

Anais

III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM

Editores

Adilson Luis Bamberg

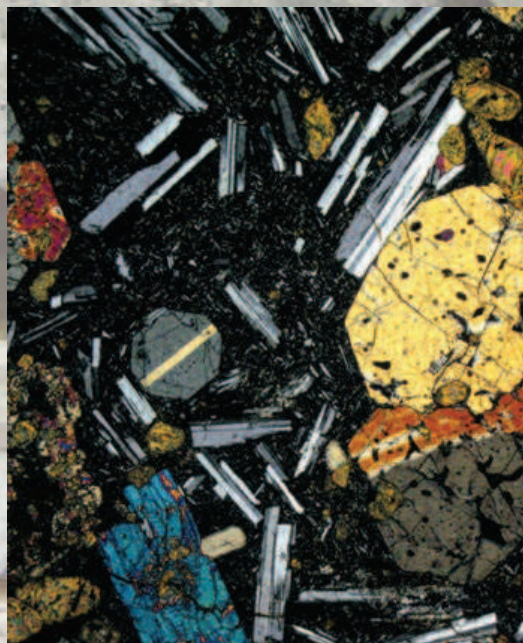
Carlos Augusto Posser Silveira

Éder de Souza Martins

Magda Bergmann

Rosane Martinazzo

Suzi Huff Theodoro



DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: EXPERIÊNCIAS DA EMBRAPA CLIMA TEMPERADO

Rosane Martinazzo¹; Adilson Luis Bamberg¹; Carlos Augusto Posser Silveira¹

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Clima Temperado - rosane.martinazzo@embrapa.br, adilson.bamberg@embrapa.br, augusto.posser@embrapa.br

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos e biomassa para produção de fibras e energia tem aumentado também a demanda do setor produtivo por insumos, especialmente fertilizantes. Neste setor o país enfrenta grandes desafios, pois a produção nacional destes insumos está muito aquém da necessidade atual (ANDA, 2016). Atualmente, o atendimento da demanda se dá principalmente pela importação de matérias-primas concentradas e, em geral, com alta solubilidade, o que pode acarretar altos custos para o setor produtivo e perdas consideráveis de nutrientes no sistema solo-água-atmosfera nas condições edafoclimáticas do país. Neste sentido, é importante que estratégias para uso eficiente dos nutrientes sejam adotadas pelo setor agrícola, incluindo práticas conservacionistas de manejo do solo (rotação de culturas, uso de plantas cicladoras de nutrientes, plantio direto), observância dos níveis de nutrientes do solo e das recomendações técnicas para a produção de cada cultura, o uso de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes, etc. Contudo, além do uso racional das matérias-primas atualmente disponíveis, a busca por novas fontes de nutrientes é de grande importância, e isto inclui tanto as descobertas de novos depósitos minerais quanto o aproveitamento de coprodutos de processos agroindustriais e da mineração. A utilização destas matérias-primas atualmente descartadas pela indústria (Sabalsagaray, 1998; Abisolo, 2009; Mayer, 2009; Martinazzo et al., 2015) poderia diminuir os custos de produção agrícola pela oferta de insumos regionais de menor custo.

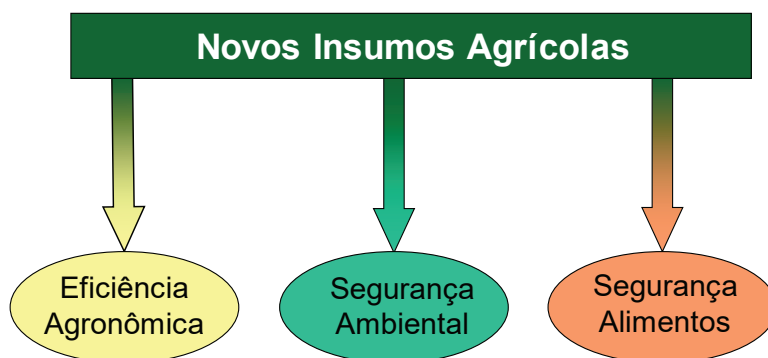
Dentre as recentes descobertas de fontes de nutrientes identificadas pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil no Rio Grande do Sul estão dois corpos de rochas carbonatíticas (fontes de fósforo), de grande interesse para o setor agrícola e até então não relatados no Estado, além de mármore, calcários, andesitos, basaltos, lamprófiro, diques de olivina gabros, filonetes e veios de carbonato e de barita (Bergmann e Toniolo, 2012). Ainda constituem descobertas inéditas diversas ocorrências de rochas com teores significativos de K_2O (7 a 14%), além de novas ocorrências de rochas alcalinas com potencial de correção de acidez do solo. Por fim, trabalhos de prospecção já realizados pela CPRM permitem apontar uma ampla faixa de ocorrência de zeolitas no RS, ao longo da zona de contato dos primeiros derrames de lava da Formação Serra Geral com as areias da Formação Botucatu (inconsolidadas à época da colocação dos derrames), e em menor grau, com as rochas sedimentares do Grupo Rosário do Sul (Bergmann e Toniolo, 2012; Bergmann et al., 2013a).

No que se refere à disponibilidade de coprodutos de processos agroindustriais e da mineração, são escassos os dados referentes às quantidades disponíveis de rejeitos e coprodutos, mas algumas estimativas indicam que o uso de coprodutos orgânicos poderia suprir até 40% da demanda total de fertilizantes projetada para 2012 no país (Abisolo, 2009). No caso dos rejeitos da mineração, estimativas globais das quantidades geradas inexistem devido ao grande número de empresas neste setor e à variabilidade dos recursos minerais por elas explorados. De qualquer forma, no país existem inúmeras empresas que extraem rochas para construção civil, para uso na agricultura (calcários, fosfatos, etc) ou outras finalidades e que geram grande quantidade de coprodutos, atualmente considerados passivos ambientais, que poderiam ser reaproveitados como fontes de nutrientes. Contudo, esses coprodutos devem atender à legislação vigente e apresentar eficiência agronômica satisfatória.

Os efeitos da aplicação de agrominerais¹ variam com os tipos de minerais presentes na rocha, sua forma de aplicação, tipo de solo, dose, granulometria, tempo de reação e cultura (Knapik, 1987; Almeida e Silva, 2009; Bergmann et al., 2009; Bamberg et al., 2011; Bergmann e Toniolo, 2012; Grecco et al., 2012; Ribes et al., 2012; Milech et al., 2013; Bamberg et al., 2013; Grecco et al., 2013) e, portanto, a avaliação dessas matérias-primas para uso agrícola deve atender a um protocolo mínimo de avaliações que permita a tomada de decisão segura quanto à sua eficiência.

Diversos estudos e ações de pesquisa com agrominerais estão em desenvolvimento no Brasil. Conforme já comentado na palestra da prof. Suzi Theodoro neste evento, essa linha de pesquisa no país iniciou na década de 1950, em Minas Gerais, pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko. Posteriormente, a partir de 1980, o professor Othon Leonardos iniciou os trabalhos neste tema na Universidade de Brasília e, na mesma década, o professor Bernardo Knapik iniciou estudos com rochas vulcânicas ácidas e básicas do Sul do estado do Paraná. Nesta mesma época a Mineração Barreto SA (MIBASA), em Alagoas, difundiu o ‘melhorador de solos’ MB-4, uma mistura de dois tipos de rochas, serpentinito e biotita xisto (Silveira et al., 2012). Mais recentemente, a partir de 2003, a Embrapa Clima Temperado em conjunto com outras instituições parceiras (CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Petrobras-SIX, IAPAR, UFPel, UFSM, UFPR, UTFPR - Campus Pato Branco, UFPel, IFRS - Campus Sertão, Epagri - Estação de Videira e University of Guelph) tem atuado nessa linha de pesquisa visando a prospecção, a caracterização, o desenvolvimento e a avaliação da eficiência agronômica, da segurança ambiental e dos alimentos de formulações fertilizantes a base de coprodutos da mineração. O projeto pioneiro na Embrapa Clima Temperado neste tema foi o Projeto Xisto Agrícola, em vigência desde 2003, desenvolvido em parceria com a Petrobras-SIX (Superintendência da Industrialização do Xisto, São Mateus do Sul - PR) e com as instituições parceiras acima citadas. Neste projeto foi desenvolvido um protocolo de avaliação das matérias-primas e produtos desenvolvidos baseado nos três pilares demonstrados na Figura 1. Esse protocolo de avaliação inclui diversas etapas de avaliação, com variados graus de complexidade conforme será detalhado nos itens a seguir.

¹ Neste texto o termo agrominerais refere-se às rochas com potencial de uso agrícola, seja como remineralizadores, condicionadores, corretivos de acidez ou fertilizantes.



PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO

Caracterização química (litoquímica)

O primeiro passo da avaliação de rochas para uso agrícola costuma ser a litoquímica, que refere-se à determinação dos teores totais de nutrientes e principalmente dos teores de elementos potencialmente tóxicos (EPTs). Teores de EPTs acima dos valores máximos permitidos pela legislação vigente inviabiliza o uso do produto, independentemente de sua eficiência agronômica. Na Tabela 1 são citados os valores máximos de contaminantes admitidos em remineralizadores, condicionadores de solo, corretivos de acidez e fertilizantes minerais com N, K, macronutrientes secundários e com até 5% de P_2O_5 , que são as categorias de insumos nas quais geralmente os agrominerais se enquadram.

Caracterização petrográfica e mineralógica

Embora a litoquímica permita uma avaliação rápida dos teores de EPTs e do potencial teórico de fornecimento de nutrientes de uma rocha, geralmente não corresponde de forma direta aos teores de nutrientes disponíveis para o sistema solo-planta. Isto ocorre porque os minerais que são constituintes essenciais dos diversos tipos de rochas respondem de maneira diversa ao intemperismo. Conforme mencionado na palestra da pesquisadora Magda Bergmann neste evento, a liberação dos elementos químicos ocorre com a abertura dos sistemas cristalinos, os quais dependem das condições de estabilidade físico-química dos diversos minerais de uma rocha. Neste sentido as técnicas de petrografia são imprescindíveis para a identificação dos tipos de minerais presentes na rocha, sua textura, tamanho de grãos, estado de sanidade e especulações sobre sua ordem de cristalização. O estudo petrográfico deve ser complementado, sempre que necessário com outras técnicas, como a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), para investigar feições de dissolução em faces de minerais.

Tabela 1 – Limites máximos de contaminantes admitidos em remineralizadores, condicionadores de solo, corretivos de acidez e fertilizantes minerais com N, K, macronutrientes secundários e com até 5% de P_2O_5

Parâmetro	Limites máximos permitidos (mg kg ⁻¹)			
	Remineralizadores ¹	Condicionadores de solo ²	Corretivos de acidez ³	Fertilizantes minerais com N, K, macronutrientes secundários e para os com até 5% de P_2O_5 ³
Arsênio	15,0	20,0	.	10,0
Cádmio	10,0	3,0	20,0	20,0
Cromo	.	.	.	200,0
Chumbo	200,0	150,0	1000,0	100,0
Cromo hexavalente	.	2,0	.	.
Merúrio	0,1	1,0	.	0,2
Níquel	.	70,0	.	.
Selênio	.	80,0	.	.

¹Instrução Normativa Nº 5, de 10 de Março de 2016; ²Instrução Normativa Nº 7, de 12 de abril de 2016; ³Instrução Normativa Nº 27, de 5 de Junho de 2006.

Adequação física (granulometria)

Para que se determine a cominuição necessária para a efetividade de uso de determinada rocha como insumo agrícola, é importante o registro das faixas de tamanho de grão de cada um dos constituintes minerais. Os minerais devem ser quebrados, do contrário as partículas geradas serão agregados de grãos, o que diminui a reatividade química do produto no solo (Milech et al., 2012).

Em geral, a diminuição do tamanho de partícula de uma determinada rocha aumenta a disponibilidade dos nutrientes, em função do aumento de sua área superficial específica. Contudo, algumas rochas não precisam ser finamente moídas, por apresentarem tamanho de grão, dureza e clivagem dos minerais, grau de intemperismo, entre outros, que favorecem a liberação dos nutrientes (Milech et al., 2012). Por isso, a granulometria deve ser definida corretamente para evitar gastos desnecessários de energia e de tempo com a moagem e, ao mesmo tempo, favorecer a liberação dos elementos de interesse contidos nos minerais que a constituem.

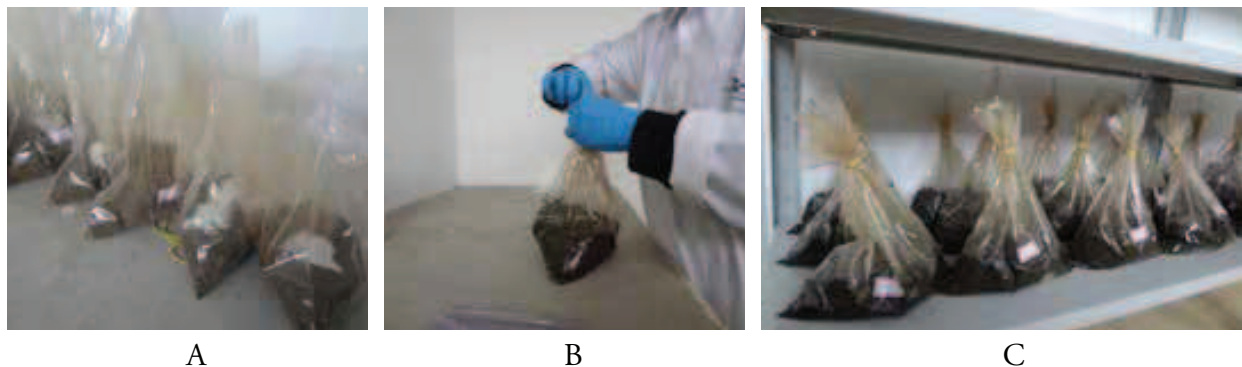
Testes de incubação

O teste de incubação consiste na mistura de diferentes tipos de solos com a rocha a ser testada e tem por objetivo determinar a reatividade e a velocidade de liberação dos elementos que a compõem. A incubação deve ser feita com o máximo de tipos de solos possível, pois o tipo de solo exerce grande influência na solubilidade dos minerais e, conseqüentemente, na disponibilidade dos nutrientes às plantas (Bamberg et al., 2012). Porém, na impossibilidade de se utilizar vários solos, sugere-se o uso de solos agrícolas representativos do local em que a rocha será utilizada e, preferencialmente, com características contrastantes (ex.: solo com elevado teor de argila *versus* solo com baixo teor de argila).

Aos solos (secos ao ar e peneirados em malha 2 mm) devem ser adicionadas doses crescentes e equidistantes da rocha de interesse, geralmente em sacos plásticos, para facilitar a homogeneização. Após a mistura, o solo pode ser mantido em sacos plásticos ou colocado em recipientes plásticos, aos quais acrescenta-se água destilada para atingir 80% da capacidade de retenção de água de cada solo, que deve ser mantida durante todo o período de incubação

(Figura 2). É importante manter pequenos orifícios nas tampas dos recipientes plásticos ou colocar pequenos caninhos nos sacos plásticos para permitir a troca gasosa do solo com o ambiente externo (Figura 1c).

Figura 2 – Incorporação da rocha de interesse ao solo (a), homogeneização da mistura da rocha com o solo e adição de água destilada (b), solo incubado em sacos plásticos (c). Fotos: Mariana Teixeira da Silva.



Periodicamente, alíquotas do solo são retiradas, secas ao ar e encaminhadas para determinação dos elementos de interesse, pH e CE. O tempo de incubação varia conforme o do tipo e a finalidade de uso da rocha, mas normalmente gira em torno de 90 dias.

Testes em colunas de lixiviação

Esta metodologia consiste na aplicação sequencial de água destilada em colunas de solo (cilindros de PVC ou vidro) contendo cerca de aproximadamente 1000 cm³ de cada solo a ser avaliado e diferentes doses da rocha a ser caracterizada. A coleta e análise da solução percolada permitirá compreender a dinâmica de liberação dos elementos. A definição das doses, frequência das lixiviações e o tempo de duração do experimento dependerá das características de cada rocha, obtidas nos testes anteriores (itens 1 a 4).

Na Figura 3 é apresentado um esquema das colunas de lixiviação utilizadas para estudos com rochas na Embrapa Clima Temperado e a metodologia utilizada está detalhadamente descrita no trabalho de Bamberg et al. (2012).

Figura 3 – Colunas de lixiviação utilizadas para estudos com coprodutos da mineração na Embrapa Clima Temperado. Fotos: Adilson L. Bamberg.



Testes em vasos

Os experimentos realizados em casa de vegetação nos estudos com rochas na Embrapa Clima Temperado incluem pelo menos duas culturas de famílias botânicas distintas, dois tipos de solos e diferentes doses da rocha de interesse, empregando como testemunha absoluta o solo sem a aplicação da rocha e como testemunha padrão a adubação com fontes solúveis (uréia, SFT e KCl). Normalmente, a definição das doses da rocha considera o elemento de maior interesse e concentração (ex.: fósforo em carbonatitos, potássio em fonolitos, cálcio e magnésio em basaltos), embora as quantidades adicionadas dos demais elementos sejam contabilizadas, pois as rochas são fontes multielementares.

Em geral são realizados dois cultivos sucessivos para avaliar o efeito imediato (1º ciclo de cultivo) e residual (2º ciclo de cultivo) das fontes. Ao longo do período experimental são monitorados os teores de nutrientes nas folhas indicadoras das plantas e parâmetros fitotécnicos como altura, diâmetro do colmo, número de perfilhos, início da floração/frutificação, entre outros, a depender do tipo de cultura em avaliação. Ao final do período experimental são avaliados parâmetros de produção das plantas e os teores de nutrientes e EPTs no solo e na massa seca da planta. Nas culturas que conseguem completar o ciclo são analisados os teores de nutrientes e EPTs nos órgãos de consumo (grãos, frutos, folhas). A partir dos dados obtidos é possível definir o efeito imediato e residual de cada rocha quanto à capacidade de fornecimento de nutrientes e translocação de EPTs, as doses com maior eficiência técnica, a cultura mais responsiva para cada material avaliado e a necessidade de blendagem com outras matérias-primas.

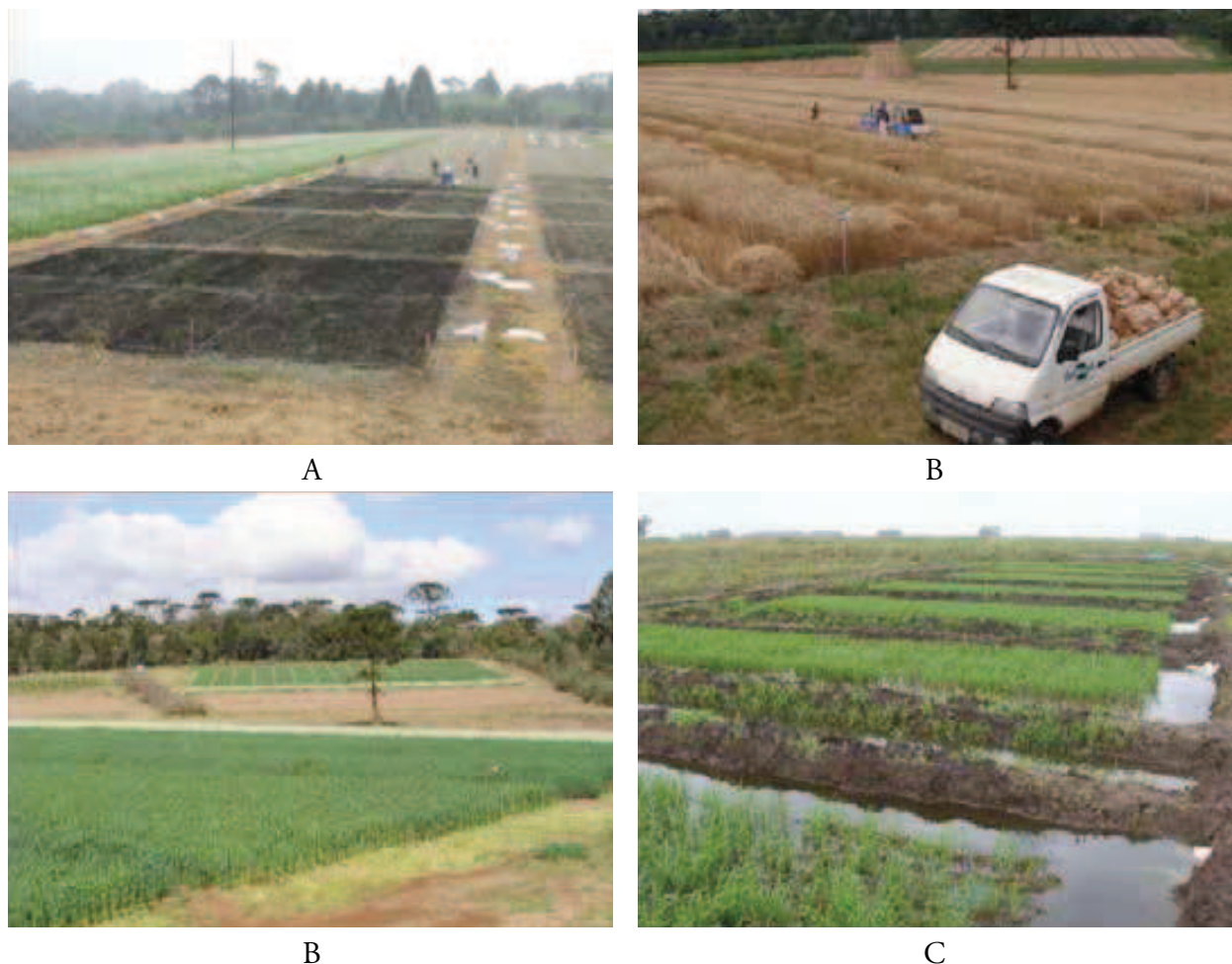
Figura 4 – Experimentos em vasos para estudos com matrizes fertilizantes a base de coprodutos da mineração. Embrapa Clima Temperado, 2016.



Testes em condições de campo

De forma similar aos experimentos em condições controladas, os experimentos realizados em condições de campo nos estudos com rochas na Embrapa Clima Temperado incluem pelo menos duas safras agrícolas, com culturas de inverno e de verão, as doses selecionadas previamente nos estudos em vasos e, sempre que possível, diferentes condições edafoclimáticas, o que é proporcionado pela Rede de Pesquisa estabelecida com diferentes instituições de ensino e pesquisa da região Sul. Os experimentos utilizam como testemunha absoluta o solo sem a aplicação da rocha e como testemunha padrão a adubação com fontes solúveis (uréia, SFT e KCl). Ao final do período experimental são avaliados parâmetros de produção das culturas e os teores de nutrientes e EPTs no solo, na massa seca da planta e nos órgãos de consumo (grãos, frutos, folhas).

Figura 5 – Experimentos em condições de campo na Área Experimental do Projeto Xisto Agrícola, em São Mateus do Sul-PR (a, b e c) e na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS (d) para estudos com matrizes fertilizantes a base de coprodutos



Fotos: Rosane Martinazzo.

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO - EXPERIÊNCIAS

Experiência 1 - Granulação e peletização

A partir dos resultados obtidos no protocolo de avaliação acima descrito, é possível definir as matérias-primas e matrizes fertilizantes passíveis de uso na agricultura. Também é

possível identificar algumas características dos produtos que necessitam adequação para o sistema produtivo em que serão inseridos ou ainda identificar potencialidades de melhoria dos produtos. Em geral, as técnicas que tem sido utilizadas são a granulação e a peletização, especialmente nas seguintes situações:

a) para as rochas com granulometria muito fina, devido à dificuldade de aplicação, geração de pó e perda de material pelo vento;

b) para misturas de duas ou mais matérias-primas (blendagem) com características complementares ou que isoladamente não atendem a legislação vigente e/ou as necessidades das culturas avaliadas. A granulação propicia a mistura mais homogênea e evita a segregação de partículas durante o transporte e a aplicação;

c) para misturas da rocha com alguma fonte de origem orgânica (tortas vegetais, composto orgânico, esterco);

d) para propiciar a inoculação de agentes de interesse, como micro-organismos promotores de crescimento e/ou biocontroladores e/ou solubilizadores de fosfato, etc.

Na Figura 6 são apresentadas fotografias da mistura de diferentes rochas (blendagem), do granulador artesanal utilizado e dos produtos finais peletizados e granulados.

Figura 6 – Ilustração da mistura de diferentes tipos de rochas (blendagem), do granulador artesanal utilizado e de produtos finais peletizados e granulados. Embrapa Clima Temperado, 2016.



Experiência 2 - Utilização de rochas no processo de compostagem

Resultados de estudos anteriores demonstraram que algumas rochas apresentam a capacidade de diminuir as perdas de nutrientes e a emissão de gases de efeito estufa (veja resumo da palestra do prof. Celso Aita e do doutorando Diego A. Giacomini neste evento). Em

função disso, avaliou-se na Embrapa Clima Temperado os efeitos de três tipos de rocha sobre o processo de compostagem e o acúmulo de nutrientes no composto orgânico produzido. Na compostagem foram utilizados resíduos da filetagem de peixes, casca de tungue, serragem e as rochas xisto retornado, granodiorito e basalto amigdalóide à zeolita em duas proporções (5 e 10% m/m) (Figura 7).

Os resultados demonstraram que o processo de compostagem foi adequado em todos os tratamentos avaliados, pois ao final do período experimental apresentavam relação C/N, temperatura e umidade adequadas. Quando comparados à testemunha (sem adição de resíduos da mineração), todos tratamentos com a adição das rochas apresentaram fase termofílica ($50^{\circ}\text{C} \leq T^{\circ} \leq 65^{\circ}\text{C}$) significativamente mais longa e maiores quantidades (em kg/m^3) de K, Mg e Fe no produto final. O tratamento com xisto retornado também apresentou maior acúmulo de enxofre. Adicionalmente, todos os tratamentos apresentaram perdas de C (calculadas pelo balanço de massas) entre 30 e 39% do total de C adicionado, exceto o tratamento contendo 10% de xisto retornado, em que observou-se maior 'preservação' do C, sendo a perda em torno de 15%.

Figura 7 – Matérias-primas utilizadas no processo de compostagem serragem e casca de tungue(a), resíduo da mineração (xisto retornado) (b), resíduos da filetagem de peixe (c, d) e produto final antes (e) e após o peneiramento (f). Embrapa ClimaTemperado, 2015.



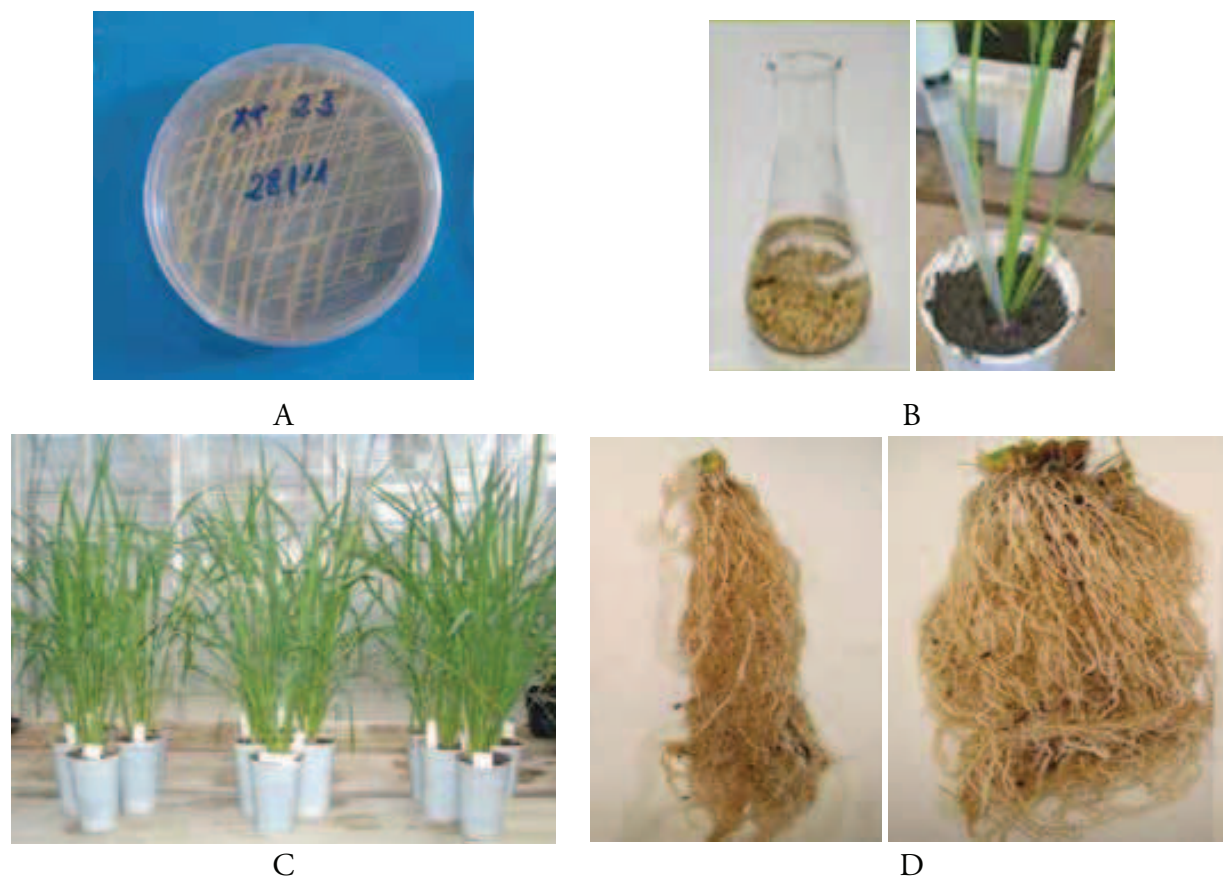
Experiência 3 - Desenvolvimento de matrizes fertilizantes contendo micro-organismos de interesse

Conforme mencionado na palestra do prof. Newton Stamford neste evento, “a utilização de micro-organismos na agricultura depende do conhecimento sobre sua diversidade, mecanismos de interação bactéria-planta e da habilidade de manter, manipular e modificar populações benéficas, em condições de campo”. A Embrapa Clima Temperado vem desenvolvendo estudos nesta linha de pesquisa desde 2005, quando se iniciou a prospecção de micro-organismos de interesse em folhelho pirobetuminoso (xisto). Foram obtidos mais de 400 isolados, os quais foram submetidos a testes bioquímicos, testes *in vitro* e experimentos em condições controladas com diversas culturas para seleção de cinco isolados com elevado potencial para promoção de crescimento e/ou biocontrole de nematóides e/ou indução de resistência das plantas. As culturas avaliadas até o momento foram arroz irrigado, azevém, soja, pimenteira, mamoneira, figueira, tomateiro, morangueiro e cana-de-açúcar e as formas de inoculação dos micro-organismos foram a microbiolização de sementes e a injeção direta do inoculante ao solo após a germinação/brotação das sementes/colmos/estacas (Figura 7). Os efeitos mais relevantes observados são: a) maior massa seca de parte aérea e de raízes e diminuição do fator de reprodução de nematóides nas plantas inoculadas com os micro-organismos de interesse (em experimentos em condições controladas) e b) maior produtividade de grãos de arroz irrigado (cultura avaliada em condições de campo durante quatro safras consecutivas).

Atualmente estão sendo realizados estudos para introdução desses micro-organismos e também de *Trichoderma* em matrizes fertilizantes a base de coprodutos agroindustriais e da mineração, ou seja, nestes estudos as rochas estão sendo avaliadas não apenas como fornecedoras de nutrientes, mas também como suportes² para os micro-organismos. Adicionalmente, estudos de prospecção de micro-organismos considerando diversos tipos de rocha e plantas de ambientes extremos estão em andamento.

2 Suporte: “material excipiente e esterilizado, livre de contaminantes segundo os limites estabelecidos, que acompanha os microorganismos e tem a função de suportar ou nutrir, ou ambas as funções, o crescimento e a sobrevivência destes microorganismos, facilitando a sua aplicação” (Decreto 8.059/2013).

Figura 7 – Etapas dos testes in vivo com micro-organismos isolados da rocha folhelho pirobetuminoso (xisto) na cultura do arroz irrigado: isolamento do micro-organismo de interesse (a), introdução do isolado na semente ou no solo (b), avaliação do desenvolvimento da parte aérea das plantas inoculadas (c) e avaliação das raízes das plantas testemunha e inoculada com o micro-organismo de interesse, respectivamente (d). Embrapa Clima Temperado, 2013. Fotos: Cesar B. Gomes.



Experiência 4 – Composição e forma de aplicação dos remineralizadores

Os remineralizadores que apresentam natureza física na forma de pó representam um grande desafio em termos de aplicação por parte dos agricultores. A diversidade de minerais, com densidades distintas, e a distribuição do tamanho das partículas do produto resulta num produto final de natureza física variada, influenciando na possibilidade de segregação e heterogeneidade de distribuição do produto. Além disso, condições ambientais como o vento e o tipo de equipamento podem afetar significativamente a qualidade de distribuição do produto.

A aplicação dos remineralizadores no solo se dá pela sua distribuição em superfície ou aplicado na linha de semeadura. A distribuição em superfície poderá ser a lanço, em faixas ou em área total. São utilizados caminhões ou autopropelidos com caçamba aplicadora, ou ainda implementos aplicadores de corretivos rebocados com tratores, dotados de reservatório e distribuidores centrífugos de discos. Utilizados em menor escala estão os distribuidores por gravidade tipo “cocho”. Quando se deseja aplicar na linha de semeadura, esta deve ser feita com as semeadoras dotadas de sulcadores, caixas e mecanismo dosador/distribuidor de fertilizantes, dando-se preferência à aplicação antecipada, no momento da implantação da cultura de inverno ou da planta de cobertura. Em pequenas áreas, como em canteiros e covas, a distribuição é feita manualmente, sendo o produto incorporado ao solo com encanteiradores e enxadas.

Figura 8 – Formas de aplicação dos remineralizadores: a) distribuição a lanço com discos centrífugos, b) distribuição por gravidade tipo “cocho”; c) semeadora com sulcador, caixas e dosadores para fertilizantes; d) aplicação manual.



Fonte: Eduardo F. Caires. Disponível em:
http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=1108



Fonte: Mepel.
Disponível em: <http://www.mepel.ind.br>



Quando verificada a dificuldade de distribuição dos remineralizadores, bem como de se adaptar aos sistemas produtivos com maior nível tecnológico e mecanização, a granulação e a extrusão (peletização) são alternativas para facilitar a aplicação. Rochas moídas, utilizadas de forma isolada ou em misturas, podem ser granuladas com disco granulador, enquanto que a mistura com fontes orgânicas poderá passar por extrusão, desde que a fração mineral seja minoritária (até 20%) na composição da mistura.