIAÇÃO DA TAXA DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOLO EM CONSÓRCIO COM RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO E MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Rogério Pires Santos ⁽¹⁾

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais- PPGECAM-Universidade de Caxias do Sul-UCS. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL - Campus Camaquã-RS- e-mail: rogerio.santos@camaqua.ifsul.edu.br.

Geraldo Antônio Reichert ⁽²⁾

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS. Engenheiro do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre. Professor do Curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul – UCS

Endereço (1,2): Universidade de Caxias do Sul-UCS - Rua Francisco Getúlio Vargas-1130-Cidade Universitária – CEP: 95.070-560 - Caxias do Sul-RS

RESUMO

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA), efetuam simbiose com raízes de plantas vasculares (micorriza), podem contribuir em processos de recuperação de áreas degradadas pelo seu potencial de extrair metais pesados do solo, elevar a tolerância das plantas a metais em locais contaminados além de contribuir para o crescimento das plantas. O presente trabalho objetivou verificar os efeitos do consorciamento de diferentes resíduos (granito) com macrófita aquática aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) sobre aspectos químicos e microbiológicos de um Planosolo Háplico Solódico e o crescimento do capim pensacola (*Paspalum notatum*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação e constou de 3 tratamentos: solo de área amostral com três doses de resíduos de marmoraria (8, 16 e 32 t ha⁻¹), combinadas com 8 t ha⁻¹ de resíduos orgânicos (aguapé), além de um adicional, com solo de área de amostragem preservado, utilizado como referência, todos com três repetições por tratamento. Foram realizadas análises químicas e microbiológicas do solo, além de medidas de altura, massa seca e fresca da parte aérea e do sistema radicular das plantas. Os resultados indicam que os procedimentos com resíduos de granito e aguapé, contribuíram para proporcionar bons resultados para as condições microbiológicas, fator fundamental a correta sucessão ecológica, enquanto as gramíneas apresentaram o maior crescimento nos tratamentos em que foram adicionados maiores concentrações de resíduos de corte de granito.

PALAVRAS-CHAVE: Fungos micorrízicos arbusculares. *Paspalum notatum*. Resíduos sólidos.

EVALUATION OF COLONIZATION RATE BY ARBUSCULAR MICORRYSTAL FUNGI IN CONSORCED SOIL WITH GRANITE CUTTING RESIDUES AND AQUATIC MACROPHITES

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), which are synergistic with vascular plant roots (mycorrhizal), may contribute to the recovery of degraded areas due to their potential to extract heavy metals from the soil, increase plant tolerance to metals in contaminated sites, and contribute for plant growth. The present work aimed to verify the effects of the consorciation of different residues (granite) with aquatic macrophyte (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) on the chemical and microbiological aspects of a Solodic Planosol and growth of the bahia grass (*Paspalum notatum*). The experiment was conducted in a greenhouse and consisted of 3 treatments: soil of sample area with three doses of granite residues (8, 16 and 32 t ha⁻¹), combined with 8 t ha⁻¹ of organic residues (water hyacinth). In addition to an additional one, with soil of preserved sampling area, used as reference, all with three replicates per treatment. Chemical and microbiological analyzes of the soil were carried out, as well as measures of height, dry and fresh mass of the aerial part and the root system of the plants. The results indicate that the procedures with granite and water hyacinth residues contributed to provide good results for the microbiological conditions, a fundamental factor for the correct ecological succession, while the grasses showed the highest growth in the treatments in which the highest concentrations of granite residues were added.

KEY WORDS: Arbuscular mycorrhizal fungi. *Paspalum notatum*. Solid waste.

1 INTRODUÇÃO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microorganismos que se associam às raízes de cerca de 80 % das plantas terrestres. Esta associação é considerada como uma simbiose, em que os dois organismos obtêm vantagens adaptativas. No caso dos fungos micorrízicos a simbiose é complexa, denominada micorriza, e o fungo produz uma variedade de estruturas dentro da raiz da planta hospedeira (KOIDE e MOSSE, 2004).

Diversas pesquisas têm reafirmado a importância dos FMAs na recuperação de solos degradados e sua contribuição fisiológica para crescimento das espécies hospedeiras (KOIDE e MOSSE, 2004).

A grande contribuição proporcionada por este grupo de fungos é o aumento da disponibilidade de nutrientes, dentre eles o fósforo, pois esses potencializam a absorção de água e garantem maior resistência à seca nas plantas hospedeiras (PEREIRA et al., 2010). Da mesma forma os FMAs são importantes por aumentar a tolerância das plantas aos metais pesados presentes em solos contaminados, uma vez que são capazes de reter metais nas raízes e diminuir a translocação para a parte aérea da planta (CABRAL et al., 2010; SILVA et al., 2006).

Os efeitos benéficos dos FMAs devem-se em parte à produção de glicoproteínas (glomalinas), que apresentam alta capacidade de reter metais, funcionando como agentes quelantes do solo (PEREIRA et al., 2010), além de, juntamente com as hifas aumentarem a agregação de partículas (VIANA e SANTOS, 2010).

Os FMAs, ainda proporcionam efeitos benéficos pela redução na mobilização do alumínio para parte aérea das plantas, e a utilização do fósforo para sua neutralização na raiz dos vegetais, atuando como mecanismos de defesa para plantas onde o alumínio atinge níveis tóxicos (SILVA e MIRANDA, 1994).

Desta forma o objetivo do presente trabalho foi analisar a taxa de colonização de FMAs em um Planosolo Háplico Solódico, em área degradada por extração de argila vermelha, com fins de analisar os efeitos da utilização de resíduos de corte de granito (marmoraria) consorciado com resíduos de macrófita aquática *Eichhornia crassipes*, sobre a microbiota do solo, em especial os fungos micorrízicos arbusculares, com vistas à possibilidade de aplicação dos resíduos em áreas degradadas em recuperação, sem comprometimento da colonização micorrízica, colaborando para o correto processo de sucessão ecológica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em unidade comercial de produção de plantas ornamentais em Nova Petrópolis, RS. Utilizou-se solo de área degradada por mineração, unidade amostral localizada no município de Cristal, RS classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) como Planosolo Háplico Solódico, solo ácido, com baixa fertilidade (distrófico, saturação por bases < 50%). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento, onde as

unidades amostrais foram dispostas ao acaso em casa de vegetação. Estabeleceram-se 3 tratamentos: solo de área amostral com três doses de resíduo de corte de granito (8, 16 e 32 t ha⁻¹), combinadas com 8 t ha⁻¹ de resíduos orgânicos de macrófita aquática aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.,1824) Solms,1883) gerando 3 tratamentos, além de um tratamento adicional, com solo da área amostral preservado, utilizado como controle, totalizando 12 parcelas. O resíduo de corte de granito foi coletado na cidade de Camaquã, RS. O aguapé (*Eichhornia crassipes*) foi coletado em um lago artificial em área de piscicultura no município de Nova Petrópolis, RS. Todos resíduos foram secos ao ar e o resíduo de macrófita aquática moído em moinho de facas, para ter ao final, o mesmo diâmetro (0,05 mm), favorecendo a decomposição ao ser aplicado ao solo.

A espécie vegetal utilizada como indicadora foi o capim pensacola (*Paspalum notatum*), uma gramínea nativa da América do Sul, utilizada como pastagem e como fixadora de taludes para combate à erosão em estradas e obras de engenharia. A gramínea foi cultivada em vasos de poliestireno com capacidade para 3 kg de substrato no mês de agosto de 2016, a partir de sementes comerciais da marca *BR Seeds*®, cultivar Pensacola, com grau de pureza de 95,7%, germinação de 71%, lote 02/2015, registro RENASEM SP 02776/2010. Os tratamentos foram irrigados sempre que necessário a partir da observação visual do teor de umidade no substrato, em condições de temperatura média de 25°C e umidade relativa do ar em torno de 70%, sendo mantidas em casa de vegetação no município de Nova Petrópolis, RS.

As plantas foram avaliadas quanto ao crescimento, após 90 dias de plantio, por meio de medidas de altura (cm) e da massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. Antes da secagem, um grama de raiz fresca, de cada repetição, foi separado e preservado em álcool 50% para futura análise. O restante do material foi colocado em sacos de papel, levados à estufa a 60°C por cinco dias e pesados para verificação da massa seca da parte aérea e do sistema radicular.

O substrato, sem raízes, foi peneirado (malha de 2 mm) e homogeneizado sendo parte enviado para análises físicas e químicas junto ao Laboratório de Química e fertilidade de solos da Universidade de Caxias do Sul-UCS. A determinação do teor de nutrientes minerais no tecido vegetal da amostra de *E. crassipes*, considerando pecíolos, folíolos e raízes foi determinada a partir de metodologia proposta por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997), sendo P, K, Na, Cu, Zn, Ca, Mg, S, Fe determinados por digestão nítrico-

perclórica, B determinado por calcinação e N determinado por digestão sulfúrica. A análise dos resíduos de marmoraria foi baseada em revisão de literatura a partir de resultados obtidos por diferentes autores por meio da análise de fluorescência de raios X (FRX).

Para a avaliação da colonização micorrízica, as raízes preservadas foram lavadas em água corrente, clarificadas em KOH 10%, acidificadas com HCl 1%, coloridas com tinta de caneta tinteiro (Pilot, preta) e vinagre branco (ácido acético 4,2%) (VIERHEILIG et al., 1998). A taxa de colonização foi estimada pelo método de placa quadriculada (GIOVANETTI e MOSSE, 1980). Segmentos de raízes, de 1 cm de comprimento, foram avaliados para colonização micorrízica em microscópio óptico. Foram analisados 100 segmentos por placa, por repetição, por tratamento. As análises estatísticas constaram da comparação de médias entre os tratamentos, realizada pela análise de variância ANOVA e teste de Tukey a 95% de significância empregando-se o programa estatístico Assisat[®].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de micro e macro nutrientes presentes no tecido foliar da macrófita aquática *E. crassipes* utilizada no presente experimento pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1. Constituição química da macrófita aquática *E. crassipes*

Macronutrientes		Micronutrientes	
	(g/kg)		(mg/kg)
N	23,8	Zn	141,9
P	10,2	Cu	29,1
K	54,8	Mn	54,0
Ca	11,6	Fe	120,7
Mg	3,0	B	30,4
S	2,5		

Determinação a partir de metodologia proposta por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997), sendo P, K, Na, Cu, Zn, Ca, Mg, S, Fe determinados por digestão nítrico-perclórica, B determinado por calcinação e N determinado por digestão sulfúrica.

Os resultados da análise foliar de *E. crassipes* apresentou resultados de acordo com o encontrado por outros autores (MALAVOLTA, 1989; SCHNEIDER, 1995; HENRY-SILVA, 2001), sendo as macrófitas aquáticas excelente fonte de minerais de importância agrícola, as quais podem ser utilizadas como fonte de nutrientes e matéria orgânica a serem dispostas em solos degradados (MALAVOLTA, 1989).

Macrófitas aquáticas possuem um elevado potencial de reprodução e geração de biomassa, podendo ser utilizadas em processos de tratamento de efluentes domésticos e industriais, sendo a biomassa removida útil para fins agrícolas, na fertilização de solos, devido ao alto teor de nutrientes presentes em seu tecido foliar e radicular (MALAVOLTA, 1989; HENRY-SILVA, 2001).

A utilização de macrófitas aquáticas para fins de aumento da fertilidade de solo pode ser potencializada pelo consorciamento destas com resíduos minerais, tais como o de corte de granito. Os resíduos de corte de granito possuem granulometria fina, composta por diferentes diâmetros, distribuídos proporcionalmente entre as granulometrias do silte, areia e argila, assim como os solos (SANTOS; DESTEFANI; HOLANDA, 2013).

Os resultados da caracterização química para óxidos presentes em resíduos de corte de granito podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química de amostras de resíduos de corte de granito definidas por diferentes autores

Teor (%)	Calmon et al. (1997)	Gonçalves (2000)	Moreira et al (2002)
SiO ₂	59,95	59,62	65,95
Fe ₂ O ₃	6,05	9,49	7,89
Al ₂ O ₃	10,28	12,77	12,84
CaO	6,51	4,83	3,01
MgO	3,25	1,96	1,47
K ₂ O	4,48	5,30	4,19
TiO ₂	0,92	---	0,93
SO ₃	---	0,03	---
Na ₂ O	3,39	2,72	2,39

Fonte: Adaptado de Moura, Gonçalves e Leite (2002).

A caracterização química dos resíduos de corte de granito em marmorarias apresentou composição similar nos experimentos desenvolvidos por Moura; Gonçalves e Leite (2002), sendo constituídos por óxidos minerais considerados micronutrientes e macronutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

Na Tabela 3 podem-se visualizar os resultados dos crescimentos foliar e radicular médio para os diferentes tratamentos e controle submetidos ao consorciamento de resíduos de corte de granito e *E. crassipes*.

Tabela 3. Crescimento foliar e radicular médio nos diferentes tratamentos (8, 16 e 32 t ha⁻¹ de resíduos de corte de granito, consorciados com 8 t ha⁻¹ resíduos de *E. crassipes*) e controle

Tratamento	Cresc. foliar médio (cm)*	Cresc. radicular médio (cm)*
Controle	10,00 c	3,33 b
8 t ha ⁻¹	20,30 ab	15,00 a
16t ha ⁻¹	23,30 a	16,00 a
32t ha ⁻¹	17,67 b	15,33 a
F	47,733	94,7381
CV%	7,17	8,70

*Média de 3 repetições. F = Estatística do teste F. CV% = Coeficiente de variação em % . Significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Referente ao crescimento foliar, houve diferença significativa pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 3) para todos tratamentos entre si e em relação ao controle, evidenciando maior absorção de nutrientes pelas gramíneas, o que pode ter sido proporcionado pela ação dos FMAs, os quais apresentaram maior taxa de colonização (Tabela 6) à medida que houve elevação na dosagem de resíduos de corte de granito, sendo a dosagem de resíduos de macrófita aquática constante em todos tratamentos.

Destaca-se que o crescimento foliar foi menor no tratamento com 32 t ha⁻¹ de resíduos de corte de granito em relação aos outros tratamentos, sendo maior que no

controle, o que evidencia o efeito do menor teor de potássio neste tratamento (Tabela 5), o qual apresentou menor concentração no substrato produzido, o que pode ter ocorrido pela maior lixiviação do mesmo devido à textura mais arenosa do substrato no tratamento com 32 t ha⁻¹ de resíduos de corte de granito, sendo este resíduos composto em média por 60% de SiO₂ (Tabela 2).

O potássio é um elemento essencial ao desenvolvimento da vegetação, pois participa na regulação de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, abertura e fechamento de estômatos, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese protéica. Desta forma, o menor teor de potássio, pode ter contribuído para o menor crescimento foliar no respectivo tratamento.

Em relação à massa de matéria seca (Tabela 4), observou-se um aumento diretamente proporcional à dosagem de resíduos de corte de granito nos diferentes tratamentos em comparação ao controle, embora estatisticamente, não houve diferença significativa pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade em relação às diferentes dosagens de resíduos, com exceção do tratamento controle. O pequeno período de cultivo, com conseqüente menor dissolução e absorção de nutrientes pelas plantas (90 dias) pode ter contribuído para o fenômeno.

Tabela 4. Massa de matéria seca em gramas nos diferentes tratamentos (8, 16 e 32 t ha⁻¹ de resíduos de corte de granito, consorciados com 8 t ha⁻¹ resíduos de *E. crassipes*) e controle

Tratamento	Massa (g)*
Controle	1,82 b
8 t ha ⁻¹	4,96 a
16 t ha ⁻¹	5,48 a
32 t ha ⁻¹	6,46 a
F	13,19
CV%	20,44

*Média de 3 repetições. F = Estatística do teste F. CV% = Coeficiente de variação em %. Significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Neste sentido, como se observa à Tabela 3, o crescimento radicular não obteve diferença estatística significativa (Teste de Tukey a 5% de probabilidade), na medida em que houve aumento na dosagem de resíduos de corte de granito, com exceção em relação ao controle, o que corrobora a elevada toxicidade por alumínio (18,8%) e acidez do solo (pH 5,2), sem a adição dos resíduos em consórcio no controle (Tabela 5), o que dificultou a colonização por FMAs.

Assim, pode-se afirmar que os resíduos em consórcio contribuíram para a elevação do pH por meio da complexação do alumínio, tóxico para as plantas, diminuindo de forma significativa a saturação deste elemento, ainda favorecendo a elevação da soma de bases, capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva) e saturação por bases, o que proporcionou a reclassificação de solo distrófico (solo de baixa fertilidade, com saturação por bases < 50%), para Eutrófico (solo com maior fertilidade, com saturação por bases > 50%) conforme Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros físicos e químicos do solo para amostra controle e diferentes tratamentos com resíduos de corte de granito e macrófita aquática *E. crassipes* e evolução da saturação por bases

Tratamento	(mg/dm ³)			(Cmol _c /dm ³)			(mg/dm ³)				
	S	P	K	CTC pH 7	K	Cu	Zn	B	Mn	Na	
Controle	2,3	1,9	0,235	15,3	92	1,4	1,0	0,4	27,1	36,0	
8 t ha ⁻¹	12,1	11,8	0,512	12,4	200,0	2,2	3,2	0,4	26,0	>15,0	
16 t ha ⁻¹	12,3	18,0	0,527	12,2	206,0	3,7	3,7	0,4	28,0	>15,0	
32 t ha ⁻¹	13,1	20,6	0,486	12,0	190,0	5,6	4,9	0,5	31,0	>15,0	

Tratamento	(Cmol _c /dm ³)					Saturação (%)			(% m/v)		
	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Al	Bases	Índice SMP	MO	Argila
Controle	5,2	3,2	2,2	1,3	9,7	6,9	18,8	36,8	5,3	1,9	47
8 t ha ⁻¹	5,3	3,6	1,4	0,5	6,9	6,0	0,5	44,5	5,6	2,1	39
16 t ha ⁻¹	5,6	4,0	2,2	0,3	5,5	7,0	0,3	55,1	5,8	2,2	39
32 t ha ⁻¹	5,7	4,3	2,3	0,2	4,9	7,3	0,2	59,0	5,9	2,2	41

S-SO₄ extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg/L de P. P, K e Na extraídos pelo método de Mehlich-1. Zn Cu extraídos com Mehlich-1 e B extraído com água quente conforme metodologia proposta por Tedesco, et al. (1995). Determinação de pH em água na proporção 1:1; Ca, Mg, Al e Mn tocáveis extraídos com KCl 1 mol/L. Índice SMP estimado pela solução TSM. Argila determinada pelo método do densímetro. MO por digestão úmida com dicromato, conforme metodologia proposta por Tedesco, et al. (1995).

A taxa de colonização micorrízica variou progressivamente de 15,66% no controle, a 91% no tratamento com 32 t ha⁻¹ de resíduos de corte de granito, consorciados com 8 t ha⁻¹ de resíduos de *E. crassipes* (Tabela 6). A colonização por FMAs mostrou-se positiva na absorção de nutrientes nos tratamentos consorciados com as diferentes dosagens de resíduos em comparação ao controle, pois, mesmo em período reduzido de cultivo (90 dias), houve desenvolvimento significativo em relação ao controle nas variáveis produção de biomassa e crescimento foliar e radicular, embora não havendo diferença estatística significativa em relação aos tratamentos com diferentes dosagens de resíduos de acordo com Teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabelas 3 e 4).

Neste sentido, a análise da taxa de colonização de FMAs, demonstrou relação significativa e diretamente proporcional à elevação na dosagem de resíduos de corte de

granito e seus efeitos (Tabela 6), onde observa-se uma elevação na taxa de colonização de 15,66% no controle para 91 % no tratamento com 32 t ha⁻¹ de resíduos de corte de granito em consórcio com 8t ha⁻¹ de resíduos de *E. crassipes*, sendo os FMAs fundamentais na absorção e ciclagem de nutrientes.

Tabela 6. Taxa percentual de colonização de FMA

Tratamento	Taxa de colonização FMA em percentual (%)*
Controle	15,66 d
8 t ha ⁻¹	36,30 c
16t ha ⁻¹	78,30 b
32t ha ⁻¹	91,00 a
F	2490
CV%	2,21

*Média de 3 repetições . F = Estatística do teste F. CV% = Coeficiente de variação em %. Significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Uma das vantagens da colonização micorrízica ocorre devido ao aumento da absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente dos elementos de baixa mobilidade no solo, como é o caso do fósforo (P), levando ao maior crescimento e produtividade da planta (CLARK, 1997). A alta eficiência das hifas na absorção de P deve-se ao seu menor diâmetro, à maior superfície de contato hifa-solo e também à capacidade de estocar polifosfatos nos vacúolos (MARSCHENER, 1997).

Esses fungos aumentam a disponibilidade de nutrientes, potencializam a absorção de água e garantem maior resistência à seca nas plantas hospedeiras (PEREIRA *et al.*, 2010). São importantes também por aumentar a tolerância das mesmas aos metais pesados presentes em solos contaminados, uma vez que são capazes de reter tais metais nas raízes e diminuir a translocação para a parte aérea da planta (CABRAL *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2006).

Parte dos efeitos benéficos da ação dos fungos micorrízicos deve-se à produção de glicoproteínas denominadas glomalinas, que apresentam alta capacidade de reter metais,

funcionando como agentes quelantes do solo (PEREIRA *et al.*, 2010), além de, juntamente com as hifas aumentarem a agregação de partículas (VIANA e SANTOS, 2010).

Os FMAs também contribuem para o acúmulo do estoque de carbono e biomassa microbiana em solos, favorecendo o sequestro de carbono da atmosfera (OLSSON e WILHELMSSON, 2000). As micorrizas arbusculares funcionam, portanto, como um prolongamento do sistema radicular da planta hospedeira, capaz de aumentar a absorção de nutrientes, promoverem proteção contra patógenos e conferir tolerância à seca e salinidade (TRISTÃO *et al.*, 2006).

Para Costa *et al.* (2002) o conhecimento atual dos FMA permite fazer generalizações amplas sobre as suas características ecológicas, mas as maneiras pelas quais as micorrizas afetam espécies de plantas e a dinâmica das comunidades, e seu uso, em larga escala, na produção agrícola e na conservação ambiental são grandes desafios, sendo imperioso a discussão em qualquer estudo que aborde a biotecnologia agrícola.

Desta forma, à alta taxa de colonização por FMAs trouxe indícios de uma contribuição positiva e ambientalmente segura no uso dos resíduos consorciados.

4 CONCLUSÕES

O consorciamento de resíduos de corte de granito com resíduos de macrófitas aquáticas composta por *E. crassipes* proporcionou maior crescimento da gramínea *P. notatum* em relação ao tratamento controle, considerando as variáveis químicas e microbiológicas do solo a partir da adição do substrato produzido ao solo, sendo que o aumento gradual de resíduos de corte de granito consorciado com *E. crassipes* apresentou melhores resultados, sendo positivo também para a elevação da taxa de colonização de FMAs.

O aumento da taxa de colonização por FMAs em função do aumento nas dosagens de resíduos consorciados apresentou-se viável e facilitador do processo de sucessão ecológica, fundamental em processos de recuperação de áreas degradadas.

Desta forma, a utilização da rochagem consorciada com resíduos de macrófitas aquáticas nas dosagens aplicadas no presente experimento, proporcionou solução ambientalmente viável para destinação final de resíduos de diferentes etapas e ciclos

produtivos, favorecendo o fechamento do ciclo dos resíduos e proporcionando alternativa sustentável para a recuperação de solos degradados e de baixa fertilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABRAL, L.; SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; PINTO, J.E.B.P. Retenção de metais pesados em micélio de fungos micorrízicos arbusculares. **Quim. Nova**, vol.33, n.1, 2010.
- CLARK, R.B. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. **Plant Soil**, Dordrecht, v.192, p. 15-22, 1997.
- COSTA, T.A.; SILVA, E.S.; PINTO, J.C.; GOMES DA COSTA, S.M. Influência da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, da acidez do solo e de fontes de fósforo no crescimento do milho. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1583-1590, 2002.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol.**, 84:489-500, 1980.
- KOIDE, R.T.; MOSSE, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, 14:145-163, 2004.
- MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.L.; CABRAL, C.P.; ANTONIOLLI, F. Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichhornia crassipes*) **An. Esalq**, Piracicaba, 46 (parte 1): 155-162, 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, 2ª ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997.
- MARSCHENER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Hohenheim: Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim, 1997.
- MINOCHA, R.; LONG, S.L.; SHORTLE, W.C. Effects of aluminum on DNA synthesis, cellular polyamine, polyamine biosynthetic enzymes and inorganic ions in cell suspension cultures of a woody plant. *Catharauthus roseus*. **Plant Physiol**. Bethesda, v.85, p.417-424, 1992.
- MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. Feira de Santana: **Sitientibus**, n.26, 2002.
- PEREIRA, C.D.; ANDRADE, L.R.M.; MACHADO, C.T.T.; MALAQUIAS, J.V.; NASCIMENTO, A.; LOPES, V. **Potencial infectivo e densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em solos ultramáficos do Município de Barro Alto, Goiás, Brasil: estudos preliminares**. Fertbio, XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XIII Reunião Brasileira de Micorrizas, XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 2010.

SCHNEIDER, I.A.H. **Biossorção de metais pesados com a biomassa de macrófitos aquáticos**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.157 fl. Dissertação de Mestrado.

SILVA, H.J.B.; MIRANDA, J.C.C. Efeito da micorriza vesículo-arbuscular no crescimento de variedades de trigo sensível e tolerante ao alumínio, em solo de cerrado. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Campinas, v.18, p.407-414, 1994.

SILVA, S.; SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.12, p.1749-1757, 2006.

TEDESCO, M.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Boletim técnico nº 05, ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995.

WERLE,R.; GARCIA,R.A; ROSOLEM, C.A. lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 32: 2297-2305, 2008

VIANA, J.H.M.; SANTOS, E.D. **A fração glomalina e a estabilidade de agregados de diferentes Latossolos**. XVIII reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água - novos Caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/handle/item/2983> >Acesso em: Jan. 2017.

VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A.P; WYSS,U; PICHÉ,Y. Inky and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhize fungi. **Applied and environmental microbiology**, v. 64, p. 5004-5007, 1998.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos de corte de granito apresentam-se compostos por minerais essenciais a nutrição vegetal, o que favoreceu o aumento na fertilidade do solo, considerando o indicador saturação por bases, e proporcionou crescimento das gramíneas cultivadas no presente experimento. Da mesma forma a constituição química da macrófita aquática *E. crassipes* corroborou estudos anteriores, sendo composta por micro e macronutrientes essenciais a nutrição vegetal, favorecendo ainda a elevação do teor de matéria orgânica do solo em estudo de 1,9 para 2,2 %, o que proporcionou a melhoria das características físicas do mesmo, facilitando o crescimento e penetração das raízes.

As análises estatísticas apresentaram diferenças estatísticas significativas considerando o teste de Tukey a 5% de probabilidade para o crescimento foliar e taxa de colonização por FMA.

O consorciamento de resíduos de corte de granito com resíduos de macrófitas aquáticas composta por *E. crassipes* proporcionou melhorias no crescimento da gramínea *P. notatum* e no substrato produzido, considerando as variáveis físicas, químicas e biológicas, sendo que o aumento gradual de resíduos de corte de granito, em especial a dosagem de 32 t.ha⁻¹, apresentou melhores resultados, elevando inclusive a saturação por bases, promovendo a reclassificação como Eutrófico (saturação por bases >50%), sendo positivo também para a elevação da taxa de colonização de FMA em comparação com o tratamento controle, alcançando a taxa de 91% para o tratamento com 32 t.ha⁻¹.

Desta forma, a utilização da rochagem com resíduos de corte de granito consorciada com resíduos de macrófitas aquáticas, proporcionou solução ambientalmente viável para destinação final de resíduos de diferentes etapas e ciclos produtivos, favorecendo o fechamento do ciclo dos resíduos e proporcionando alternativa sustentável para etapa de recuperação de área degradada por mineração de argila vermelha. Ao proporcionar condições apropriadas de revegetação com gramínea nativa, é possível favorecer a correta sucessão ecológica, preparatória ao reestabelecimento de vegetação superior e êxito no processo de recuperação de áreas degradadas por mineração.

6.1 Sugestões para futuros trabalhos

Como sugestão para futuros trabalhos visando o aprimoramento da técnica proposta podem ser aprofundados os seguintes tópicos de pesquisa:

1. análise de viabilidade econômica da técnica proposta;
2. avaliação do ciclo de vida a partir da técnica proposta, considerando diferentes cenários e utilização de diversos resíduos em consórcio;
3. utilização de diferentes dosagens de resíduos de corte de granito e o uso de diferentes resíduos industriais e orgânicos em consórcio, incluindo outras espécies de macrófitas aquáticas;
4. análise econômica e ambiental da utilização de macrófitas aquáticas em processos de tratamento de efluentes como fonte de matéria orgânica de alto potencial para fertilização de solos;
5. a aplicação da técnica em campo e por maior período de experimentação;
6. aprofundamento nas investigações sobre a ecologia dos FMAs e sua interação com o meio em áreas degradadas por mineração em recuperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R.O.P.O.; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, 29: 47-54, 2005.

ANJOS, M.R. et al. **Inovações tecnológicas aplicadas a recuperação de áreas degradadas pela extração de argila através da instalação da atividade piscícola na região da sub bacia do alto rio Machado Rondônia – Brasil**. Disponível em : <http://rioterterra.org.br/pt/wp-content/uploads/2011/07/Wits_ANJOS_1.pdf> . Acesso em 08 set. 2016.

ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. São Cristovão/RJ: Ed. Bertrand Brasil Ltda, 2005. 320p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10.004 - Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA-ANICER. **Dados do Setor de Cerâmica Vermelha**. Disponível em:<<http://portal.anicer.com.br/setor/>>. Acesso em: 26 jul. 2016.

ALMEIDA, R. O. P. O; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação de desempenho. **Revista Árvore**, vol 29, nº 001, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, MG, 2005.

BAKEY, E.B. **James Hutton: The Founder of Modern Geology**. New York, 1967.

BARTH, R.C. **Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil**. Boletim Técnico nº 1. SIF/UFV, Viçosa, MG, 1989. 41p.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3 ed. São Paulo: CETESB/ ASCETESB, 1986. 593 p.

BEGON, M; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology: individuals, populations and communities**. 2 ed. Boston : Blackwell Scientific Publications,1990. 945p.

BENEDUZZI, E. **Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para fertilização e adubação de solos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Trabalho de conclusão do curso de Geologia. 90 fl. il. Porto Alegre, 2011.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. Tese de Doutorado em Engenharia Mineral. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 184 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 05 de outubro de 1988**. Contêm emendas Constitucionais posteriores. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. **Decreto Lei n.º 277**, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei n.º 1.985, de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227.htm>. Acesso em 08 de set. 2016.

BRASIL. **Lei n.º 6.567**, de 24 de Setembro de 1978. Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6567.htm>. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Decreto Lei 6.938** de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional de meio ambiente, seus fins e mecanismos de aplicação e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Lei n.º. 7.347** de 24 de julho de 1985. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1985.

BRASIL. **Resolução CONAMA 01/1986**. Dispões sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Decreto Lei 97.632** de 10 de abril de 1989. Dispões sobre a regulamentação do artigo 2º, VIII da Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981 e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Lei n.º 7.990**, de 28 de Dezembro de 1989. Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7990.htm>. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Decreto n.º. 99274/90** de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei n.º 6.902, de 27 de Abril de 1981, e a Lei n.º 6.938, de 31 de Agosto de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, edição de 7 de junho de 1990. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm>. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Decreto 98.812**, de 9 de janeiro de 1990. Regulamenta a Lei 7.805/89 e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D98812.htm>. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Decreto Federal nº 99.556**, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no Território Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1 out. 1990.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

BRASIL. **Lei 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasil, 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. **Lei n.º 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o , incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm >. Acesso em 08 set.2016.

BRASIL. **Lei 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm>. Acesso em 07.09.2015.

BRASIL. **Lei 12.890 de dez de dezembro de 2013**. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm.> Acesso em 07.09.2015.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.

CABRAL, L.; SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; PINTO, J.E.B.P. Retenção de metais pesados em micélio de fungos micorrízicos arbusculares. **Quim. Nova**, vol.33, n.1, 2010.

CALMON, J.L; TRISTÃO, F.A; LORDÉLLO, F.S.S; SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo do corte de granito para produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, **Anais...** Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 64-75.

CAMARGO, A. F. M.; HENRY-SILVA, G. G.; PEZZATO, M. M. **Crescimento e produção primária de macrófitas aquáticas em zonas litorâneas**. In: HENRY, R. (Ed.) *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. São Carlos: Fundibio/Rima, 2003. p. 213-232.

CLARK, R.B. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. **Plant Soil**, Dordrecht, v.192, p. 15-22, 1997.

COLA, G.P.A; SIMÃO, J.B.P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde**. Mossoró, v. 7, n. 4, p. 15-27, outubro, 2012.

CORREA, R.S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para revegetação**. Brasília: Universa, 2007. 186 p.

COSTA, T.A; *et al.* Influência da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, da acidez do solo e de fontes de fósforo no crescimento do milho. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1583-1590, 2002.

CRUZ, C; RIBEIRO, U. **Metodologia Científica – Teoria e Prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

DAJOZ, R. **Ecologia geral**. 2 ed. São Paulo: Editora Vozes, 1973. 474p.

DIAS, E.G.C.S.; SÁNCHEZ, L.E. Deficiências na implementação de projetos submetidos à avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo. **Revista de Direito Ambiental**, n.23, p.163-204, 2001.

EL-SAYED, A. F. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* **Aquaculture**, v. 179, p. 149-168, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006.

FARIA, J.M.R.; DAVIDE, A.C.; BOTELHO, S.A. Comportamento do guapuruvu (*Shizolobium parahyba*) leguminosae - caesalpinoideae e cássia-verrugosa (*Senna multijuga*) leguminosa - caesalpinoideae em área degradada sob dois regimes de nutrição. In: **I Simpósio Sul-americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF. Trabalhos voluntários - geral 3. Foz do Iguaçu, 06 a 10 de novembro, p.499-508, 1994.

FERREIRA, A.C.B.; NUNES, E.C.D. **Reaproveitamento e incorporação de resíduos de mármore em poliamida 66**. São Bernardo do Campo – SP: SENAI Mário Amato, 2007.

FORMIGONI, *et. al.* **Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais**. Disponível em: <<http://junic.unisul.br/2007>>. Acesso em: 17 nov.2015.

GARCIA JÚNIOR, O. Isolation and characterization of *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans* from mineral mines. **Rev. Bras. Microbiol.** 20, p. 1-6. 1991.

GENTELINI, A. L. *et al.*. Produção de biomassa das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Egeria densa* (egeria) em sistema de tratamento de efluente de piscicultura orgânica. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 441-448, abr./jun., 2008.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol.**, 84:489-500, 1980.

GOBBO, L.A.; MELLO, I.S.C.; QUEIRÓZ, F.C.; FRASCÁ, M.H.B.O. **Aproveitamento de Resíduos Industriais**. In: MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A., 2004.

GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Dissertação de Mestrado, 120 fl. il. Porto Alegre, 2000.

HABTE, M. Soil acidity as a constraint to the application of vesicular-arbuscular mycorrhizal technology. In: VARMA, A.; HOCK, B. (Ed.). **Mycorrhiza - structure, function, molecular biology and biotechnology**, Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 1995. p.593-605.

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**. v.56, p. 11-36,2000.

HENRY-SILVA, G. G. **Utilização de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura e possibilidades de aproveitamento da biomassa vegetal**. 2001. 79 fl. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura em Águas Continentais) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

IBAMA - Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de vegetação**. Brasília-DF, 1990. 96p.

INSTITUTO BIOLÓGICO DE SÃO PAULO. **Controle de macrófitas aquáticas**. Disponível em:< http://www.biologico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=72#>. Acesso em: 10.10.2015.

JUNIOR, C.M; MOTTA, J.F.M; ALMEIDA, A.S; TANNO, L.C. **Argilas para cerâmica vermelha** in: LUZ, A.B; FREITAS LINS, F.A. Rochas & Minerais Industriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. 867p.

KOIDE, R.T. & MOSSE, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, 14:145-163, 2004.

LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. **Anais...** 29 Congr. Brasil. Geol., Belo Horizonte, p. 137-145, 1976.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA FILHO, V.X.; BEZERRA, A.C.; SANTOS, F.C.; NOGUEIRA, R.E.F.Q.; FERNANDES, A.H.M.. Estudo da viabilidade técnica da substituição dos p's cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de peças cerâmicas à baixa pressão. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. **Anais...** Natal/RN, Nov.,2000.

MALAVOLTA, E. *et al.*. Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichhornia crassipes*) **An. Esalq**, Piracicaba, 46 (parte 1): 155-162, 1989.

MARGUERON, C.; MELLO, E.F. Estratégias Competitivas para Empresas de Rochas Ornamentais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol. 28-2, 2005.

MARSCHENER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Hohenheim: Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim, 1997.

MARTINS, D. *et al.* Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana-SP). **Planta Daninha**, v. 21, p. 21-25, 2003. Edição Especial.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. The Environmental Impact of Mining in the State of São Paulo. **Estud. av.** [online]. vol.24, n.68, p. 209-220, 2010.

MELLO, I.S.C. **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A., 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-MME. **Perfil de argilas para Cerâmica Vermelha**. Relatório Técnico. Brasília, 2009.

MINOCHA, R. *et al.* Effects of aluminum on DNA synthesis, cellular polyamine, polyamine biosynthetic enzymes and inorganic ions in cell suspension cultures of a woody plant. **Catharauthus roseus**. **Plant Physiol.**, Bethesda, v.85, p.417-424, 1992.

MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. Feira de Santana: **Sitientibus**, n.26, 2002.

NEVES, G., PATRÍCIO, S.M.R., FERREIRA, H.C., SILVA, M.C., Utilização de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos cerâmicos. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...** Florianópolis/SC. Jun., 1999.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1988. 434p.

OLSSON, P.A.; WILHELMSSON, P. The growth of external AM fungal mycelium in sand dunes and in experimental systems. **Plant & Soil**, 226, p.161-169, 2000.

PARREIRA, P.S. **Metodologia de EDXRF e aplicações com um sistema portátil**. LFNATEC - Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada. V.10, n. 01, Jun. 2006. 1ª Ed, Londrina – Paraná.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2008, vol.32, n.3, p. 911-920. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a01v32n3.pdf>>. Acesso em 10 out. 2015.

- PEREIRA, C.D.; ANDRADE, L.R.M.; MACHADO, C.T.T.; MALAQUIAS, J.V.; NASCIMENTO, A.; LOPES, V. Potencial infectivo e densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em solos ultramáficos do Município de Barro Alto, Goiás, Brasil: estudos preliminares. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XIII Reunião Brasileira de Micorrizas, XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo: Fertibio, **Anais...** 2010.
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. Trans. **British Mycol. Soc.**, 55:158-160, 1970.
- PIETERSE, A. H.; MURPHY, K. **Aquatic weeds and management of nuisance aquatic vegetation**. New York: Oxford University Press, 1990. 593 p.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Primack & Rodrigues, 2002. 328p.
- QUINTANA, N.R.G; BUENO, O.C; MELO, W.J.. Custo de transporte do lodo de esgoto para viabilidade no uso agrícola. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 27, n.3, julho-setembro, p.90-96, 2012.
- RAMOS, C.G. *et al* . A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management** p. 30–35, 2014(a).
- RAMOS, C.G. *et al*. Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem. **Comunicações Geológicas**. n. 101, especial III, p.1161-1164, IX CNG/2º CoGePLiP, Porto, 2014(b).
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.
- SANTOS, R. A.; LIRA, B. B; RIBEIRO, M. A. C. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. **Revista Holos**. Ano 28, Vol 5, p.125-135, 2011.
- SANTIAGO, A.S. *et al*. **Diagnóstico ambiental das marmorarias do estado da Paraíba**. XXXI Encontro nacional de engenharia de produção. Belo Horizonte: ABEPRO, 2011.
Disponível em:
<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STP_143_904_18050.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.
- SCHNEIDER, I.A.H. **Biossorção de metais pesados com a biomassa de macrófitos aquáticos**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós graduação em Engenharia de Materiais, Minas e Metalurgia. Porto Alegre: UFRGS, 1995.157 fl.
- SILVA, S.; SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.12, p.1749-1757, 2006.

SILVA, E.A. *et al.* Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um solo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.323-333, 2008.

STAMFORD, N.P.; LIMA, R.A.; LIRA, M.A. & SANTOS, C.E.R.S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and their effects in soil chemical attributes. **World J. Microbiol. Biotechnol.** p. 2061-2066, 2008.

STRECK, E.V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: EMATER-RS, 2009.

SWAINE, M.D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, 75:81-86, 1988.

THEODORO S.H.; LEONARDOS, O. H. **The use of rocks to improve family agriculture in Brazil**. Academia Brasileira de Ciências,78(4): 721-730. **Anais...**2006.

THEODORO S. H. *et al.* **Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the tucuruí degraded land for agroforest reclamation**. Academia Brasileira de Ciências, 85(1):21-23. **Anais...**2013.

TREVISAN, D.C. *et al.* **Avaliação dos indicadores de desenvolvimento do solo em áreas em recuperação**. COPEC – Science and Education Research Council – SHEWC, 2011.

TRISTÃO, F.S.M.; ANDRADE, S.A.L.; SILVEIRA, A.P.D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia: revista de ciências agronômicas**, v.65, n.004, p.649-658, 2006.

VIANA, J.H.M.; SANTOS, E.D. **A fração glomalina e a estabilidade de agregados de diferentes Latossolos**. XVIII Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água- novos caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/handle/item/29839>> Acesso em 10 out. 2016.

VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A.P; WYSS,U; PICHÉ,Y. Inky and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhize fungi. **Applied and environmental microbiology**, v. 64, p. 5004-5007,1998.

YANG, W.Q. The effect of aluminium and media the growth of mycorrhizal and nonmycorrhizal highbush blueberry plantlets. **Plant Soil**, Dordrecht, v.183, p.301- 308, 1996.

YOUNG, C.C. *et al.* The effect of inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on soybean yied and mineral phosphorus utilization in subtropical-tropical soils. **Plant Soil**, Dordrecht, v.95, n.2, p.245-253, 1986

WEST, D.C.; SHUGART, H.H.; BOTKIN, D.B. (Eds.) **Forest succession: concepts and applications**. New York: Springer-Verlag, 1981

APENDICE

Comprovante de publicação de artigo de revisão em Congresso

The screenshot shows a web browser window with the following content:

ROCHAGEM COM USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MARMORARIAS E RESÍDUOS ORGÂNICOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO: UMA REVISÃO

Autores: Geraldo Antônio Reichert

Palavras-chave: ..

Tema: Resíduos sólidos e reciclagem

Idioma: 🇧🇷

Instituição: Instituto Federal Sul-rio-grandense-IFSUL

Email: rogerio.santos@camagua.ifsul.edu.br

Edição: 2016

Resumo:
As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alteração

27º. Encontro Técnico AESABESP

ROCHAGEM COM USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MARMORARIAS E RESÍDUOS ORGÂNICOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO: UMA REVISÃO

Rogério Pires Santos^{1*}
Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais-PPGECAM/Universidade de Caxias do Sul-UCS. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL-Campus Camaquã-SC.
Geraldo Antônio Reichert^{2*}
Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo

07:51
18/10/2016

27º. Encontro Técnico AESABESP

ROCHAGEM COM USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MARMORARIAS E RESÍDUOS ORGÂNICOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO: UMA REVISÃO

Rogério Pires Santos ⁽¹⁾

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais- PPGECAM-Universidade de Caxias do Sul -UCS. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense -IFSUL-Campus Camaquã-RS.

Geraldo Antônio Reichert ⁽²⁾

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS. Engenheiro do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre. Professor do Curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul – UCS

Endereço (1,2): Universidade de Caxias do Sul-UCS - Rua Francisco Getúlio Vargas-1130-Cidade Universitária – CEP: 95.070-560 - Caxias do Sul-RS-e-mail: rogerio.santos@camaqua.ifsul.edu.br.

RESUMO

As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos. Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas pode ser a rochagem, que consiste basicamente na incorporação de rochas/minerais ao solo. Uma fonte considerável de resíduos minerais para a rochagem é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, pois em serrarias que produzem blocos de 20 mm de espessura, de 25 a 30% do bloco de granito são perdidos como partículas finas, e considerando que o mercado brasileiro produz 240.000 toneladas deste resíduo por ano, contabilizando apenas o mármore e o granito, a utilização de resíduos de marmorarias e resíduos orgânicos, como o de *Eichhornia crassipes*, em consórcio, pode gerar um substrato rico em matéria orgânica e mineral, composto por micro e macronutrientes essenciais a nutrição vegetal, favorecendo a recuperação de áreas degradadas por mineração, em especial, proporcionando uma melhoria da qualidade do subsolo exposto pela atividade, com consequente recuperação do local e fechamento do ciclo de um resíduo de igual origem mineral.

PALAVRAS-CHAVE: remineralização, rochagem, impactos ambientais.

INTRODUÇÃO

As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos (MECHI e SÁNCHEZ, 2010).

Pode-se considerar que geralmente toda atividade de mineração resulta em supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Por outro lado, o solo superficial, o qual apresenta maior índice de fertilidade é removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos acarretando em assoreamento dos corpos d'água do entorno, sendo necessário a sua recuperação, preferencialmente paralela à atividade de extração, sempre que possível.

Segundo Silva *et al.* (2008), a degradação de uma área “...ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil do solo é removida ou enterrada e a qualidade do regime de vazão do sistema hídrico, alterada.”

Da mesma forma, o art. 1º do Decreto Federal nº 97.632/1989, que regulamenta o art. 2º, VIII, da Lei Federal nº 6.938/1981, prevendo a inserção do dever de recuperar no processo de estudo da viabilidade ambiental da atividade mineraria, estabelece que:

(...) os empreendimentos que se destinem à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente um plano de recuperação de área degradada.

De acordo com Silva *et al.* (2008, p.324):

Ocorre que algumas obras de engenharia promovem a degradação, pois retiram os horizontes superficiais do solo, principalmente para empréstimo em aterros e barragens, expondo horizontes inferiores, onde o material não apresenta agregação e os processos erosivos se acentuam. A ausência de matéria orgânica e a baixa disponibilidade de nutrientes, nessas situações, não permitem o estabelecimento de vegetação, facilitando a ação dos agentes erosivos.

Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas é a rochagem, que consiste basicamente na incorporação de rochas em forma de pó ou grânulos ao solo. Esta técnica é conhecida mundialmente desde o século XVIII, por meio dos estudos de James Hutton (BACKEY, 1967). No Brasil a técnica é conhecida desde a década de 1950, segundo Beneduzzi (2011).

Em processos naturais de intemperismo das rochas e formação do solo, participam diferentes reações que podem ocorrer de forma simultânea, tornando difícil prever como o mineral irá se dissolver. O aumento do potencial para dissolução da rocha se dá na desintegração estrutural da mesma, facilitando a ação de ácidos orgânicos presentes na rizosfera e permitindo que os nutrientes estejam mais facilmente disponíveis para as plantas (RAMOS, C. G. *et al.*, 2014 a). Considerando que as plantas necessitam de micro e macronutrientes, (estes presentes nas rochas), de fundamental importância são os estudos envolvendo a técnica da rochagem, como forma de minimizar a necessidade de fertilizantes minerais, na sua maioria importados e de alto custo, com grandes implicações econômicas e ambientais negativas.

A lei federal 12.890/2013 estabelece alguns critérios para a rochagem no Brasil, considerando-a uma técnica válida e reconhecida legalmente, definindo o composto produzido como:

Art. 3(...)

e) remineralizador, o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo;

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é estudar e avaliar a eficiência da aplicação da técnica de rochagem a partir de resíduos de atividades de marmorarias, consorciado com resíduos orgânicos para fins de recuperação de áreas degradadas por mineração.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo constitui-se de uma revisão da literatura especializada, realizada entre setembro de 2015 e novembro de 2015, no qual se realizou consulta a livros e periódicos presentes na Biblioteca da Universidade de Caxias do Sul (UCS) e artigos científicos selecionados através de busca no banco de dados *Scielo* e *Web for Science*. Ao todo foram consultadas trinta e cinco referências nacionais e estrangeiras, posteriormente sintetizadas as informações à cerca do tema e analisadas de forma crítica proporcionando uma revisão bibliográfica e definição do estado da arte referente ao tema.

RESULTADOS

Recuperação de áreas degradadas por mineração: processos e técnicas

As atividades de mineração em geral causam degradação ambiental, descaracterizando o ambiente natural, porém as técnicas de restauração ecológica possibilitam a reconstrução de um ambiente onde seja possível, dentro das limitações técnicas, o restabelecimento do equilíbrio ecológico (TREVISAN *et al.*, 2011).

Considerando a recuperação dessas áreas, as mesmas encontram-se constituídas por um substrato quase sempre muito compacto e pobre em nutrientes, e nesta situação, o crescimento das plantas é mais difícil.

Outrossim, o restabelecimento de comunidades vegetais nativas é uma das formas mais utilizadas para recuperar áreas degradadas pela mineração, promovendo um novo uso do solo que visa a conservação ambiental (ALMEIDA e SÁNCHEZ, 2015).

No entanto, existem muitas dificuldades na implementação das medidas propostas nos Programas de Recuperação de Áreas Degradadas - PRADs, sendo frequente a ocorrência de problemas relativos ao manejo do solo e das plantas, o que compromete o sucesso da revegetação (ALMEIDA e SÁNCHEZ, 2015).

A exigência legal de recuperar áreas degradadas pela mineração vigora há anos no Brasil, no entanto persistem dificuldades de ordem técnica e econômica para a condução adequada de recuperação de áreas degradadas. Segundo Bitar (1997) os procedimentos descritos nos PRADs muitas vezes não são seguidos na prática. Segundo Dias e Sánchez (2001) a fiscalização e a avaliação dos resultados efetivos da implantação de medidas de recuperação ambiental em minerações são raramente implementados de modo sistemático, devido a múltiplas razões.

Almeida e Sánchez (2015) descrevem que nos locais de mineração, em geral há dois tipos de áreas, onde é necessária a revegetação:

- (i) áreas de mata ciliar que, segundo o Código Florestal Brasileiro, são áreas de preservação permanente (APP) e devem ser revegetadas exclusivamente com espécies nativas
- (ii) áreas operacionais da mineração, incluindo margens de cavas, áreas de disposição de rejeitos, locais de estocagem, instalações de beneficiamento, oficinas, escritórios e demais construções, cuja revegetação pode, muitas vezes, ser feita com outras espécies e depende da reabilitação planejada e dos objetivos de uso da área após o encerramento da mineração.

Na revegetação de áreas degradadas, tem sido usualmente recomendada a aplicação do modelo sucessional, o qual separa as espécies vegetais em grupos ecológicos com características comuns e funções diferentes na dinâmica da floresta (WEST *et al.*, 1981; SWAINE e WITHMORE, 1988).

Impactos ambientais provenientes da geração de resíduos de marmorarias

Para Santo, Lira e Ribeiro (2012, p. 126):

O reaproveitamento de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável que proporciona um destino definitivo para os resíduos oriundos não só da construção civil, como também de indústrias de mineração, por exemplo, extração de mármore e granito.

Durante o beneficiamento dos blocos de rochas ornamentais, entre 25% a 30% são transformados em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas ao ano de resíduos destas rochas, o que implica em um problema de grande magnitude, caso não sejam tomadas medidas corretas de gestão e destinação final adequadas, incluindo medidas de reutilização deste resíduo (FORMIGONI, 2006).

Considerando a atividade de marmorarias, estas:

(...) produzem enormes quantidades de resíduos em forma de lama, formada por finos a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a

partir das chapas de mármore. Esta lama residual é um rejeito que se tornou um problema ambiental pela quantidade produzida (FERREIRA e NUNES, 2007).

Mello (2004) caracterizou as marmorarias no Estado de São Paulo, apresentando as seguintes características, as quais não divergem da maioria das empresas do ramo no restante do país, destacando-se que:

- a quase totalidade destas empresas é de pequeno e médio porte;
- são empreendimentos essencialmente familiares;
- sua maioria empregam entre cinco e quinze funcionários;
- os treinamentos são desenvolvidos normalmente na própria empresa;
- equipamentos específicos de segurança, como artefatos de filtragem de ar, equipamentos e bancadas de trabalho com design econômico quase sempre estão ausentes;
- o maquinário utilizado tem, na maioria das vezes, de seis a sete anos de funcionamento;
- as perdas de processo chegam a 20% dos insumos pétreos trabalhados;
- o gerenciamento da qualidade dos produtos é praticamente todo feito por observação visual, principalmente em pequenas e médias empresas, mas também não descartado em empresas de maior porte;
- a preocupação com descarte e aproveitamento com resíduo, bem como a emissão de poeira e a geração de ruídos, é baixa, sobretudo em empresas menores.

O setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos principais de resíduos, como se pode visualizar no quadro 1:

Quadro 1: Descrição de resíduos gerados por marmorarias

Resíduo	Características	Volume produzido
Retalhos de rocha	Proveniente de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes retalhos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa.	Perda de 10% a 20%. Estes retalhos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa.
Lama de serraria	Proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas. Esta lama é o resíduo gerado em maior quantidade.	Entre 30% a 40% em volume dos blocos serrados.
Lama de marmoraria	Ocorre em forma de finos formados a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas geradas nas serrarias.	A lama é produzida em 2% do total de volume processado. NBR 10.004: classificado como classe II A (material inerte), em que se faz menção das rochas, no entanto, não faz referência específica aos finos e lama gerados.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Nunes (2007).

Os resíduos gerados por atividades de marmorarias proporcionam significativos impactos ambientais, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais, pois segundo Santiago *et al.* (2015):

A atividade industrial de produção e venda de produtos beneficiados de granito como chapas, ladrilhos e outros produtos com aceitação no mercado externo e interno, torna-se cada vez mais importante, tanto para a geração de saldos positivos na balança de pagamentos do Brasil, quanto para a geração de empregos e renda no país.

Ainda, segundo esses autores, a produção de rochas ornamentais apresentou crescimento nas últimas décadas, sendo os estados de maior produção: Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia.

As rochas ornamentais comercialmente mais importantes são os granitos que podem ser colocados em partes externas e interna da construção civil, por serem mais resistente que o mármore, e sua cor não se alterarem com intempéries, sendo tratados desde tempos remotos como artigos de luxo em construções (SANTIAGO *et al.*, 2015).

A indústria de rochas ornamentais está relacionada com a indústria de construção civil, e também é responsável por diversos impactos ambientais desde a extração mineral até a fase de polimento das peças. Esses impactos incluem poeira, ruído e vibrações, lama e fragmentos de rocha.

Diante desta realidade vários autores tem pesquisado sobre a utilização destes resíduos, a exemplo de Calmon *et al.* (1997); Neves *et al.* (1999); Lima Filho *et al.* (1999) e Gonçalves (2000).

Considerações sobre a rochagem

Segundo Santo, Lira e Ribeiro (2012), o granito é uma rocha plutônica ácida, com aproximadamente 75% de sílica; cristais de 1 a 5 mm, ou maiores, considerando estes autores que existe uma grande importância no estudo de aplicações de resíduos na construção civil, pois:

(...) a geração destes não ocorre apenas nos canteiros de obra, mas também em outros setores que fornecem matéria-prima para a indústria da construção. Sendo assim, o montante de resíduos gerados pelas empresas de britagem de granito pode ser reaproveitado e inserido novamente no processo produtivo, oferecendo uma nova possibilidade de comercialização (SANTO; LIRA e RIBEIRO, 2012. p. 134).

A rochagem é uma técnica que vem sendo utilizada em escala internacional para suprir necessidade de fertilização de solos para fins de agricultura, mais difundida entre agricultores que cultivam produtos orgânicos, sendo alvo de inúmeras pesquisas nesta área. Entretanto, para fins de recuperação de áreas degradadas, ainda carece de aprofundamento.

Segundo Leonardos *et al.* (1976), a rochagem proporciona a diversificação de fontes de nutrientes, promovendo novas condições de suprimento de minerais, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo considerada como um tipo de remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para reformular solos pobres ou lixiviados, com fundamento básico na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e conseqüentemente na produtividade sustentável.

Experimento conduzido por Ramos *et al.* (2004 b), em Nova Prata, RS, a partir de resíduos de rochas vulcânicas ácidas, demonstraram que todos os macronutrientes e a maioria dos micronutrientes descritos na literatura estiveram presentes em quantidades variáveis na amostra estudada, evidenciando um possível potencial para liberação de nutrientes ao solo e que a utilização de soluções de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, testadas no estudo referido, como agentes extratores, mostraram-se eficientes na disponibilização de nutrientes minerais às plantas, corroborando estudos anteriores sobre a técnica.

Da mesma forma, Silva *et al.* (2008), em experimento realizado em área degradada oriunda da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, apresentou consideráveis resultados, utilizando resíduos de basalto consorciados com resíduos de esterco bovino ou plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*), ou lodo de esgoto, proporcionando melhoramento nas condições químicas do subsolo e para as variáveis microbiológicas, concluindo que a rochagem realizada com basalto proporcionou resultados positivos.

Wang *et al.* (2000), na condução de experimento com a cultura de arroz realizado na China, relacionaram o crescimento de algumas plantas com a oferta de potássio proveniente da aplicação da técnica de rochagem a partir de gnaiss, concluindo que a presença de potássio influenciou no crescimento da cultura de arroz e que o crescimento das plantas se mostrava mais expressivo nas porções onde a fração granulométrica mais fina

era dominante, corroborando outros estudos em que a rochagem promoveu o rejuvenescimento de solos, especialmente comparando-se o efeito a maior proporção de silte.

No entanto, devido aos baixos teores solúveis de nutrientes disponíveis em pó de rochas, esse material tem sido pouco utilizado como fertilizante para as plantas, encontrando resistência por parte dos agricultores que adotam a agricultura convencional. A maior desvantagem está relacionada à dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para os vegetais (HARLEY; GILKES, 2000).

Porém, pode apresentar vantagens quando da utilização desses materiais, pois além de permitir que pequenas reservas ou resíduos de exploração sejam aproveitados, constitui-se em adubação mais completa e com vários nutrientes (COLA e SIMÃO, 2012).

Uma alternativa para aumento da disponibilidade de nutrientes de rochas é a solubilização biológica. Diversos microrganismos conseguem solubilizar nutrientes, através da decomposição de minerais silicados (GARCIA JUNIOR, 1991). As bactérias do gênero *Acidithiobacillus* são ótimas oxidantes do enxofre, capazes de produzir ácido sulfúrico (SO_4^{2-}) a partir do enxofre elementar, proporcionando a liberação de fósforo e potássio insolúveis, por efeito do baixo pH (GARCIA JÚNIOR, 1991).

Aliado a este fato, a aplicação de enxofre elementar com bactérias do gênero *Acidithiobacillus* ao solo proporciona uma maior produção de SO_4^{2-} que é requerido em grandes quantidades pelas plantas, e seguido pela ação direta e indireta do H_2SO_4 sobre o pH do solo, especialmente para aplicação em solos de elevado pH (STAMFORD *et al.* 2008).

Assim, segundo Stamford *et al.* (2008), o ácido sulfúrico produzido na reação microbiológica de bactérias oxidantes do enxofre pode atuar sobre as rochas disponibilizando os nutrientes pela redução do pH.

Em um subsolo exposto, mesmo de uma área degradada, conserva atividade microbiológica, embora em menor grau, necessitando assim, de complementação em matéria orgânica.

Outrossim, Ramos *et al.* (2014 b) obtiveram bons resultados, concluindo que houve disponibilidade de nutrientes para o meio aquoso indicado e que todas as amostras liberaram macronutrientes e micronutrientes importantes para o crescimento das plantas, além da não disponibilidade de alumínio para o meio aquoso, o que é uma grande vantagem, porque o alumínio é um elemento tóxico para as plantas.

Uma fonte considerável de resíduos minerais para a rochagem é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, pois segundo Gonçalves (2000), em serrarias que produzem blocos de 20 mm de espessura, de 25 a 30% do bloco de granito são perdidos como partículas finas, e considerando que o mercado brasileiro produz anualmente 240.000 toneladas deste resíduo por ano, considerando o mármore e o granito. Outrossim, considerando-se que as empresas do setor são em sua maioria pequenas e médias empresas, que utilizam equipamentos defasados, a geração pode ainda ser maior, gerando para estas um passivo ambiental considerável, pois a geração deste resulta em um resíduo passível de contaminação dos solos e assoreamento de recursos hídricos.

Classificação de resíduos sólidos gerados por marmorarias

Os resíduos sólidos de forma geral se não manejados de forma correta podem causar uma série de impactos ambientais negativos. Desta forma a lei federal 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu uma série de diretrizes e objetivos referentes ao tema.

A Norma NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Quanto à classificação, podem ser classificados em resíduo classe I - Perigoso; resíduo classe II – Não perigoso: resíduos classe II A- não inerte; resíduos classe II B- Inerte.

Os resíduos gerados por empresas beneficiadoras de rochas ornamentais podem ser classificados seguindo a metodologia da NBR 10.004/2004, como resíduos sólidos não perigosos, classe II A, não inerte, segundo Gonçalves (2000).

A composição química de resíduos provenientes de corte de blocos de granito (RCG), para fins ornamentais, segundo Gonçalves (2000), a partir de revisão de outros trabalhos é apresentada na Tabela 1:

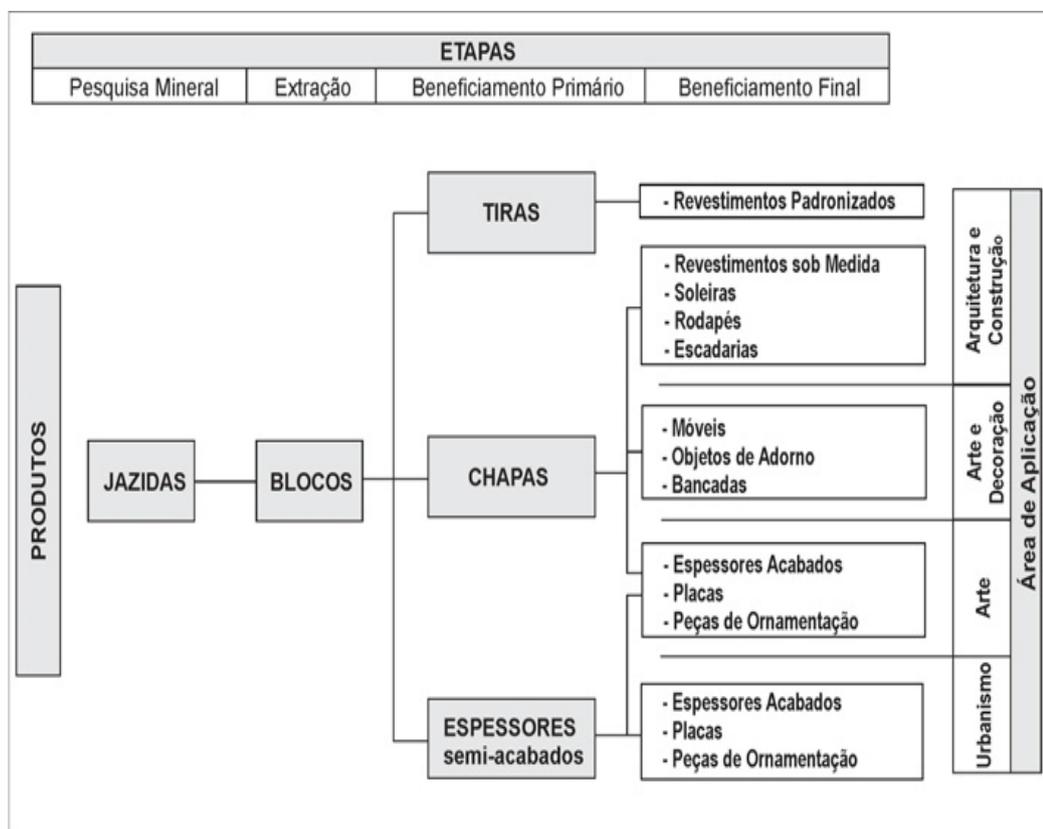
Tabela 1: Caracterização química de amostras de RCG estudadas por diferentes autores

Teor (%)	Calmon (1997)	Gonçalves (2000)	Moreira <i>et al</i> (2000)
SiO ₂	59,95	59,62	65,95
Fe ₂ O ₃	6,05	9,49	7,89
Al ₂ O ₃	10,28	12,77	12,84
CaO	6,51	4,83	3,01
MgO	3,25	1,96	1,47
K ₂ O	4,48	5,30	4,19
TiO ₂	0,92	---	0,93
SO ₃	---	0,03	---
Na ₂ O	3,39	2,72	2,39

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2000.

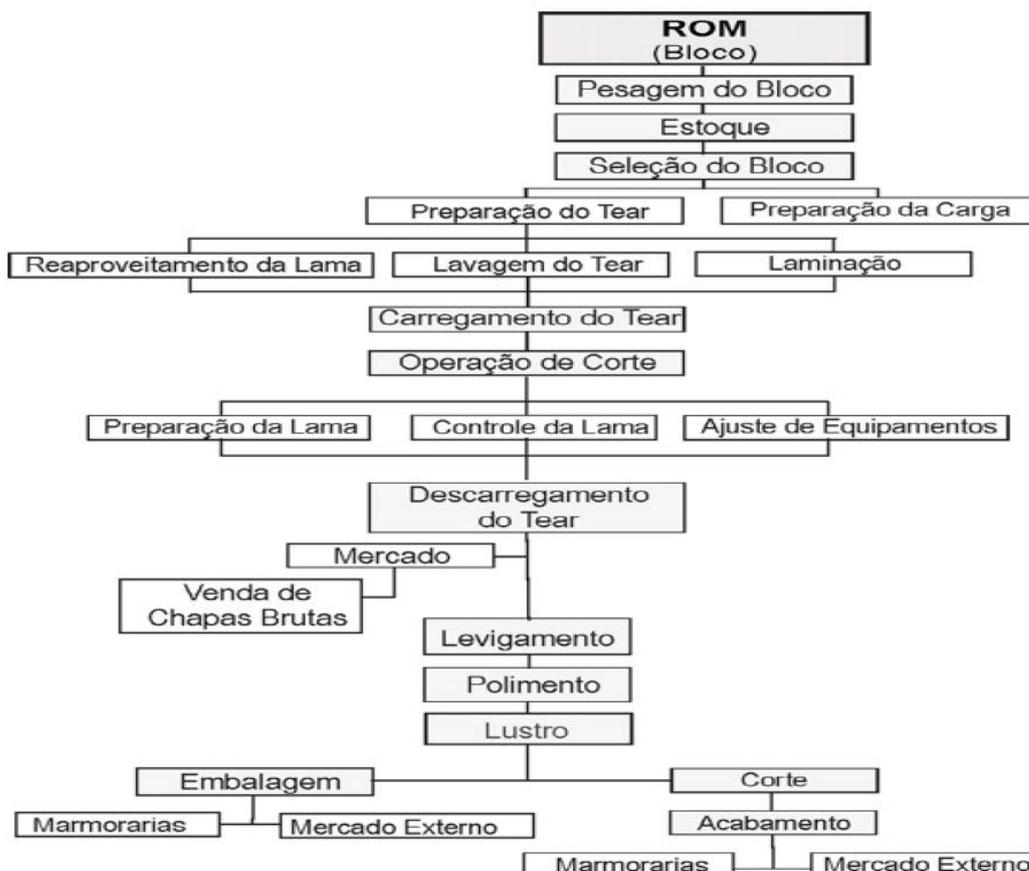
Nas Figuras 1 e 2, podem-se visualizar os fluxogramas de processo produtivo e acabamento de rochas ornamentais.

Figura 1: Etapas e Principais Produtos na Indústria de Rochas Ornamentais



Fonte: Margueron & Mello, 2005.

Figura 2: Fluxograma do Processo de Beneficiamento Primário e Secundário de Rochas Ornamentais



Fonte: Margueron & Mello, 2005.

O processo industrial de produção de rochas ornamentais, como visto nas Figuras 1 e 2, gera resíduos finos, onde predominantemente há pó de rochas, e em quantidades insignificantes, resíduos metálicos provenientes do desgaste da serra de corte da rocha e granalha. Este resíduo apresenta-se desta forma já beneficiado, pronto para o uso em rochagem, o que viabiliza economicamente o processo, embora possam ser também utilizados resíduos provenientes da mineração e resíduos maiores das fases de acabamento, como fragmentos, pedaços de rochas e cacos, os quais podem passar por uma fase de trituração e moagem.

POSSIBILIDADE DE USO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS CONSORCIADOS COM RESÍDUOS DE ROCHAS

Diversos resíduos orgânicos de origem vegetal podem ser utilizados como fonte de nutrientes para atividade agrícola, por tratar-se de processo natural de ciclagem de nutrientes (MALAVOLTA,1989).

Um subsolo exposto, como o de uma área degradada por mineração, ainda pode possuir uma atividade de micro-organismos, principalmente bacteriana, no entanto muito baixa e lenta para promover a restauração natural de um ecossistema, por tratar-se de um processo ecológico de sucessão, sendo necessária assim uma ação proativa neste sentido (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Uma alternativa pode ser a utilização de resíduos orgânicos, agrícolas, sanitários ou industriais. Neste sentido, existe a possibilidade do uso de plantas aquáticas, macrófitas que se tornam um problema onde ocorrem, gerando, por exemplo, eutrofização.

Um dos problemas deste processo é a elevada proliferação das macrófitas aquáticas, que podem impedir os múltiplos usos dos recursos hídricos como, por exemplo, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, pesca e recreação (Figura 3).

Figura 03: Detalhe de eutrofização causada pela proliferação de macrófita *Eichhornia crassipes* em represa.



Fonte: Instituto Biológico de São Paulo (2015).

Um grande problema ambiental provocado pela proliferação de macrófitas aquáticas, de forma indireta, é o resultado da remoção destas dos locais de ocorrência e a conseqüente disposição inadequada. Segundo o Instituto Biológico de São Paulo (2015):

(...) a planta daninha aquática que causa mais problemas no Brasil é o aguapé (*Eichhornia crassipes*), uma espécie muito vigorosa que dobra sua área a cada 6-7 dias, quando em condições ótimas de crescimento, chegando a produzir 480 toneladas de massa verde/ha/ano. Em segundo lugar aparece a alface d'água (*Pistia stratiotes*), uma espécie que cobre totalmente o ambiente aquático, desenvolvendo-se rapidamente nos ambientes poluídos e provocando profundas alterações no ecossistema.

Assim, a possibilidade de uso destas plantas, como *Eichhornia crassipes*, na incorporação ao solo em consórcio com resíduos de marmorarias, pode ser uma alternativa de solução promissora na destinação final destes resíduos.

Malavolta (1989) efetivou a determinação química dos micronutrientes e macronutrientes presentes na planta de *Eichhornia crassipes* com fins de utilização da mesma como adubo verde, considerando a sua viabilidade para tal fim, devido às altas concentrações de matéria orgânica e minerais, sendo a sua composição: N: 10.3 mg; P:1.6 mg; K:49.0 mg; Ca:25.8 mg; Mg:10.5 mg; S:3.3 mg; B:25.0 mg; Ca:10.436 mg; C:1.9 mg; Cu:10.2 mg; Fe:8.969 mg; Mn:1.415 mg; Mo:2.3mg; Ni:4.0 mg e Zn:41.6mg.

Em solos que recebem resíduos de origem vegetal, normalmente o Ca e o Mg aumentam em solução, quando o pH é menor que 6,0. Assim, em solos com altos teores de Al pode haver complexação desse elemento com ânions orgânicos, tornando-o não tóxico para as plantas (PAVINATO e ROSOLEM, 2008), o que diminui o efeito ácido do Al proveniente de rochas vulcânicas ácidas.

Desta forma o potencial de *Eichhornia crassipes* como complemento na composição de um substrato orgânico composto de resíduos de rochas pode ser promissor na recuperação de áreas degradadas, como corroborado por Silva *et al* (2008), favorecendo a reutilização/reciclagem de resíduos de mineração, agrícolas ou sanitários, com o aproveitamento de resíduos minerais provenientes de atividades de mineração e/ou beneficiamento de rochas e resíduos provenientes de limpeza de represas, lagos e canais de irrigação/drenagem, que contém grandes quantidades de *Eichhornia crassipes*, a qual muitas vezes é um problema econômico e ambiental para estes recursos hídricos, demandando custos para remoção e disposição destes resíduos.

Considerando o resíduo orgânico *Eichhornia crassipes*, este pode aumentar devido à massa verde crescer 15% ao dia, acumulando 800 kg por hectare, dobrando-a a cada seis ou sete dias. Sob condição ótima, produz

até 480 toneladas de massa verde por hectare/ano, com um incremento de volume de 4,8% ao dia (GENTELINI *et al.*, 2008). Esta característica pode conferir em condições indesejadas, sério problema sanitário em represas, lagos, canais de irrigação ou drenagem, gerando um resíduo orgânico a ser corretamente destinado.

Outro ponto considerável para a consorciação de matéria orgânica vegetal à matéria mineral, para fins de rochagem é o fato de proporcionar um acréscimo de nutrientes e favorecer a formação de um meio propício ao desenvolvimento da vida microbológica, potencializando os efeitos da remineralização e formação do solo (SILVA *et al.*, 2008).

Desta forma, promove-se a recuperação do solo degradado, favorecendo a sucessão ecológica necessária ao processo de recuperação, com o estabelecimento inicial da biomassa, formações campestres de cobertura vegetal e posteriormente a colonização por espécies arbustivo-arbóreas.

CONCLUSÕES

Diante do exposto a utilização de resíduos de marmorarias e resíduos orgânicos de *Eichhornia crassipes*, em consórcio, pode gerar um substrato rico em matéria orgânica e mineral, composto por micro e macronutrientes essenciais a nutrição vegetal, favorecendo a recuperação de áreas degradadas por mineração, em especial, proporcionando uma melhoria da qualidade do subsolo exposto pela atividade com consequente recuperação do local, pois a rochagem proporciona uma melhoria da qualidade dos solos, sendo que em condições apropriadas os minerais dispostos permanecem por mais tempo no solo, e são absorvidos lentamente pelas plantas, promovem retenção de água e recuperação do solo seguindo os pressupostos do desenvolvimento sustentável.

RECOMENDAÇÕES

A partir das conclusões apresentadas, recomenda-se a efetivação de pesquisas sobre o tema, a fim de testar as hipóteses descritas, colaborando desta forma para a correta gestão e destinação de resíduos minerais, eliminando assim em caso de confirmação destas, passivos ambientais, proporcionando soluções técnicas, locais e sustentáveis para resíduos gerados pela cadeia produtiva de mineração e beneficiamento de rochas ornamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, R. O. P. O; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação de desempenho. Revista *Árvore*, vol 29, nº 001, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, MG. 2005.
2. BENEDUZZI, E. Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para fertilização e adubação de solos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Trabalho de conclusão do curso de Geologia. 90 fl. il. Porto Alegre. 2011.
3. BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado em Engenharia Mineral. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997.
4. BRASIL. Lei 12.890 de dez de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm. Acesso em 07.09.2015.
5. CALMON, J.L; TRISTÃO, F.A; LORDÊLLO, F.S.S; SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo do corte de granito para produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, Anais... Salvador, BA: ANTAC. 1997.
6. COLA, G.P.A; SIMÃO, J.B.P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. Revista Verde. Mossoró, v. 7, n. 4, p. 15-27, out-dez.2012.
7. DIAS, E.G.C.S.; SÁNCHEZ, L.E. Deficiências na implementação de projetos submetidos à avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo. Revista de Direito Ambiental, n.23, p.163-204.2001.
8. FERREIRA, A. C. B.; NUNES, E. C. D. Reaproveitamento e incorporação de resíduo de mármore em poliamida 66. 2007.
9. FORMIGONI, *et. al.* Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. Disponível em: <http://junic.unisul.br/2007>. Acesso em: 17.11.2015.

10. GARCIA JÚNIOR, O. Isolation and characterization of *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans* from mineral mines. *Rev. Bras. Microbiol.* 20, p. 1-6. 1991.
11. GENTELINI, A. L. *et al.* Produção de biomassa das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Egeria densa* (egeria) em sistema de tratamento de efluente de piscicultura orgânica. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 29, n. 2, p. 441-448, abr./jun..2008.
12. GOBBO, L.A.; MELLO, I.S.C.; QUEIRÓZ, F.C.; FRASCÁ, M.H.B.O. Aproveitamento de Resíduos Industriais. In: MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A.2004.
13. GONÇALVES, J.P. Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Dissertação de Mestrado, 120 fl. il. Porto Alegre.2000.
14. 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.* v.56, p. 11-36.2000.
15. INSTITUTO BIOLÓGICO DE SÃO PAULO. Controle de macrófitas aquáticas. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=72#. Acesso em: 10.10.2015.
16. LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. *Anais... 29 Congr. Brasil. Geol.*, Belo Horizonte, p. 137-145.1976.
17. LIMA FILHO, V.X., BEZERRA, A.C., SANTOS, F.C., NOGUEIRA, R.E.F.Q., FERNANDES, A.H.M.. Estudo da viabilidade técnica da substituição dos p's cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de peças cerâmicas à baixa pressão. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. *Anais... Natal/RN*, Nov.2000.
18. MALAVOLTA, E. *et al.* Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichhornia crassipes*) *An. Esalq*, Piracicaba, 46 (parte 1): 155-162.1989.
19. MARGUERON, C.; MELLO, E.F. Estratégias Competitivas para Empresas de Rochas Ornamentais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ.* Vol. 28-2 .2005.
20. MECCHI, A.; SANCHES, D. L. The Environmental Impact of Mining in the State of São Paulo. *Estud. av.* [online]. vol.24, n.68, p. 209-220.2010.
21. MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A.2004.
22. NEVES, G., PATRÍCIO, S.M.R., FERREIRA, H.C., SILVA, M.C., Utilização de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos cerâmicos. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. *Anais... Florianópolis/SC.* Jun.,1999.
23. PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2008, vol.32, n.3, p. 911-920. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a01v32n3.pdf>. Acesso em 10.10.2015.
24. RAMOS, C.G. *et al.* . A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* p. 30–35.2014(a).
25. RAMOS, C.G. *et al.* Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem. *Comunicações Geológicas.* n. 101, especial III, p.1161-1164, IX CNG/2º CoGePLiP, Porto, 2014(b).
26. SANTO, R. A.; LIRA, B. B e RIBEIRO, M. A. C. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. *Revista Holos.* Ano 28, Vol 5, p.125-135. 2011.
27. SANTIAGO, E. Q. R.; LIMA, P. R. L.; LEITE, M. B.; TOLEDO FILHO, R. D. Mechanical behavior of recycled lightweight concrete using EVA waste and CDW under moderate. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v.2, p.211-221. 2009.
28. SILVA, E.A. *et al.* Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um solo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.323-333.2008.
29. STAMFORD, N.P.; LIMA, R.A.; LIRA, M.A. & SANTOS, C.E.R.S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and their effects in soil chemical attributes. *World J. Microbiol. Biotechnol.* p. 2061-2066.2008.
30. SWAINE, M.D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio*, 75:81-86.1988.
31. THEODORO S.H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Academia Brasileira de Ciências*, 78(4): 721-730. *Anais...2006*.
32. THEODORO S. H. *et al.* Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the tucuruí degraded land for agroforest reclamation. *Academia Brasileira de Ciências*, 85(1):21-23. *Anais...2013*.
33. TREVISAN, D.C. *et al.* Avaliação dos indicadores de desenvolvimento do solo em áreas em recuperação. COPEC – Science and Education Research Council – SHEWC.2011.

34. WANG, J.G., ZHANG, F. S., ZHANG, X. L.; CAO. Y. P. Release of potassium from Kbearing minerals: Effect of plant roots under P deficiency. In: HINSINGER, P. (edit.) Nutrient cycling in agroecosystems. Kluwer Academic Publishers. p. 45-52.2000.
35. WEST, D.C.; SHUGART, H.H.; BOTKIN, D.B. (Eds.) Forest succession: concepts and applications. New York: Springer-Verlag.1981.

ANEXO I

Comprovante de submissão de artigo
Artigo I

25/01/2017

ScholarOne Manuscripts

 Cerâmica Home Author Review

Submission Confirmation

 Print

Thank you for your submission

Submitted to
Cerâmica**Manuscript ID**
CE-2017-0017**Title**
ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM CONSÓRCIO COM *Eichhornia crassipes* NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE ARGILA VERMELHA**Authors**
Santos, Rogério**Date Submitted**
25-Jan-2017

ANEXO II

Comprovante de submissão do
artigo II



REVISTA **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**



UNISUL
CONHECIMENTO PARA CADA FASE DA VIDA.
www.portaldeperiodicos.unisul.br
ISSN 2238-8753

[CAPA](#) | [SOBRE](#) | [PÁGINA DO USUÁRIO](#) | [PESQUISA](#) | [ATUAL](#) | [ANTERIORES](#) | [NOTÍCIAS](#)
[PORTAL DE PERIÓDICOS](#) | [CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL](#)
[UNISULVIRTUAL](#) | [ESTATÍSTICAS](#) | [COBEE](#)

Capa > Usuário > Autor > Submissões > #4506 > **Resumo**

#4506 Sinopse

[RESUMO](#) | [AVALIAÇÃO](#) | [EDIÇÃO](#)

Submissão

Autores	Rogério Pires Santos	
Título	AVALIAÇÃO DA TAXA DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOLO EM CONSÓRCIO COM RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO E MACRÓFITAS AQUÁTICAS	
Documento original	 4506-10889-1-SM.DOC 2017-02-02	
Docs. sup.	 4506-10890-1-SP.DOC 2017-02-02	INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR.
Submetido por	Sr. Rogério Pires Santos 	
Data de submissão	fevereiro 2, 2017 - 08:14	
Seção	Artigos	
Editor	Nenhum(a) designado(a)	

Situação

Situação	Aguardando designação	
Iniciado	2017-02-02	
Última alteração	2017-02-02	

Ajuda do sistema

Usuário

Logado como:
rogeriosantos1977

- Meus periódicos
- Perfil
- Sair do sistema

Autor

Submissões

- Ativo (1)
- Arquivo (0)
- Nova submissão

Conteúdo da revista

Pesquisa

Escopo da Busca

Todos ▾

Pesquisar

Procurar

- Por Edição
- Por Autor
- Por título
- Outras revistas

ANEXO III

Laudo de análise de tecido vegetal *Eichhornia crassipes*

Produtor: Mestrado Rogério Pires Santos

Solicitante: Mestrado de Engenharia e
Ciências Ambientais

Município: Nova Petrópolis

Endereço: --X--

Página: 1/1

Localidade: Bairro Bela Vista

Entrada: 16/09/2016

Emissão: 18/10/2016

Responsável pela coleta da(s) amostra(s): Cliente conforme procedimento de coleta disponível em:
<http://www.ucs.br/site/midia/arquivos/instrucoes-de-coleta-LQFS.pdf>

Registro	Identificação da Amostra	Gleba	Área (ha)	Sistema de cultivo	Georreferenciamento
286	Aguapé (Eichionia crassips)	--X--	--X--	--X--	--X--

Registro	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/kg					
286	23,8	10,2	54,8	11,6	3,0	2,5

Registro	Zn	Cu	Mn	Fe	B	Na*
	mg/kg					
286	141,9	29,1	54,0	120,7	30,4	385,3

P, K, Na, Cu, Zn, Ca, Mg, S, Fe - determinados por digestão nítrico - perclórica.

B - determinado por calcinação.

N - determinado por digestão sulfúrica.

CONSULTE UM AGRÔNOMO PARA OBTER AS RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO.

*Ensaio não reconhecido. Os demais ensaios são reconhecidos pela NBR/ISO17025:2005 pela Rede Metrológica -RS, de acordo com o certificado de reconhecimento nº 3.410.

Laboratório certificado pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ROLAS).

Laboratório certificado pelo Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal (PIATV) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ).

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente a(s) amostra(s) analisada(s). A(s) contraprova(s) permanecerá(ão) à disposição do cliente por 30 (trinta) dias consecutivos a contar da data de emissão do relatório de Ensaio. Após este período a(s) mesma(s) será(ão) descartada(s) sem aviso prévio. Não é permitida a reprodução parcial deste documento.

Metodologia: Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

 LUCIANA DUARTE ROTA
 Responsável Técnico
 CREA nº 97266

ANEXO IV**Laudos de análise química e fertilidade de solo**

Produtor: Mestrado Rogério Pires Santos

Solicitante: Mestrado de Engenharia e
Ciências Ambientais

Município: Cristal

Endereço: --X--

Página: 1/1

Localidade: Bairro Crespo

Entrada: 16/09/2016

Emissão: 01/11/2016

Responsável pela coleta da(s) amostra(s): Cliente conforme procedimento de coleta disponível em:

<http://www.ucs.br/site/midia/arquivos/instrucoes-de-coleta-LQFS.pdf>

Registro	Identificação da Amostra	Gleba	Área (ha)	Sistema de cultivo	Profundidade	Georef.
6693	Área de mineração de argila vermelha	Planossolo háplico	--X--	--X--	--X--	--X--

Diagnóstico para acidez do solo e calagem.

pH em água na proporção 1:1; Ca, Mg, Al e Mn totáveis extraídos com KCl 1 mol/L. Índice SMP estimado pela solução TSM.

Registro	pH em água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{efetiva}	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol _d /dm ³					Al	Bases	
6693	5,2	3,2	2,2	1,3	9,7	6,9	18,8	36,8	5,3

Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S.

Argila determinada pelo método do decastramento. MO por digestão úmida com dicromato. S-SO₄ extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg/L de P.

P, K e Na extraídos pelo método de Mehlich-1.

Registro	MO	Argila	Textura	S	P-Mehlich	P-resina ^a	K	CTC _{pH7}	K
	% m/v			mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	cmol _d /dm ³	mg/dm ³	
6693	1,9	47	2	2,3	1,4	--X--	0,235	15,3	92,0

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares.

Zn e Cu extraídos com Mehlich-1 e B extraído com água quente.

Registro	Cu	Zn	B	Mn	Na	Fe ^a	Relações Molares		
	mg/dm ³					-- % m/v --	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6693	1,4	1,0	0,4	27,1	36,0	--X--	1,5	13,6	9,4

CONSULTE UM AGRÔNOMO PARA OBTER AS RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO.

^a Ensalos não reconhecidos. Os demais ensaios são reconhecidos pela NBR/ISO 17025:2005 pela Rede Metroológica - RS, de acordo com o certificado de reconhecimento nº 3.410.

Laboratório certificado pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e de Teúdo Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ROLAS).

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente a(s) amostra(s) analisada(s). A(s) contraprova(s) permanecerá(ão) à disposição do cliente por 30 (trinta) dias consecutivos a contar da data de emissão do relatório de Ensaio. Após este período a(s) mesma(s) será(ão) descartada(s) sem aviso prévio. Não é permitida a reprodução parcial deste documento.

Metodologia: Tedesco, M.J., et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. Boletim técnico nº 05, ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995, 174p. Il.

Responsável Técnico - LUCIANA DUARTE ROTA - CREA nº 97266

Produtor: Mestrado Rogério Pires Santos

Solicitante: Mestrado de Engenharia e Ciências Ambientais

Município: Cristal

Endereço: --X--

Página: 1/1

Localidade: Bairro Crespo

Entrada: 09/12/2016

Emissão: 19/12/2016

Responsável pela coleta da(s) amostra(s): Cliente conforme procedimento de coleta disponível em:

<http://www.ucs.br/site/midia/arquivos/instrucoes-de-coleta-LQFS.pdf>

Registro	Identificação da Amostra	Gleba	Área (ha)	Sistema de cultivo	Profundidade	Georef.
7172	n° 08 T	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
7173	n° 16 T	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
7174	n° 32 T	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--

Diagnóstico para acidez do solo e calagem.

pH em água na proporção 1:1; Ca, Mg, Al e Mn totáveis extraídos com KCl 1 mol/L. Índice SMP estimado pela solução TSM.

Registro	pH em água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{efetiva}	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol _e /dm ³					Al	Bases	
7172	5,3	3,6	1,4	0,5	6,9	6,0	8,3	44,5	5,6
7173	5,6	4,0	2,2	0,3	5,5	7,0	4,3	55,1	5,8
7174	5,7	4,3	2,3	0,2	4,9	7,3	2,7	59,0	5,9

Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S.

Argila determinada pelo método do densímetro. MO por digestão úmida com dicromato. S-SO₄ extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg/L de P.

P, K e Na extraídos pelo método de Mehlich-1.

Registro	MO	Argila	Textura	S	P-Mehlich	P-resina*	K	CTC _{ph7}	K
	% m/v			mg/dm ³	mg/dm ³	---	cmol _e /dm ³	mg/dm ³	
7172	2,1	39	3	12,1	11,8	--X--	0,512	12,4	200,0
7173	2,2	39	3	12,3	18,0	--X--	0,527	12,2	206,0
7174	2,2	41	2	13,1	20,6	--X--	0,486	12,0	190,0

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares.

Zn e Cu extraídos com Mehlich-1 e B extraído com água quente.

Registro	Cu	Zn	B	Mn	Na	Fe*	Relações Molares		
	mg/dm ³				--- % m/v ---			Ca/Mg	Ca/K
7172	2,2	3,2	0,4	26,0	>15,0	--X--	2,6	7,0	2,7
7173	3,7	3,7	0,4	28,0	>15,0	--X--	1,8	7,6	4,2
7174	5,6	4,9	0,5	31,0	>15,0	--X--	1,9	8,8	4,7

CONSULTE UM AGRÔNOMO PARA OBTER AS RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO.

* Ensaio não reconhecido. Os demais ensaios são reconhecidos pela NBR/ISO17025:2005 pela Rede Metrologica - RS, de acordo com o certificado de reconhecimento nº 3.410.

Laboratório certificado pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ROLAS).

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente a(s) amostra(s) analisada(s). A(s) contraprova(s) permanecerá(ão) à disposição do cliente por 30 (trinta) dias consecutivos a contar da data de emissão do relatório de Ensaio. Após este período a(s) mesma(s) será(ão) descartada(s) sem aviso prévio. Não é permitida a reprodução parcial deste documento.

Metodologia: Tedesco, M.J., et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. Boletim técnico nº 05, ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995, 174p. il.

Responsável Técnico - LUCIANA DUARTE ROTA - CREA nº 97266