

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO MOÍDO DE MEXILHÃO DOURADO
(*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DO
SOLO E FONTE DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS**

**Daniela Bueno Piaz Barbosa
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO MOÍDO DE MEXILHÃO DOURADO
(*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) COMO CORRETIVO DA ACIDEZ
DO SOLO E FONTE DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS**

DANIELA BUENO PIAZ BARBOSA
Bióloga (FURB)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Junho de 2009

Dedico

À minha família.

Em especial aos meus pais e avós,
que são meu porto seguro, minha fonte de inspiração e de força.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida e por nesta caminhada ter me presenteado com uma família e amigos maravilhosos e vivências enriquecedoras.

Ao PPG Ciência do Solo - UFRGS pela oportunidade de estudar nesta conceituada Faculdade de Agronomia.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

Ao corpo docente desta Universidade, agentes ativos neste importante processo de aprendizagem, pelo agradável convívio e ensinamentos. Em especial ao Prof. Marino José Tedesco, pela orientação na realização deste trabalho.

Aos funcionários da UFRGS, em especial aos técnicos laboratoristas Adão (Laboratório de Química e Fertilidade do Solo), Antônio (Laboratório de Manejo e Conservação do Solo) e Taís (LAS) pelo envolvimento com o meu aprendizado e auxílio para a realização deste trabalho, e ao Jader pela atenção dispensada.

Aos colegas do PPG Ciência do Solo, pela receptividade, carinho, apoio, risadas, por tornar minha trajetória acadêmica mais colorida e cheia de graça. Em especial à turma ingressante 2007/I; aos queridos e prestativos “veteranos” Edicarlos, Jean, Jeane, João Paulo (Cacequi), Leandro, Osmar, Regilene, Regina e Sérgio; e às amigas Lucélia, Vanessa e Viviane.

À minha família, pelo amor e incentivo, por acreditar em mim e batalhar comigo pelos meus objetivos.

Às amigas-irmãs Aline, Andréa, Christina, Fernanda, Juliana, Manuela e Rosilene por me fazerem mais forte e feliz. Vocês são ombros e

ouvidos, minha história... Em especial, à Chris, minha “abre-alas” em Porto Alegre e por diariamente crescermos juntas.

Aos admiráveis amigos e Eng. Agrônomos Analú e Marquel, pelos ensinamentos, e principalmente, pelo carinho com que sempre me auxiliaram.

Ao Prof. Alexandre Kessler, pelo interesse na utilização do RMD em alimentação animal.

Ao Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo apoio financeiro para a execução do trabalho.

Ao pescador Sr. Vidimar Guimarães, pelo entusiasmo na utilização agrícola do mexilhão dourado.

A todos que encontrei nesta trajetória, por acrescentar alegrias e aprendizados e contribuir para a execução deste trabalho.

Muito obrigada!

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO MOÍDO DE MEXILHÃO DOURADO (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO E FONTE DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS ¹⁾

Autor: Daniela Bueno Piaz Barbosa

Orientador: Prof. Marino J. Tedesco

RESUMO

O mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) foi trazido ao sudeste do Brasil pela água de lastro de navios asiáticos. Este molusco de água doce apresenta alta taxa reprodutiva e boa capacidade de fixação em diversos substratos. A formação de grandes colônias, devido à ausência de predadores naturais no novo ambiente, tem causado inúmeros prejuízos econômicos e danos ambientais. Para avaliar a utilização agrícola do resíduo moído de mexilhão dourado foram conduzidos dois estudos em vasos, mantidos em área aberta. No primeiro estudo, a capacidade de correção da acidez do solo deste resíduo foi avaliada em um solo ácido (Argissolo Vermelho distrófico típico), de 2005 a 2009. As colônias de mexilhão foram secas, moídas e peneiradas em peneira com 2,0 mm de diâmetro de orifícios, e aplicadas em diferentes doses no solo. A capacidade corretiva da acidez do solo, determinada aos dois anos após a aplicação dos tratamentos, foi equivalente a 60% da determinada com a adição de calcário (PRNT 100%). No segundo estudo, o fornecimento de nitrogênio e fósforo para as plantas de milho pela adição do resíduo foi avaliado em três experimentos, em comparação às curvas de absorção de fertilizantes minerais, nos anos de 2007 e 2008, em um solo ácido de baixa fertilidade (Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico). O resíduo moído de mexilhão dourado forneceu para as plantas o equivalente às doses de 24 kg de N ha⁻¹ e de 21 kg de P₂O₅ ha⁻¹, apresentando eficiências relativas de 31 e 66% para os suprimentos de N e P às plantas, respectivamente. Portanto, a utilização agrícola do resíduo deste bioinvasor foi eficiente para a correção da acidez do solo e para o suprimento de parte dos nutrientes necessários às plantas.

¹⁾ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (132 p.) Junho, 2009. Trabalho realizado com o apoio financeiro do Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

THE USE OF GOLDEN MUSSEL (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) GROUND RESIDUE AS A SOIL ACIDITY NEUTRALIZING MATERIAL AND PLANT NUTRIENT SOURCE ¹⁾

Author: Daniela Bueno Piaç Barbosa

Adviser: Prof. Marino J. Tedesco

ABSTRACT

The golden mussel (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) was brought to southern Brazil in the ships' ballast water from Asia. This fresh water mollusc presents a high reproductive rate and good fixation capacity on several surfaces. Since there are not natural predators on this new environment, it can grow into large colonies, with economic losses and environmental damage. In order to determine the potential use of its dried and grinded colonies in agriculture, two studies were conducted in pot experiments, maintained in an open area. On the first study, its soil acidity neutralizing capacity was evaluated with an acid soil (Typic Paleudult) from 2005 to 2009. The mussel's material was grinded to pass a 2.00 mm holes diameter sieve, and applied at several rates into the soil. At two years reaction time, its acid neutralizing capacity was determined as 60% equivalent to that observed for lime with 100% neutralizing value. On the second study, the residue's capacity to supply nitrogen and phosphorus to corn plants was evaluated on three experiments, in comparison to standard mineral fertilizers absorption curves, in the years 2007 and 2008, on an acidic low fertility soil (Sandy Paleudult). The residue was able to provide 24 kg ha⁻¹ N and 21 kg ha⁻¹ P₂O₅ to the plants, showing a relative efficiency of 31 and 66% for the release of its N and P contents, respectively. Therefore, the agricultural use of this bioinvasor was effective for soil acidity neutralization and to supply part of the nutrients required by plants.

¹⁾ M.Sc. Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (132 p.) June, 2009. Financial support from the Department's Soil Testing Laboratory.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 Introdução, dispersão e impactos causados pelo mexilhão dourado.....	04
2.2 A problemática ambiental e a produção agrícola.....	06
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Resíduo moído de mexilhão dourado.....	12
3.2 Solos utilizados nos experimentos.....	14
3.3 Estudo I – Utilização do RMD como corretivo da acidez do solo.	15
3.3.1 Tratamentos.....	15
3.3.2 Condução do estudo.....	16
3.4 Estudo II - Utilização do RMD como fonte de macronutrientes para as plantas.....	17
3.4.1 Tratamentos.....	17
3.4.2 Condução dos experimentos.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Estudo I – Utilização do RMD como corretivo da acidez do solo.	20
4.1.1 Variação temporal do pH do solo.....	20
4.1.2 Reatividade do RMD.....	24
4.1.3 Teores de cálcio no solo.....	26
4.2 Estudo II - Utilização do RMD como fonte de macronutrientes para as plantas.....	28
4.2.1 Efeitos das adições de adubos minerais e do RMD no rendimento de matéria seca da parte aérea do milho.....	28

4.2.2 Efeitos das adições de adubos minerais e do RMD na absorção de macronutrientes pelo milho.....	32
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS CITADAS E CONSULTADAS.....	37
7. ANEXOS.....	41

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
01. Caracterização química e granulométrica do resíduo de mexilhão dourado (RMD) coletado em 2004 e 2007.....	13
02. Caracterização física e química dos solos utilizados nos estudos.....	14
03. Tratamentos conduzidos no Estudo I.....	15
04. Tratamentos utilizados no Estudo II.....	18
05. Valores do pH (em água) do solo no tempo, após a aplicação dos tratamentos.....	21
06. Teores de Ca^{+2} trocável do solo nas diferentes datas de amostragem após o início do experimento.....	26
07. Rendimento médio de matéria seca (MS) e quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de milho.....	29

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
01. Variação temporal do pH em água do solo com a aplicação de calcário (a) e do RMD (b).....	23
02. Variação do pH do solo (em água) a 24 meses após a aplicação dos tratamentos.....	25
03. Variação temporal do Ca^{+2} trocável do solo com a aplicação de calcário (a) e do RMD (b).....	27
04. Rendimento relativo médio de MS da parte aérea do milho com a adição de adubos minerais e do RMD (médias de três experimentos).....	30
05. Rendimento relativo médio de MS da parte aérea do milho, subtraindo-se os valores das testemunhas (médias de três experimentos).....	31
06. Nitrogênio (a) e fósforo (b) contidos na parte aérea das plantas de milho (médias de três experimentos).....	33
07. Nitrogênio (a) e fósforo (b) contidos na parte aérea das plantas de milho, subtraindo-se os valores das testemunhas (médias de três experimentos).....	34

LISTA DE ABREVIATURAS

ADN – Adenosina difostato

Al – Alumínio

ARN – Ácido ribonucléico

ATP – Adenosina trifosfato

B – Boro

C – Carbono

Ca – Cálcio

CaCO₃ – Carbonato de cálcio

Cl – Cloro

cm – centímetro

cmol_c – centimol de carga

CO – Carbono orgânico

CO₂ – Dióxido de carbono

CTC – Capacidade de troca catiônica

Cu – Cobre

dm – decímetro

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler

Fe – Ferro

g – grama

GEF - Global Environmental Facility

GloBallast – Programa Global de Gerenciamento de Água de Lastro

H – Hidrogênio

ha – hectare

K – Potássio

Kg – quilômetro
Kps – Produto de solubilidade
L – litro
mg – miligrama
Mg – Magnésio
MgCO₃ – Carbonato de magnésio
MgO – Óxido de magnésio
Mn – Manganês
Mo – Molibdênio
MO – Matéria orgânica
MS – Matéria seca
N – Nitrogênio
NADP – Fosfato de nicotinamida adenina dinucleotídeo
O - Oxigênio
OH – oxidrila
P – fósforo
PN – Poder de neutralização
PRNT – Poder relativo de neutralização total
PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico
PVC – Cloreto de polivinila
PVd – Argissolo Vermelho distrófico típico
RMD – Resíduo moído de mexilhão dourado
S – Enxofre
sp – espécie
t – tonelada
Zn – zinco

1. INTRODUÇÃO

O transporte marítimo movimenta mais de 80% das mercadorias do globo terrestre e transfere, internacionalmente, mais de 10 bilhões de toneladas de água de lastro por ano. A água do mar ou dos estuários utilizada como lastro é necessária para o equilíbrio e a estabilidade dos navios. Entretanto, esta prática tem causado graves ameaças ecológicas, econômicas e à saúde humana, pois, juntamente com a água de lastro, são transportadas espécies animais e vegetais exóticas e organismos patogênicos.

Os organismos, que em seu ambiente natural estão sob controle, ao atingir outros nichos ecológicos em que, por falta de predador natural e/ou condições favoráveis de crescimento e de reprodução podem provocar grandes danos ao novo ambiente.

O mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) foi trazido pela água de lastro de navios asiáticos. Esse molusco de água doce foi introduzido na Bacia do Rio da Prata, na Argentina, em 1991. No Brasil, seu primeiro registro ocorreu em 1998 no Estado do Rio Grande do Sul, na área do Delta do Jacuí, em Porto Alegre. Os levantamentos realizados, a partir desta data, indicaram sua ocorrência nos estados do Rio Grande do Sul, do Paraná, de São Paulo, do Mato Grosso do Sul, de Goiás e de Minas Gerais. Sua alta taxa reprodutiva e capacidade de fixação em diferentes substratos têm causado graves danos e alterações ambientais, bem como prejuízos econômicos para as usinas hidrelétricas, atividades pesqueiras e empresas de tratamento e de abastecimento de água.

Em busca de alternativas promissoras para esta problemática ambiental e econômica, a utilização agrícola deste bioinvasor poderia promover

a ciclagem de nutrientes, e diminuir o consumo de insumos finitos. Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização do resíduo moído de mexilhão dourado (RMD) como fonte de macronutrientes para as plantas e como corretivo da acidez do solo, nos seguintes aspectos:

- a) Determinar os efeitos corretivo e residual da adição do RMD em um Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd);
- b) Avaliar as curvas de resposta das plantas às adições de N e de P nas formas minerais em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (PVAd); e,
- c) Determinar a liberação para as plantas de N e de P do RMD adicionado ao solo PVAd.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O lastro consiste em qualquer material usado para aumentar o peso e/ou manter a estabilidade de um objeto. Os navios usam a água como lastro por ser mais econômico e eficiente que o lastro sólido; este foi utilizado por séculos na forma de pedras, areia ou metais. Ao ser carregado, é lançada ao mar a água que enche os tanques. Todavia, esta prática usual no transporte marítimo, tem acarretado graves conseqüências para o meio ambiente. A introdução de espécies marinhas exóticas em diferentes ecossistemas, por meio da água de lastro dos navios, é considerada pelo Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF - Global Environmental Facility) uma das quatro maiores ameaças aos oceanos (MMA, 2003).

As espécies exóticas passam a ser consideradas espécies invasoras quando atingem altas densidades devido à ausência de predadores, parasitas e competidores naturais (Carlton & Geller, 1993). Logo, elas se adaptam, reproduzem e começam a dominar as espécies nativas e provocar alterações ecológicas.

A água e o sedimento dos tanques de lastro de navios contêm grande quantidade de organismos de grupos taxonômicos distintos, tais como vírus, bactérias, protistas, larvas/ovos de invertebrados e de peixes, que podem sobreviver durante as viagens transoceânicas (Carlton, 1985). Anualmente, aproximadamente 12 bilhões de toneladas de água de lastro são movimentadas entre diferentes regiões do globo, transportando aproximadamente 4.500 espécies (Silva & Souza, 2004).

No Brasil, aproximadamente 95% de todo o comércio exterior é feito por via marítima. Estima-se que 40.000 navios chegam aos portos brasileiros,

deslastrando 40 milhões de toneladas de água por ano. Desta maneira, há vários exemplos de espécies cujas hipóteses de ocorrência e dispersão indicam a introdução acidental via água de lastro (Silva & Souza, 2004).

2.1 Caracterização, introdução, dispersão e impactos causados pelo mexilhão dourado

O mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857), molusco bivalve da família Mytilidae de água doce, forma grandes colônias em diversos tipos de substratos (Anexo 5 – Figura A.5.1a), sendo que estudos realizados determinaram populações com densidades de 100.000 a 140.000 indivíduos m^{-2} (Mansur et al., 2003; Santos et al., 2005). Este molusco apresenta uma concha composta por duas valvas unidas por um ligamento no lado dorsal do animal, dentro da qual seu corpo está protegido (Ruppert & Barnes, 1996) (Anexo 5 – Figura A.5.1). Os exemplares da família Mytilidae apresentam tamanho bastante variável, com conchas relativamente finas e alongadas, podendo atingir até quatro centímetros. Sua longevidade varia conforme a localidade geográfica, vivendo mais de 4,5 anos nas regiões centrais da China (MMA, 2003). Sua faixa ideal de temperatura situa-se entre 17 e 30°C (Boltovskoy & Cataldo, 1999; Magara et al., 2001) e sua tolerância à salinidade é inferior a 3% (Capitoli & Bemvenuti, 2004). A maturidade sexual é atingida com aproximadamente 30 dias de vida (Colares, 2002; Filippo, 2004). É um organismo filtrador, com potencial bioacumulador e quando adulto, apresenta-se muito resistente a diversas formas de poluição e a baixos níveis de oxigênio (Cataldo & Boltovskoy, 2000). Sua eficiente fixação aos substratos se deve à secreção dos bissos por glândulas localizadas no pé do animal. Os bissos se constituem, principalmente, de colágeno, mas contêm polifenóis hidrófilos, que são proteínas adesivas (Brandy, 2001).

O mexilhão dourado, originário da China e sudeste da Ásia, foi introduzido em 1991 no estuário do Rio da Prata, especificamente, no balneário de Bagliardi, próximo de Buenos Aires, Argentina (Mansur et al., 2003), provavelmente trazido por navios da Coréia e Hong Kong (Pastorino et al., 1993). No final de 1998, teve seu primeiro registro no Brasil, no Lago Guaíba, na cidade de Porto Alegre (Mansur et al., 1999). Um mês depois, foram

encontrados exemplares desta espécie nas praias a jusante do Lago Guaíba, em Itapuã. No período de julho de 2003 a abril de 2006, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler (FEPAM) montou uma rede de monitoramento biológico nas águas interiores do Rio Grande do Sul e encontrou exemplares em alguns trechos no Lago Guaíba, no Rio Gravataí, no Rio dos Sinos, no Rio Caí, no Rio Taquari-Antas e no Rio Jacuí (Terra et al., 2007).

O sistema hidroviário formado pelos rios Paraguai e Paraná constituiu o principal meio de dispersão para o centro do Brasil (Oliveira et al., 2000). Os registros de sua ocorrência incluem as bacias dos rios Paraná (Takeda et al., 2003; Avelar et al., 2003), Paraguai e Uruguai, o Lago Guaíba, a Lagoa dos Patos (Mansur et al., 1999; Demetrius et al., 2003), alguns rios da região do Pantanal, reservatórios da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Zanella & Marena, 2002), de Sérgio Mota (Porto Primavera), de Jupirá, de Ilha Solteira, e de Barra Bonita, atingindo os Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. A dispersão da espécie atingiu, além do Brasil, a Argentina, o Paraguai, o Uruguai e a Bolívia.

Os prejuízos econômicos causados por este bioinvasor atingem as usinas hidrelétricas e as empresas de tratamento e de abastecimento de água devido às danificações e ao entupimento das tubulações, filtros e bombas, aumentando seus gastos com limpeza e manutenção. A atividade pesqueira também é prejudicada pela redução da biomassa de suas espécies-alvo, tendo que mudar sua rotina de pesca, e pelos danos causados no sistema de refrigeração e no casco das embarcações e nas redes de pesca (MMA, 2003) (Anexo 5 – Figuras A.5.2).

Os danos ambientais já observados incluem os seguintes: competição e alterações das comunidades nativas; efeitos sobre a ciclagem de nutrientes; diminuição da turbidez da água; redução das populações nativas; morte de moluscos nativos utilizados como substrato de fixação, e queda da biodiversidade local causada pela transformação em substratos extremamente homogêneos em termos de fauna bentônica. De maneira geral, a cadeia trófica é bastante alterada com a remoção por filtração de organismos do fitoplâncton e o aumento de macrófitas aquáticas, modificando inclusive a estrutura das

comunidades de peixes (Darrigan & Pastorino, 1995; Mansur et al., 2003; Oliveira, 2003; Brugnoli et al., 2005; Von Rückert et al., 2004; MMA, 2003).

Além disso, as grandes incrustações de mexilhão dourado alteram a paisagem, prejudicando o turismo e o lazer destas áreas, e acarretam custos com pesquisa, monitoramento e educação ambiental.

As conseqüências negativas para a ecologia, a economia e a saúde pública, geradas pela introdução de espécies via água de lastro, levaram à elaboração do projeto mundial “Remoção de Barreiras para a Implementação Efetiva do Controle de Água de Lastro e Medidas de Gestão em Países em Desenvolvimento” (GloBallast) (Villac et al., 2004). Como medida nacional, em dezembro de 2003, o Ministério do Meio Ambiente criou uma Força Tarefa, que esteve ativa até fevereiro de 2004, para pesquisa e controle da expansão do mexilhão dourado (MMA, 2003).

No entanto, as alternativas disponíveis para reduzir a transferência de espécies aquáticas exóticas não têm sido satisfatórias e apresentam riscos ao meio ambiente e à saúde humana. A troca de água de lastro no mar pode comprometer a segurança dos navios. Os métodos de tratamento mecânico (como filtragem), de tratamento físico (como esterilização por ozônio, por luz ultravioleta, por correntes elétricas ou por tratamento térmico) e de tratamento químico (como adição de biocidas na água de lastro e uso de tintas antiincrustantes) são, em geral, caros, pouco eficientes ou tóxicos. Há também a possibilidade de remoção dos mexilhões dourados por coleta manual, por raspagem ou por jatos de água alta pressão; porém, essa técnica promove somente a erradicação local, e na maioria das vezes, por curto período de tempo (MMA, 2003).

2.2 A problemática ambiental e a produção agrícola

O aumento dos custos e o crescente consumo de insumos agrícolas aliados à produção cada vez maior de diversos tipos de resíduos tornaram a aplicação de materiais orgânicos em solos agrícolas uma opção econômica, social e ambientalmente mais sustentável.

Neste sentido, o resíduo moído de mexilhão dourado apresenta grande potencial para a ciclagem de nutrientes, uma vez que é composto por

material orgânico (fonte de N e P) e por CaCO_3 , provenientes do organismo e das conchas do animal, respectivamente. Para viabilizar sua utilização agrícola, é importante considerar a composição química deste molusco, além dos conhecimentos sobre a fertilidade do solo e as necessidades nutricionais das plantas.

Algumas limitações ao desenvolvimento de grande parte das culturas podem estar associadas à presença de alumínio (Al^{+3}) e manganês (Mn) em concentrações tóxicas nos solos e aos baixos teores de cátions de caráter básico, como cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}), devido à acidez e à lixiviação de bases. Para atenuar ou eliminar estes efeitos, recomenda-se a calagem do solo. A correção da acidez do solo é uma prática essencial para a obtenção de maiores e melhores produções agrícolas, além de aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) pH-dependente, e estimular o maior crescimento do sistema radicular, facilitando a absorção e a utilização dos nutrientes e da água pelas plantas. O valor de pH em água a ser atingido para um bom crescimento e desenvolvimento da maioria das culturas situa-se entre 5,5 a 6,3 (Bissani et al., 2008; Sousa et al., 2007).

Na crosta terrestre, os materiais corretivos da acidez do solo se apresentam na forma de carbonatos. Os calcários podem ser de origem metamórfica ou sedimentar. Todavia, materiais corretivos de utilização mais recente, extraídos em concheiros naturais expostos pelo recuo do mar, apresentam como principal componente o carbonato de cálcio (CaCO_3), contendo, entretanto, baixo teor de carbonato de magnésio (MgCO_3) (Bissani et al., 2008).

O calcário agrícola, um dos corretivos mais comumente disponíveis e utilizados no Brasil, é obtido pela moagem da rocha calcária, a qual é constituída por uma mistura de CaCO_3 e de MgCO_3 . A eficiência dos corretivos depende do teor de substâncias capazes de liberar OH^- ou HCO_3^- , sendo expressa pelo poder relativo de neutralização total (PRNT), que depende do poder de neutralização (PN) ou equivalente em CaCO_3 , bem como da granulometria das partículas, da estrutura cristalina do material, e também do teor de Mg (Bissani et al., 2008; Sousa et al., 2007).

Com relação à nutrição vegetal, o desenvolvimento das plantas depende de 16 elementos minerais considerados essenciais. O carbono (C), o

oxigênio (O) e o hidrogênio (H) são obtidos do ar e da água e constituem aproximadamente 90% da massa produzida pelos vegetais. Os outros elementos são obtidos do solo, sendo os macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e enxofre (S) absorvidos em maiores quantidades; os micronutrientes boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), molibdênio (Mo), manganês (Mn) e zinco (Zn) são necessários em pequenas quantidades (Giasson, 2006).

Os macro e micronutrientes exercem funções específicas no desenvolvimento da planta. O N é parte integrante de todos os aminoácidos, da molécula de clorofila, das aminas, amidas, enzimas, alcalóides e hormônios. Por ser constituinte das proteínas, sua deficiência afeta todos os processos vitais da planta, diminuindo a capacidade fotossintética, prejudicando o crescimento e a reprodução, sendo visualmente detectada por clorose geral da planta (Bissani et al., 2008).

O baixo teor de P disponível no solo é a limitação nutricional mais generalizada na produção agrícola nos trópicos (Sanchez & Salinas, 1981). Os compostos fosfatados mais importantes são os ácidos nucléicos (ADN e ARN), fosfatos de inositol, fosfolipídios, di e trifosfato de adenosina (ADN e ATP) e fosfato de nicotinamida adenina dinucleotídeo (NADP). Por fazer parte destes compostos orgânicos, o P é essencial para a divisão celular, reprodução e metabolismo vegetal. Entretanto, é baixa a eficiência da adubação fosfatada, pois grande parte do P adicionado torna-se imóvel ou não-disponível, em virtude de reações de adsorção em colóides minerais, precipitação ou conversão em formas orgânicas (Holford, 1997). As gramíneas apresentaram maior tolerância ao baixo teor de P no solo que as leguminosas, devido ao maior comprimento radicular, raízes mais finas e mais pêlos radiculares (Caradus, 1980). Os sintomas de deficiência são plantas pouco desenvolvidas, má fecundação, maturação tardia dos frutos, falhas na granação em cereais, folhas de cor verde escura e muitas vezes arroxeadas, e em alguns casos, amarelecimento, secamento e morte das folhas (Bissani et al., 2008).

O K^+ tem alta mobilidade na planta, sendo o cátion mais abundante no citoplasma, também ocorrendo em alta concentração no cloroplasto, estabilizando o pH na planta entre 7,0 e 8,0. Exerce funções reguladoras muito importantes, atuando na síntese de proteínas em plantas superiores e de ATP,

e no processo fotossintético, afetando também a taxa de assimilação do CO₂ e a manutenção do turgor das células-guarda. Os sintomas de deficiência são clorose, necrose, decréscimo no turgor das plantas, maior suscetibilidade à seca, ao congelamento e ao ataque de fungos, e desenvolvimento anormal dos tecidos e organelas das células (Bissani et al., 2008).

O Ca⁺² é um elemento relativamente imóvel na planta e desempenha função estrutural como integrante da parede celular. Sua deficiência afeta principalmente o crescimento das raízes, sendo os sintomas caracterizados por clorose internerval nas folhas e morte das gemas apicais, com deformações nas pontas e nas bases das folhas (Sousa et al., 2007).

Dentre as importantes funções do Mg⁺², destacam-se sua participação na composição da clorofila e atuação como ativador de grande número de enzimas. Os sintomas de deficiência caracterizam-se pela presença de manchas ou cloroses internervais das folhas, com ou sem partes necrosadas, e são observados, geralmente, nas folhas mais velhas graças à sua mobilidade na planta (Sousa et al., 2007). Os sintomas de deficiência do Ca⁺² e do Mg⁺² são raramente manifestados devido à inexistência de mecanismos de fixação destes elementos em solos ácidos e às grandes quantidades presentes nos solos com alta CTC, sendo suas necessidades facilmente supridas com a aplicação de corretivos da acidez (Bissani et al., 2008).

A utilização agrícola de solos com baixa fertilidade natural deve-se ao suprimento destes nutrientes e às práticas adequadas de manejo do solo. Com a adubação, elimina-se a diferença entre a exigência da cultura e o fornecimento dos nutrientes pelo solo, compensando as perdas por volatilização, lixiviação, imobilização e erosão (Malavolta, 2006).

O valor fertilizante de um adubo depende do seu teor total de nutrientes e da sua solubilidade no solo. Os adubos nitrogenados e potássicos comercialmente utilizados são solúveis em água, porém alguns adubos fosfatados são insolúveis neste meio. Os adubos nitrogenados apresentam-se nas formas nítrica, amoniacal (ou ambas), orgânica e amídica, com concentrações de N variando de 82% na amônia anidra a menos de 1% nos adubos orgânicos. Os adubos fosfatados podem ser classificados em fosfatos naturais, termofosfatos, fosfatos solúveis e fosfatos parcialmente acidulados e

apresentam variação no teor de P_2O_5 (de 18 a 48%), na solubilidade em água e de granulometria. Os adubos potássicos de origem orgânica apresentam, em geral, baixos teores de K_2O (<5%), enquanto os inorgânicos são obtidos de rochas potássicas e, de acordo com a sua composição, processo de extração e beneficiamento industrial, podem conter até 60% de K_2O (Bissani et al., 2008).

De acordo com o tipo de solo e de cultura, a utilização de fertilizantes e corretivos da acidez do solo é necessária e deve ser otimizada, visando à sua maior eficiência imediata e residual. O descarte de alguns resíduos no solo tornou-se uma prática recomendada, pois, dependendo do tipo do material, pode aumentar os teores de carbono orgânico (CO), de outros nutrientes e da CTC, promover melhorias nas características físicas e químicas do solo e no ambiente radicular, além de maior produtividade e menores custos de produção. Entretanto, muitos resíduos orgânicos podem apresentar potencial poluidor ou contaminante, sendo as principais restrições relacionadas às excessivas quantidades de N, de elementos metálicos e de compostos inorgânicos e/ou orgânicos tóxicos adicionadas ao solo, além de patógenos e vetores de doenças (Abreu Jr. et al., 2005).

Para o descarte de resíduos orgânicos em solos agrícolas, aspectos como: legislação vigente; monitoramento periódico dos efeitos no solo, na água e na planta; quantidade de nutrientes fornecidos; complementação com adubação mineral; custos com transporte e aplicação, bem como a relação custo/benefício devem ser considerados e comparados com as práticas agrícolas convencionais. A substituição total ou parcial dos insumos agrícolas dependerá do tipo e da dose aplicada do resíduo orgânico (Abreu Jr. et al., 2005).

No Brasil, há necessidade de regulamentar a aplicação de resíduos orgânicos em solos agrícolas. A caracterização dos resíduos pode ser feita conforme a Norma NBR 10004 e o uso dos critérios estabelecidos na Norma P 4.230, para o gerenciamento agrícola. A taxa de aplicação do resíduo orgânico deve ser estabelecida pelo teor de N disponível para a cultura, pelo poder de neutralização da acidez do solo e pela quantidade de metais pesados no resíduo, com base no mais restritivo destes critérios. A adoção de padrões de qualidade contribui para a produção e comércio de produtos que ainda não são considerados resíduos (Abreu Jr. et al., 2005).

Há muitos adubos orgânicos e resíduos com potencial para serem utilizados na agricultura; porém, os teores de nutrientes e metais são muito variáveis e dependem dos materiais utilizados na preparação dos mesmos. Caso não haja informações de pesquisas anteriores sobre a avaliação do seu efeito fertilizante, recomenda-se conduzir um teste prévio em vasos, utilizando-se um solo com teores muito baixos de matéria orgânica (M.O.), P e K⁺. Desta maneira, são determinadas as curvas de resposta de uma cultura à adubação mineral e à adição de diferentes doses destes materiais (Bissani et al., 2008).

Neste sentido, justifica-se a relevância deste trabalho na tentativa de reduzir um problema ambiental pela utilização agrícola do resíduo obtido do mexilhão dourado. Em comparação às técnicas disponíveis de erradicação deste bioinvasor, esta seria uma alternativa de melhor destinação do resíduo gerado na limpeza dos locais afetados por grandes incrustações deste molusco, possibilitando a ciclagem de nutrientes e redução do consumo de recursos finitos no setor agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar o potencial de utilização agrícola do resíduo moído de mexilhão dourado (RMD) foram conduzidos dois estudos:

Estudo I – “Utilização do resíduo moído de mexilhão dourado (RMD) como corretivo da acidez do solo”. Neste trabalho, foram utilizados os dados obtidos num experimento em vasos, com um Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd), de acidez moderada, iniciado em 2005 e mantido até a presente data.

Estudo II – “Utilização de RMD como fonte de macronutrientes para as plantas”. Para este trabalho foram feitos três experimentos em vasos, com um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (PVAd), de baixa fertilidade e acidez moderada, nos anos de 2007 e 2008.

3.1 Resíduo moído de mexilhão dourado

Em 2004 e em 2007, foram coletadas amostras de colônias de mexilhão dourado no Lago Guaíba (vila de Itapuã), no município de Viamão, RS.

As colônias de mexilhão dourado foram coletadas manualmente dos substratos onde estavam fixadas, sendo estes: cascos de embarcações, redes de pesca, troncos de madeira, pedras do fundo do lago, entre outros materiais presentes no local que foram colonizados por este molusco devido à sua capacidade de fixação. Após a coleta, as colônias de moluscos foram secas em estufa com renovação de ar (65°C), por um período mínimo de 48 horas e trituradas em moinho de martelos. A estocagem deste material “in natura” é

inviável, devido ao desprendimento de mau odor gerado pela decomposição do organismo.

A composição química do resíduo moído de mexilhão dourado pode ser variável entre colônias, local e época de coleta, bem como pela presença de descargas poluidoras nos corpos de água, pelo fato do mexilhão dourado ser um animal filtrador, retirando da água as partículas de alimento e o oxigênio que circula em suas brânquias.

Os teores de macronutrientes e o poder de neutralização (PN) do RMD afetam a eficiência da adição do mesmo no solo. A caracterização química do RMD coletado em 2004 e 2007 e utilizado nos Estudos I e II, respectivamente, é apresentada na Tabela 1. A distribuição granulométrica das partículas pode também ser variável, conforme a intensidade de moagem do equipamento utilizado para esta finalidade. Como as colônias do molusco contêm material fibroso, a moagem mais fina é também mais onerosa, diminuindo a aplicabilidade deste material para fins agrícolas.

TABELA 1. Caracterização química e granulométrica do resíduo moído de mexilhão dourado (RMD) coletado em 2004 e 2007

Determinações	Ano de coleta	
	2004 ⁽¹⁾	2007 ⁽²⁾
----- Químicas -----		
N total (g kg ⁻¹)	22,0	13,3
P total (g kg ⁻¹)	1,6	2,3
K total (g kg ⁻¹)	0,8	0,5
Ca total (g kg ⁻¹)	239,0	330,0
Mg total (g kg ⁻¹)	1,0	0,8
Poder de neutralização (%)	73,0	64,0
----- Análise granulométrica (% - mm ⁻¹) -----		
Fração (mm)		
> 2,00	0,4	15,7
2,00 – 0,84	34,1	52,7
0,80 – 0,30	38,0	26,0
< 0,30	27,5	5,6

⁽¹⁾ Moído em moinho de martelos com peneira de 2,00 mm de diâmetro de orifícios.

⁽²⁾ Moído em moinho de martelos sem peneira.

3.2 Solos utilizados nos experimentos

No Estudo I foi utilizado um Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd) (Tabela 2), pertencente à Unidade de Mapeamento São Jerônimo (Streck et al., 2008), coletado na camada de zero a 20 cm, na Estação Experimental Agronômica da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no município de Eldorado do Sul, RS.

No Estudo II foi utilizado um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (PVAd) (Tabela 2), pertencente à Unidade de Mapeamento Itapuã (Streck et al., 2008), coletado na camada de zero a 20 cm, no município de Viamão, RS.

Os Argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos e bem drenados, apresentando um perfil com uma seqüência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, onde o horizonte Bt é do tipo textural contendo argila com baixa CTC. Esses solos podem ser originados de diversos tipos de rochas, como os basaltos, granitos, arenitos e outros sedimentos, ocupando, em termos percentuais, a maior parte da área territorial do estado do Rio Grande do Sul (Streck et al., 2008).

TABELA 2. Caracterização física e química dos solos utilizados nos estudos

Parâmetros ⁽³⁾	Solo PVd ⁽¹⁾ (Estudo I)	Solo PVAd ⁽²⁾ (Estudo II)
pH (H ₂ O)	5,0	5,2
Índice SMP	5,7	7,0
P disponível (mg dm ⁻³)	1,8	2,8
K trocável (mg dm ⁻³)	55	17
Al trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,9	0,2
Ca trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,7	0,3
Mg trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,4	0,3
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	6,2	1,4
CTC (cmol _c dm ⁻³)	7,4	2,0
M.O. (g dm ⁻³)	23	5
Argila (g dm ⁻³)	220	90

⁽¹⁾ Argissolo Vermelho distrófico típico. ⁽²⁾ Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico.

⁽³⁾ Determinações conforme metodologia proposta por Tedesco et al.(1995).

3.3 Estudo I – Utilização do RMD como corretivo da acidez do solo

O valor corretivo da acidez do solo apresentado pelo RMD foi inicialmente estudado como parte dos objetivos de um experimento conduzido em vasos, iniciado em 2005, comparando-se diferentes materiais e fertilizantes. A descrição detalhada do mesmo é apresentada no Anexo 1.

3.3.1 Tratamentos

Foram inicialmente utilizados neste experimento 23 tratamentos (descritos no Anexo 1), com três repetições, em vasos de PVC, contendo 6 kg de solo Pvd, sendo o trabalho inicialmente conduzido em casa de vegetação e posteriormente a céu aberto, no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS. Para o presente trabalho foram utilizados os tratamentos relacionados na Tabela 3.

TABELA 3. Tratamentos utilizados no Estudo I

Tratamentos		PN	Dose
Nº	Denominação	(%)	(t ha ⁻¹)
T ₁	Testemunha	-	-
T ₁₇	Calcário (0,5 SMP) ⁽¹⁾	100	2,4
T ₅	Calcário (1 SMP) ⁽¹⁾	100	4,8
T ₁₈	Calcário (2 SMP) ⁽¹⁾	100	9,6
T ₁₀	RMD fina (RMDf ₁) ⁽²⁾	73,0	6,6
T ₁₁	RMD grossa (RMDg ₁) ⁽³⁾	73,0	15,7
T ₁₂	RMD grossa (RMDg ₂)	73,0	31,4

⁽¹⁾ Calcário (CaCO₃ + MgCO₃, 3:1 em peso), na quantidade recomendada pelo Índice SMP para atingir pH 6,0 (em água).

⁽²⁾ Resíduo de conchas moídas de mexilhão dourado (RMD) com moagem fina (partículas < 0,3 mm).

⁽³⁾ Resíduo de conchas moídas de mexilhão dourado (RMD) com moagem grossa (partículas com granulometria especificada na Tabela 1).

3.3.2 Condução do estudo

As quantidades de corretivo e de RMD foram calculadas considerando-se o peso de solo de $2,0 \times 10^6$ kg ha⁻¹ (base seca), conforme a análise de solo (Tabela 2) e nas doses recomendadas (SBCS/NRS, 2004). O calcário e o RMD foram homogeneizados e misturados com o solo.

Em março de 2005 foram aplicados os tratamentos e cultivado o milho (*Zea mays* L.) (cultivar Agroceres AG 303). No inverno do mesmo ano foi cultivada aveia (*Avena sativa*) e novamente o milho na primavera, sendo o mesmo colhido em dezembro desse ano.

A condução destes cultivos foi parte das atividades da disciplina AGR03005 - Fertilidade do Solo do Curso de Graduação da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Os dados de produção vegetal não serão discutidos neste trabalho, sendo apresentados no Anexo 1.

Foram coletadas amostras de solo de cada vaso aos 75 dias (após o primeiro cultivo do milho) e a um ano após a mistura dos tratamentos. Após este período, o material das três repetições foi misturado e deixado a céu aberto, em vasos de 40 L de capacidade, sendo amostrado para análise aos 24, 36 e 48 meses após a aplicação dos tratamentos.

3.4 Estudo II - Utilização do RMD como fonte de macronutrientes para as plantas

Foram utilizados neste estudo os resultados obtidos em três experimentos, utilizando-se um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (PVAd), com baixa fertilidade natural e com baixos teores de matéria orgânica e de argila (Tabela 2).

Os experimentos foram conduzidos em vasos contendo 6 kg de solo (5,5 L), em área cercada, situada em local próximo às casas de vegetação do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS, nos anos de 2007 e 2008.

Os dados obtidos nos três experimentos serão apresentados e discutidos conjuntamente neste estudo.

3.4.1 Tratamentos

Foram utilizados neste estudo os tratamentos comuns aos três experimentos, especificados na Tabela 4, que possibilitam determinar as respostas das plantas às adições de N e de P supridos por adubos minerais (uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio – T₂ a T₈) e o efeito fertilizante de RMD (T₉ a T₁₁).

As quantidades de fertilizantes minerais e de corretivos aplicadas são dadas na Tabela 4, tendo sido utilizado o RMD coletado em 2007, cujas características são dadas na Tabela 1.

TABELA 4. Tratamentos utilizados no Estudo II ⁽¹⁾

Tratamentos		Descrição
Nº	Denominação	
T ₁	Testemunha	Sem adição de adubo mineral ou resíduo
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca ⁽²⁾	Adubo mineral (sem N) + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	Adubo mineral (sem P) + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₉	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD ⁽³⁾	Adubo mineral (sem P) + resíduo moído de mexilhão dourado (6 t ha ⁻¹)
T ₁₀	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD ⁽³⁾	Adubo mineral (sem N) + resíduo moído de mexilhão dourado (6 t ha ⁻¹)
T ₁₁	RMD	Resíduo moído de mexilhão dourado (6 t ha ⁻¹)

⁽¹⁾ Doses aplicadas de adubo mineral:

N₀ = 0; N₁ = 40; N₂ = 80; N₃ = 160 kg de N ha⁻¹, na forma de uréia (45% de N);

P₀ = 0; P₁ = 30; P₂ = 60; P₃ = 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹, na forma de superfosfato triplo (45% P₂O₅);

K₀ = 0; K₁ = 60 kg de K₂O ha⁻¹, na forma de KCl (60% de K₂O).

⁽²⁾ Calcário: CaCO₃ + MgCO₃ (3:1 em peso, com PRNT 100%).

⁽³⁾ Resíduo de conchas moídas de mexilhão dourado (RMD) coletado em 2007, caracterizado na Tabela 1.

O cálculo das quantidades de adubos e corretivos a aplicar foi feito considerando-se 2,0 x 10⁶ kg ha⁻¹ (base seca) e de conformidade com a análise de solo (Tabela 2). Os fertilizantes (superfosfato triplo e cloreto de potássio), o corretivo da acidez (calcário) e o RMD foram misturados com o solo no início dos experimentos (semeadura das plantas). O adubo nitrogenado foi aplicado em cobertura (uréia em solução).

3.4.2 Condução dos experimentos

Experimento A (Anexo 2)

Este experimento foi iniciado em 13/03/2007 sendo cultivado o milho (PIONEER), a céu aberto, com duas repetições.

A adubação nitrogenada (uréia em solução) foi feita em cobertura ($1/2$ em 04/04/07 e $1/2$ em 19/04/07), e a parte aérea das plantas foi colhida em 31/05/07 a aproximadamente 72 dias da emergência das plantas. No Anexo 2 são apresentados os detalhes da metodologia adotada e tratamentos utilizados, bem como dos resultados obtidos.

Experimento B (Anexo 3)

Este experimento foi iniciado em 05/03/2008, semeando-se a seguir o milho (cultivar Santa Helena), com três repetições, sendo mantido sob proteção de telhas de fibra de vidro translúcidas, para impedir o aporte de água pluvial nos vasos.

A adubação nitrogenada (uréia em solução) foi feita em cobertura ($1/2$ antes da semeadura e $1/2$ aos 15 dias de cultivo após a emergência das plantas). A parte aérea das plantas foi colhida em 12/05/2008, sendo a seguir seca em estufa para quantificação e moagem.

Em 27/06/08 foi semeada a cultura de aveia, para avaliação do efeito residual dos materiais aplicados. A adubação nitrogenada (uréia em solução) foi parcelada ($1/3$ antes da semeadura e os $2/3$ restantes aos 18 e 30 dias de cultivo após a emergência das plantas). O corte da parte aérea das plantas foi feito em 29/08/08, sendo o material colhido seco em estufa para quantificação e moagem. No Anexo 3 são apresentados os detalhes da metodologia adotada, bem como os resultados obtidos.

Experimento C (Anexo 4)

Este experimento foi iniciado em 18/03/2008, sendo cultivado o milho (Santa Helena), a céu aberto, com duas repetições. A adubação nitrogenada (uréia em solução) foi feita $1/3$ aos sete dias e $2/3$ aos 35 dias após a emergência das plântulas, que ocorreu sete dias após a semeadura.

A 27/05/08 a parte aérea das plantas foi cortada, sendo a seguir seca e quantificada. Amostras compostas pelas duas repetições de solo foram coletadas para análise. No Anexo 4 são apresentados os detalhes da metodologia adotada e tratamentos utilizados, bem como dos resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo I – Utilização do RMD como corretivo da acidez do solo

Serão apresentados a seguir os resultados das determinações de pH (em água) e os teores de Ca^{+2} trocável do solo determinados em diferentes datas, ao longo do período do experimento.

4.1.1 Variação temporal do pH do solo

Na Tabela 5 são apresentados os valores de pH (em água) do solo determinados a 2,5 meses e anualmente, após a aplicação dos tratamentos, por um período de tempo de 48 meses. Pode-se observar um rápido aumento inicial do pH do solo com adição de calcário (tratamentos T₁₇, T₅ e T₁₈). Este fato pode ser devido à reação mais rápida do corretivo em pó, contendo CaCO_3 e MgCO_3 (produtos comerciais). Pode ter ocorrido também a presença de partículas do corretivo sem reagir neste curto período de tempo (2,5 meses); a suspensão do corretivo em água, neste caso, pode propiciar um equilíbrio aquoso de valor mais elevado, conforme o produto de solubilidade (Kps) dos materiais corretivos.

TABELA 5. Valores do pH (em água) do solo no tempo, após a aplicação dos tratamentos

Tratamentos		Meses				
Nº	Denominação	2,5	12	24	36	48
T ₁	Testemunha	4,2	4,2	4,5	4,2	4,2
T ₅	N ₁ P ₃ K ₁ + ca ₁	7,1	6,3	6,2	6,0	5,7
T ₁₀	N ₁ P ₃ K ₁ + RMDf ₁	6,3	6,4	6,5	6,1	5,8
T ₁₁	N ₁ P ₃ K ₁ + RMDg ₁	5,9	7,1	7,3	7,4	7,0
T ₁₂	N ₁ P ₃ K ₁ + RMDg ₂	6,4	7,4	7,5	7,6	7,4
T ₁₇	N ₁ P ₃ K ₁ + ca _{0,5}	6,2	5,5	6,0	5,6	5,5
T ₁₈	N ₁ P ₃ K ₁ + ca ₂	7,6	7,4	7,6	7,4	6,6

Os valores do pH em água decrescem a seguir com as aplicações de 2,4 e 4,8 t de corretivo ha⁻¹ (T₁₇ e T₅, respectivamente), correspondentes às doses de 0,5 e 1,0 SMP. O mesmo não foi observado com a adição da dose mais alta do corretivo (T₁₈) em que foi aplicada a quantidade de 9,6 t ha⁻¹, equivalente a 2 SMP. Neste caso foi observado decréscimo do valor do pH somente na determinação feita a 48 meses; o decréscimo do valor do pH determinado nessa data de amostragem pode ser devido à lixiviação de bases, tendo em vista que o solo está sendo mantido nos vasos, a céu aberto, ocorrendo portanto a reacidificação natural do mesmo, nas condições climáticas locais que apresentam alta precipitação média anual.

As variações dos valores de pH do solo no tempo podem ser melhor observadas na Figura 1a, em que é claramente observado decréscimo do pH em água até a amostragem efetuada a 48 meses.

A variação dos valores de pH (em água) nos tratamentos com adição do RMDg (com moagem grossa), entretanto, apresentou um aumento mais moderado em relação ao observado com a aplicação de calcário. Nesse caso, o aumento mais pronunciado do pH foi observado no primeiro ano, continuando, entretanto até o terceiro ano, e diminuindo na amostragem feita a 48 meses, conforme pode ser observado na Figura 1b. Foram adicionadas as quantidades do RMDg equivalentes a 15,7 e 31,4 t ha⁻¹ nos tratamentos T₁₁ e T₁₂, respectivamente, atingindo valores de pH do solo maiores que 7,0 na

amostragem efetuada a 12 meses. Valores de pH maiores que 7,0 foram determinados até a amostragem feita a 36 meses. Na amostragem efetuada a 48 meses foi observada tendência de decréscimo do pH, à semelhança do que foi observado com a aplicação do calcário. Este fato indica, portanto, que a taxa de liberação de bases do RMDg é inicialmente menor, mantendo, entretanto, um efeito residual mais prolongado.

Os valores de pH em água determinados no tratamento com adição do RMDf (moído fino) também apresentaram tendência de decréscimo a partir do segundo ano, com o valor de 6,5 na amostra coletada a 24 meses. A quantidade aplicada foi de 6,6 t ha⁻¹, suficiente para manter o pH do solo maior que 6,0 por 36 meses. Deve-se ressaltar, entretanto, que a moagem do resíduo para obter esta granulometria é muito onerosa, pela presença de material orgânico.

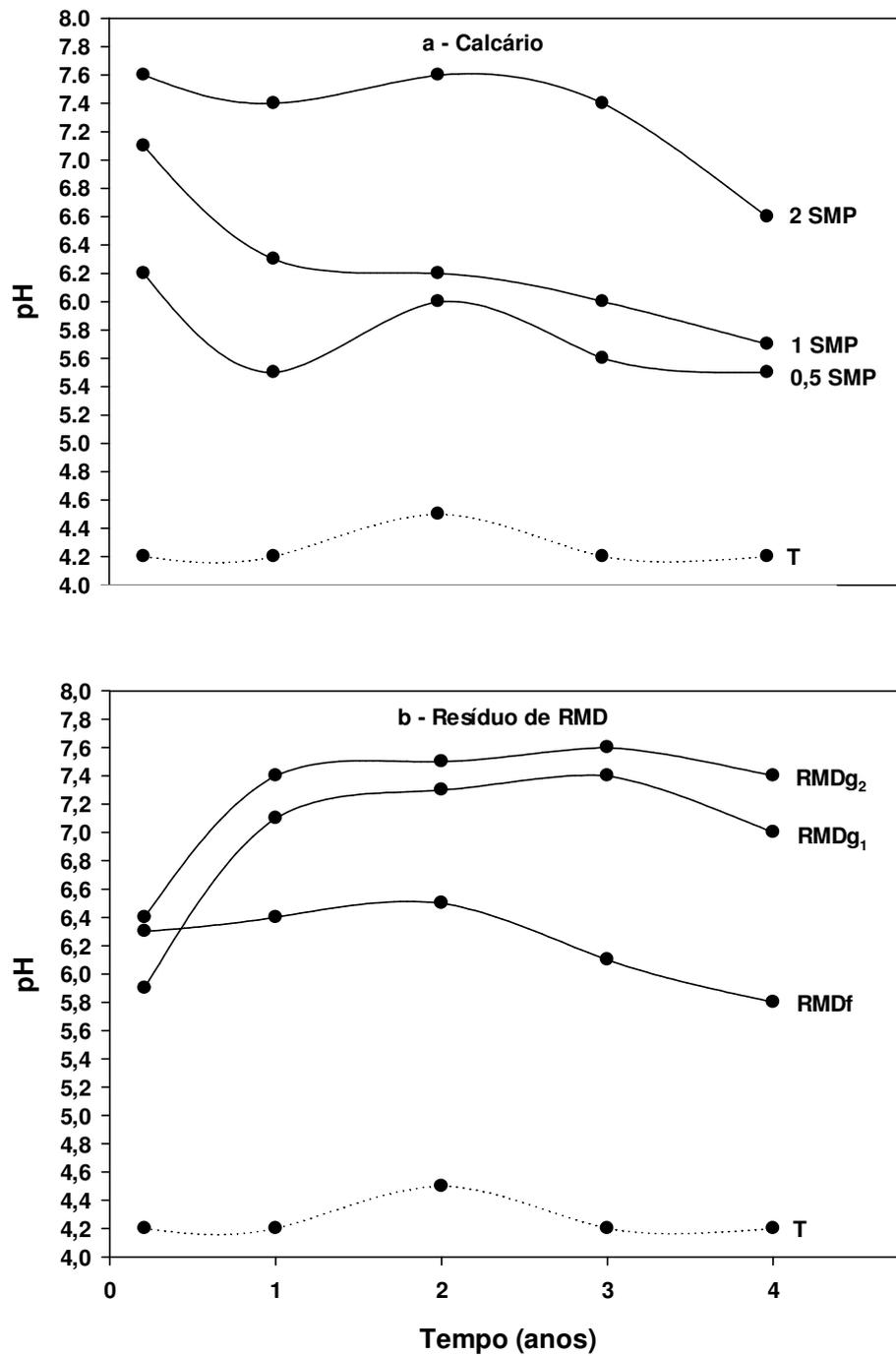


FIGURA 1. Variação temporal do pH em água do solo com a aplicação de calcário (a) e de RMD (b).

4.1.2 Reatividade do RMD

A reatividade de um material corretivo alcalino (que libera OH^- para o meio aquoso) depende de sua composição química, mistura de componentes, diâmetro de partículas, cristalinidade e homogeneização no meio ácido. No caso de calcários dolomíticos, que contêm teores $\geq 5\%$ de MgO (SBCS/NRS, 2004), usados preferencialmente na correção de solos ácidos, é considerado um tempo de reação médio de 24 meses, sendo estabelecidas quatro frações granulométricas, a saber:

- a) Material retido na peneira com 2,00 mm de diâmetro de orifícios (ABNT 10), que não apresenta reatividade no período especificado (Pandolfo & Tedesco, 1996);
- b) Fração passante na peneira de 2,00 mm e retida na de 0,84 mm de diâmetro de orifícios (ABNT 20), que apresenta reatividade de 20% em relação ao CaCO_3 (padrão), em pó;
- c) Fração passante em peneira de 0,84 mm e retida na de 0,30 mm de diâmetro de orifícios (ABNT 50), com reatividade de 60% em relação ao CaCO_3 , em pó; e,
- d) Fração fina (passante em peneira ABNT 50), com reatividade equivalente à do CaCO_3 (100%) em pó.

Com base nesses resultados, obtidos em experimentos de longa duração, em condições de campo, no estado do Rio Grande do Sul e em observações obtidas em outros estudos, estes índices foram adotados na legislação brasileira (BRASIL, 2006) para estabelecer a reatividade dos corretivos agrícolas destinados à neutralização de acidez dos solos.

A reatividade dos corretivos (RE), aliada ao Poder de Neutralização (PN) dos mesmos, o qual indica a sua capacidade total de liberação de oxidrilas, constitui o Poder de Neutralização Total (PRNT) do material utilizado como corretivo da acidez. O valor do PRNT do CaCO_3 (em pó) é de 100%, índice adotado como padrão para os corretivos da acidez do solo (BRASIL, 2006). O cálculo desse índice é dado por (em % de peso):

$$PRNT = \frac{(PN \times RE)}{100}$$

Deve-se ressaltar que o valor do PN pode ser maior que 100, caso o corretivo apresente MgCO_3 ou óxidos ou hidróxidos na sua composição (Bissani et al., 2008).

Com base nestas considerações foram elaboradas as curvas de neutralização do solo pela aplicação de calcário e do RMD, adotando-se os valores de pH (em água) obtidos nas curvas estabelecidas na Figura 1.

Os gráficos obtidos são apresentados na Figura 2. Considerando-se o nível de pH 6,0, indicado para a maioria das culturas comerciais (SBCS/NRS, 2004) e com base no período de tempo de 24 meses de reação, foram determinadas as quantidades de 3,6 e 5,7 t ha^{-1} de calcário e do RMDg, respectivamente. A relação entre os valores das quantidades do RMDg e de calcário é de 1,6. Este resultado indica que o RMDg apresentou 60% do efeito corretivo do calcário (com PRNT 100). Seria necessário, portanto, 1,6 t ha^{-1} do RMDg para obter o mesmo efeito corretivo da acidez do solo de 1,0 t ha^{-1} de calcário (com PRNT 100).

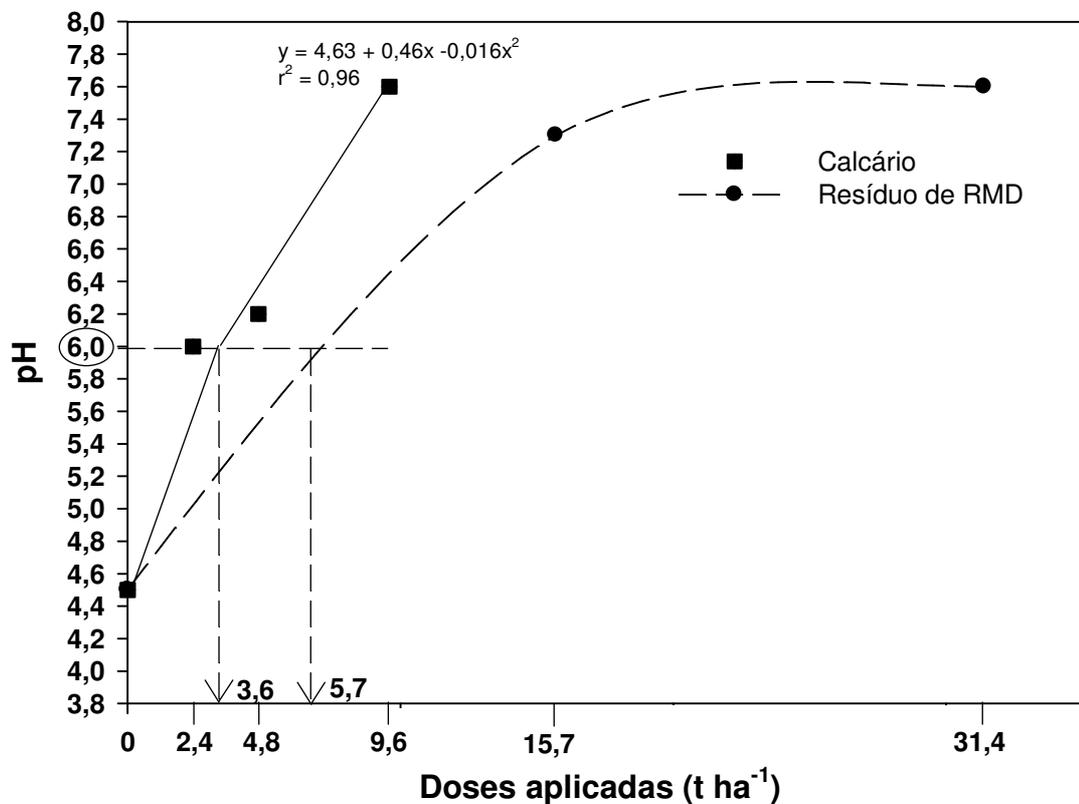


FIGURA 2. Variação do pH do solo (em água) a 24 meses após a aplicação dos tratamentos.

A reatividade do RMDg calculada conforme os índices adotados pela legislação brasileira (BRASIL, 2006) seria de 57,1%, e seu valor de PRNT de 41,7%. Considerando-se, entretanto, os valores de 3,6 e 5,7 t ha⁻¹, acima estabelecidos, o valor do PRNT do RMDg deveria ser de 63%, com uma reatividade de 86%. Pode-se inferir, portanto, que a solubilidade do CaCO₃ das conchas é maior que a apresentada pelo calcário utilizado nos experimentos, em que foi avaliada a reatividade dos calcários comerciais que apresentam maior grau de cristalinidade.

4.1.3 Teores de cálcio no solo

Os teores de Ca⁺² trocável determinados até 48 meses após a aplicação dos tratamentos são dados na Tabela 6. Pode-se observar, no caso da utilização de calcário (Figura 3a), que mesmo a aplicação de metade da quantidade recomendada para elevar o pH a 6,0 (0,5 SMP) manteve o teor de Ca⁺² maior que 2 cmol_c dm⁻³ até 48 meses após o início do experimento, valor considerado adequado para o crescimento das plantas (SBCS/NRS, 2004). A tendência de decréscimo dos teores de Ca⁺² foi observada a partir de 36 meses, à semelhança do que foi observado para os valores de pH em água (Figura 1a).

TABELA 6. Teores de Ca⁺² trocável do solo nas diferentes datas de amostragem após o início do experimento

Tratamentos		Meses				
Nº	Denominação	2,5	12	24	36	48
----- cmol _c dm ⁻³ -----						
T ₁	Testemunha	0,9	0,6	0,6	0,6	0,8
T ₅	N ₁ P ₃ K ₁ + ca ₁	5,3	3,4	3,6	4,1	3,0
T ₁₀	N ₁ P ₃ K ₁ + RMDf ₁	5,4	4,1	4,8	5,6	4,8
T ₁₁	N ₁ P ₃ K ₁ + RMDg ₁	4,8	6,8	8,4	9,2	8,1
T ₁₂	N ₁ P ₃ K ₁ + RMDg ₂	6,8	7,1	9,4	9,7	10,3
T ₁₇	N ₁ P ₃ K ₁ + ca _{0,5}	3,3	2,4	3,1	3,6	3,0
T ₁₈	N ₁ P ₃ K ₁ + ca ₂	6,6	5,9	5,6	7,5	6,0

O teor de Ca^{+2} do solo aumentou até a amostragem efetuada a 48 meses, no caso da aplicação da maior dose do RMDg. O teor de Ca^{+2} trocável do solo, entretanto, decresce a partir de 36 meses de amostragem, com a redução de quantidade de resíduo aplicada. Esta observação indica que a taxa de liberação deste nutriente no solo foi menor que a propiciada pela lixiviação de cátions, devido à elevada precipitação local.

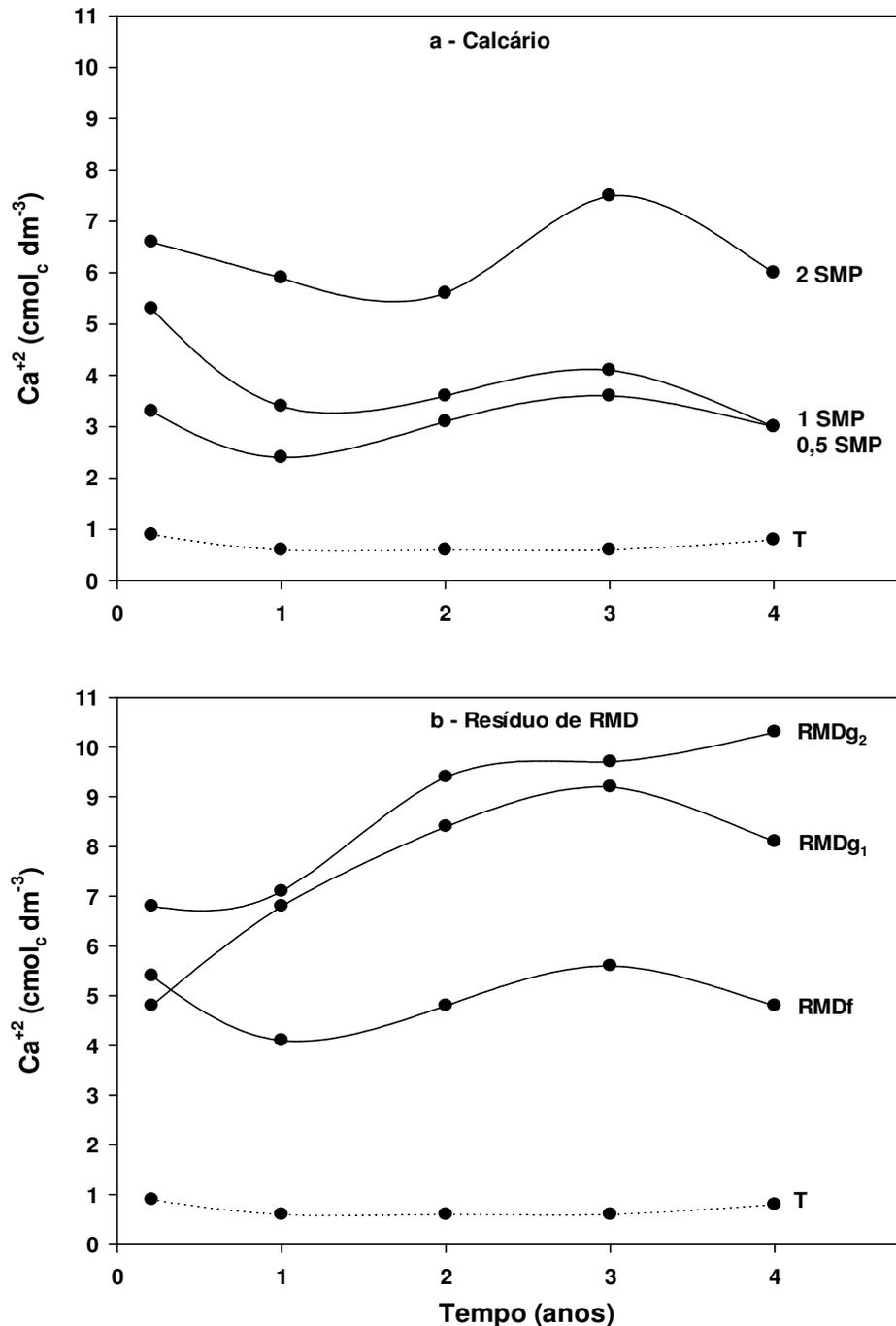


FIGURA 3. Variação temporal do Ca^{+2} trocável do solo com a aplicação de calcário (a) e do RMD (b).

4.2 Estudo II - Utilização do RMD como fonte de macronutrientes para as plantas

Foram conduzidos em 2007 e 2008 três experimentos em vasos utilizando-se um solo PVAd (Tabela 2), sendo cultivado o milho. Os tratamentos comuns aos três experimentos são apresentados na Tabela 4, tendo sido também adicionadas quantidades iguais de adubos/corretivos nos mesmos. Os resultados obtidos serão, portanto apresentados e discutidos conjuntamente. A descrição detalhada destes experimentos é apresentada nos Anexos 2, 3 e 4.

4.2.1 Efeitos das adições de adubos minerais e do RMD no rendimento de matéria seca da parte aérea do milho

Na Tabela 7 é apresentado o rendimento médio de matéria seca (MS) da parte aérea do milho. Pode-se observar que o menor rendimento foi obtido no tratamento testemunha (T_1), devido à baixa fertilidade natural do solo, que possibilita, portanto, uma determinação mais exata da capacidade de suprimento de nutrientes pelos adubos/resíduo utilizados.

Foram observados aumentos de rendimento com as adubações nitrogenada e fosfatada até a dose mais alta adicionada (T_5), sendo o P mais limitante ao rendimento das plantas.

Aumento de rendimento de matéria seca das plantas foi também observado com a adição do RMD, tendo em vista que o mesmo contém 13 g kg^{-1} de N e 2,3 g kg^{-1} de P (Tabela 1), sendo de 2,9 g vaso⁻¹ em relação à testemunha.

As adições de N e P (na forma de adubos minerais) ao RMD (T_9 e T_{10}) também aumentaram os rendimentos de MS das plantas em relação às respectivas testemunhas (T_2 e T_6 , respectivamente). Estes aumentos foram de 7,6 e 11,1 mg vaso⁻¹ para as adições de N e P, respectivamente, indicando que o resíduo pode suprir parte destes nutrientes para as plantas (Anexo 5 – Figura A.5.3).

TABELA 7. Rendimento médio de matéria seca (MS) e quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de milho ⁽¹⁾

Tratamentos		MS	N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Nº	Denominação						
		g vaso ⁻¹	----- mg vaso ⁻¹ -----				
T ₁	Testemunha	3,0	35,0	5,0	79,2	18,6	20,9
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca	9,5	82,5	29,0	264,5	41,6	58,0
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	22,7	182,8	47,2	407,9	100,6	121,1
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	29,2	236,9	46,4	440,3	131,4	150,5
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	35,6	374,0	52,8	411,3	175,0	220,7
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	5,6	106,5	5,9	148,1	26,5	31,8
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	21,3	287,6	21,4	484,2	105,6	109,3
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	29,1	340,4	33,6	443,9	137,3	155,1
T ₉	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD	17,1	138,5	50,6	434,3	87,8	92,7
T ₁₀	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD	16,7	278,7	17,1	326,4	94,6	79,4
T ₁₁	RMD	5,9	78,6	6,8	108,6	47,1	42,0

⁽¹⁾ Médias dos três experimentos.

A resposta das plantas à adubação depende da capacidade de aumentar a produção de biomassa com o maior suprimento do nutriente, sendo usualmente avaliada por curvas ou superfícies de resposta, aplicando-se doses crescentes de nutrientes e ajustando-se as produções obtidas a funções matemáticas. Desta forma, o teor crítico dos nutrientes no solo corresponde a aproximadamente 90% do rendimento máximo da cultura, cujo valor corresponde ao máximo retorno econômico (Araújo, 2000; Bissani, et al., 2008).

As doses de adubos nitrogenado e fosfatado foram aplicadas para obter curvas de resposta de rendimento das plantas à adubação mineral.

O maior rendimento de plantas (Tabela 7) foi obtido com as doses máximas de N e de P (T₅), sendo considerado rendimento máximo (100%) e com base neste valor foi calculado o rendimento relativo dos demais tratamentos. Na Figura 4 é apresentado o rendimento relativo de milho em

função das doses aplicadas de N, de P e do RMD, na média dos três experimentos.

Pode-se observar que as curvas de resposta às adições de N e de P minerais foram semelhantes, aumentando com as doses adicionadas. Sem adição de P, entretanto, o rendimento de MS do milho foi semelhante ao obtido no tratamento testemunha, indicando a muito baixa disponibilidade deste nutriente no solo utilizado. No mesmo gráfico podem ser posicionados os rendimentos relativos obtidos com as adições do RMD (tratamentos T₉ e T₁₀, sem N e P, respectivamente).

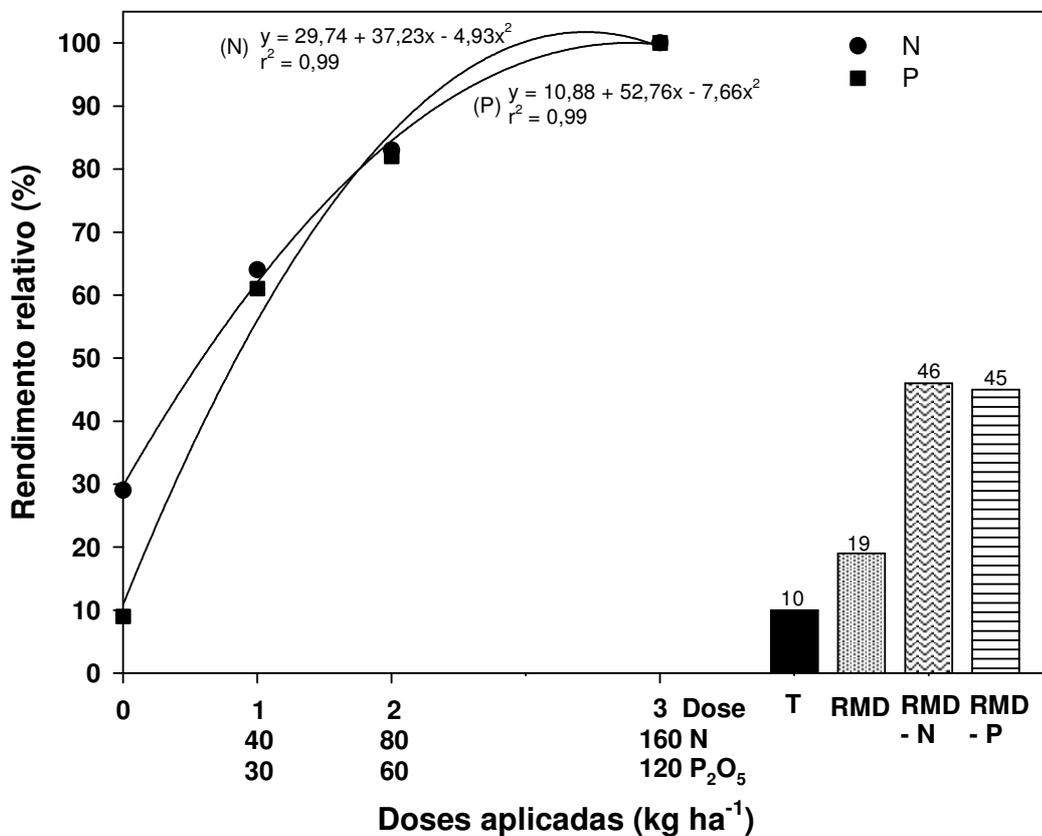


FIGURA 4. Rendimento relativo médio de MS da parte aérea do milho com a adição de adubos minerais e com o RMD (médias de três experimentos).

A aplicação do RMD (T₁₁) propiciou um aumento de rendimento de 90% em relação à testemunha. A adição de P e K ao RMD (T₉) aumentou o rendimento de MS do milho até 40% do máximo. Este aumento foi devido à mineralização do N da matéria orgânica do solo e à disponibilização deste nutriente contido no RMD. A adição de N e K⁺ ao resíduo (T₁₀) possibilitou

atingir 45% do rendimento máximo de MS do milho, devido à absorção de P do solo e do RMD pelas plantas.

Para determinar a contribuição efetiva do RMD no suprimento de N e P para as plantas devem ser descontados os efeitos da contribuição natural do solo em nutrientes - tratamentos com os níveis zero de N ou P (T_2 e T_6 , respectivamente) com adubo potássico e com corretivo. As curvas de resposta assim obtidas são apresentadas na Figura 5.

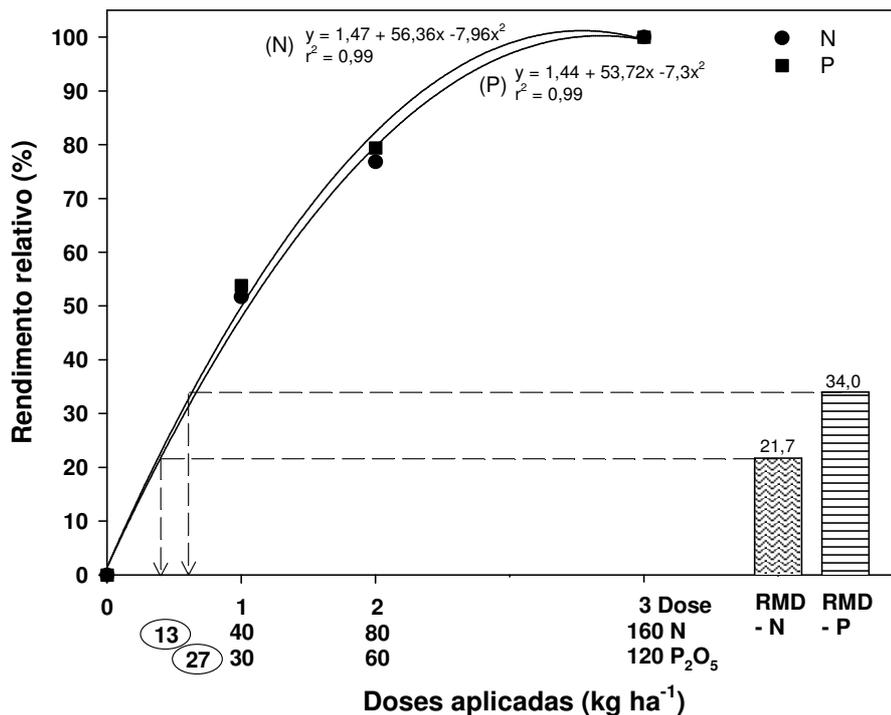


FIGURA 5. Rendimento relativo médio de MS da parte aérea do milho, subtraindo-se os valores das testemunhas (médias de três experimentos).

O estudo dos valores obtidos com base nestas curvas de resposta das plantas às adições dos adubos minerais possibilita o estabelecimento das frações dessas respostas devidas às contribuições do resíduo no suprimento destes nutrientes. Os pontos de equivalência dos valores relativos dos tratamentos T_9 e T_{10} com as respectivas curvas de resposta indicam (no eixo x) os valores das contribuições em N e P do resíduo, comparativamente às adições de adubos minerais.

Pode-se observar na Figura 5 que a adição do RMD na dose 6 t ha^{-1} propiciou um efeito equivalente às adições de 13 kg de N e 17 $\text{kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$

nas formas de uréia e superfosfato triplo, respectivamente. Considerando-se os teores de N e P do RMD (Tabela 1) e a quantidade adicionada (6 t ha^{-1}), pode-se calcular uma liberação de 16% do N total e 54% do P total adicionados pelo resíduo.

4.2.2 Efeitos das adições de adubos minerais e do RMD na absorção de macronutrientes pelo milho

As quantidades de macronutrientes contidas na parte aérea do milho são dadas na Tabela 7. Pode-se observar que os valores são menores no tratamento testemunha (T_1), devido à baixa fertilidade natural do solo. As quantidades mais elevadas de N, P, Ca^{+2} e Mg^{+2} foram determinadas no tratamento com as maiores adições de adubo mineral e calcário (T_5).

No tratamento com a maior adição de adubo mineral (T_5) foram determinadas as quantidades de 374 e 53 mg vaso^{-1} de N e P contidos na parte aérea das plantas, respectivamente. No tratamento com a adição do RMD (T_{11}) as quantidades destes nutrientes foram de 79 e 7 mg vaso^{-1} , respectivamente, sendo maiores do que as absorvidas no tratamento testemunha (T_1). Este resultado indica que o RMD pode também suprir os nutrientes N e P para as plantas.

Na Figura 6 são mostradas as quantidades de N e P contidas na parte aérea das plantas de milho. Pode-se observar que a absorção de ambos pelas plantas aumentou de forma aproximadamente linear com a adição dos mesmos, até a maior dose aplicada (T_5). As absorções de N e P nos tratamentos com a adição do RMD aumentaram com a suplementação do nutriente em mínimo, tendo em vista que ambos encontram-se em níveis de deficiência no solo (T_9 para N e T_{10} para P).

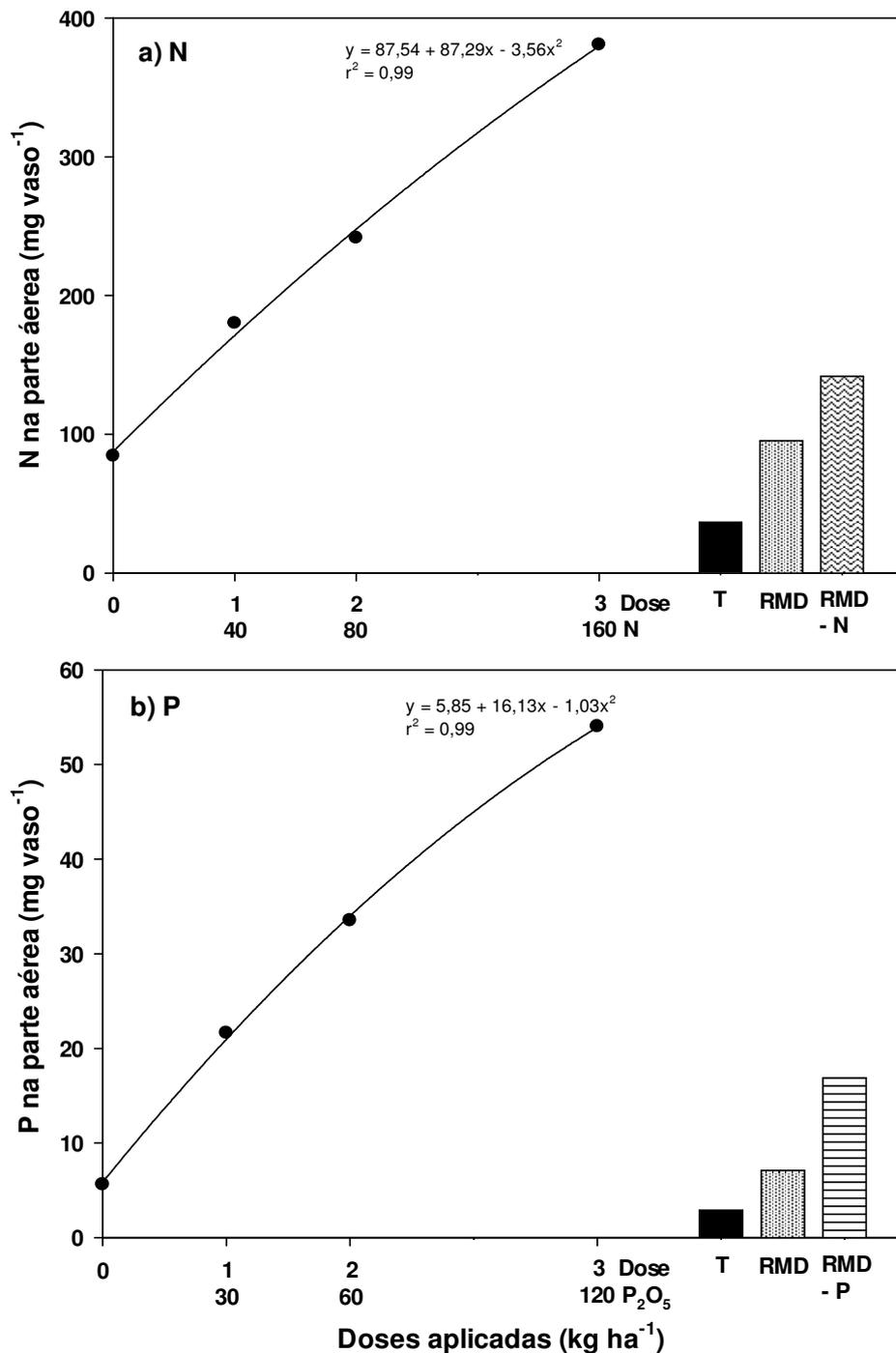


FIGURA 6. Nitrogênio (a) e fósforo (b) contidos na parte aérea das plantas de milho (médias de três experimentos).

Nos tratamentos T_9 e T_{10} não foram adicionados N e P, respectivamente; pode-se determinar, portanto, a capacidade de suprimento destes nutrientes pelo RMD, subtraindo-se as quantidades absorvidas nos tratamentos testemunha (T_2 para N e T_6 para P). Os resultados assim obtidos são apresentados na Figura 7; observa-se também que as quantidades de N e P na parte aérea aumentaram de forma aproximadamente linear com as

adições de adubos minerais contendo N e P (Figuras 7a e 7b, respectivamente).

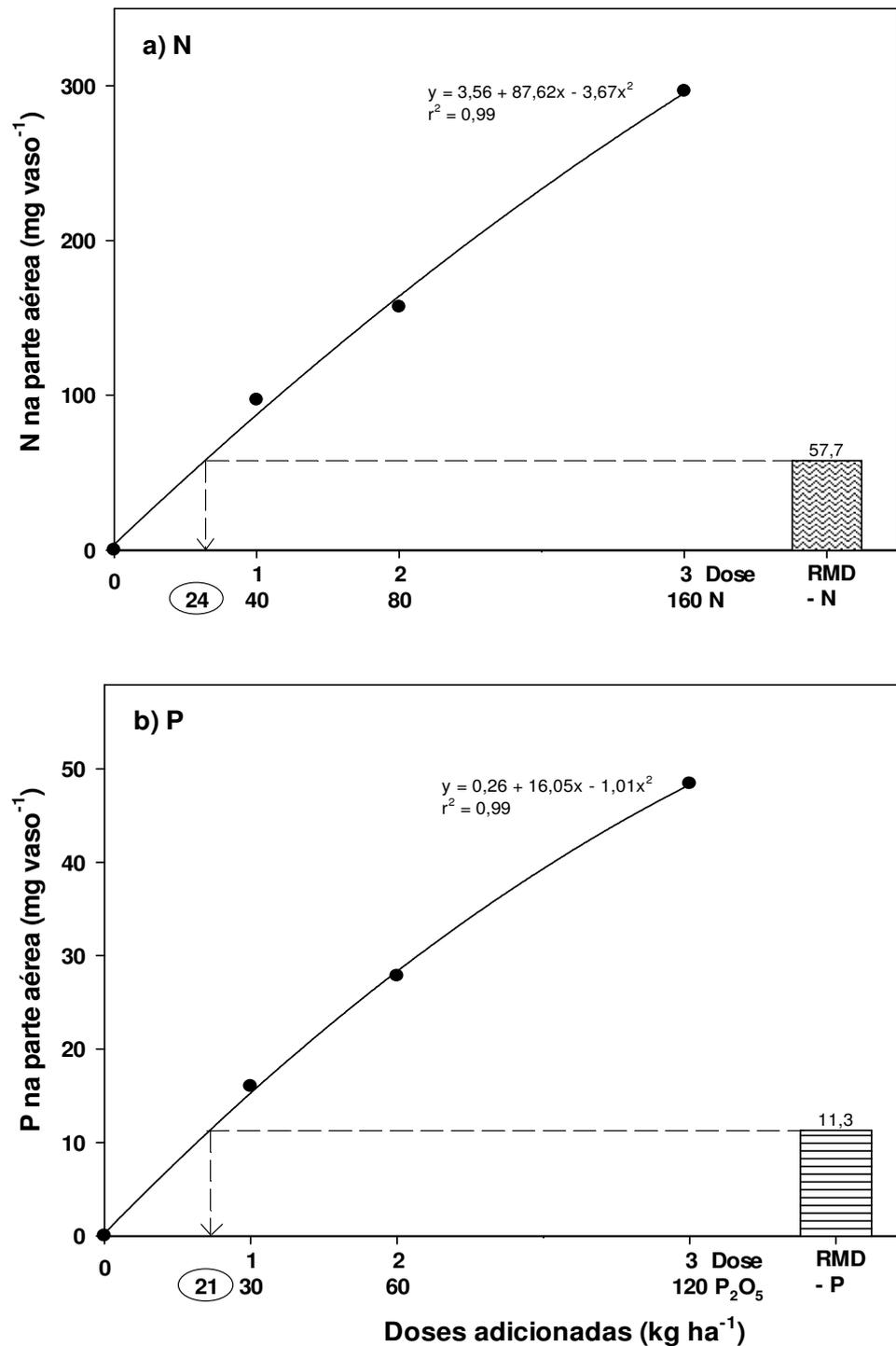


FIGURA 7. Nitrogênio (a) e fósforo (b) contidos na parte aérea das plantas de milho, subtraindo-se os valores das testemunhas (médias de três experimentos).

As quantidades de N e P na parte aérea do milho foram de 57,7 mg de N vaso⁻¹ e 11,3 mg de P vaso⁻¹ nos tratamentos T₉ e T₁₀, respectivamente, após a subtração das quantidades absorvidas nos respectivos tratamentos testemunha. Conforme as curvas de absorção, estes valores correspondem a 24 kg de N ha⁻¹ e a 21 kg de P₂O₅ ha⁻¹. Considerando-se que foram adicionados 6.000 kg de RMD ha⁻¹, e com base nos teores de N e P do mesmo (Tabela 1), pode-se determinar eficiências de 31 e 66% para os suprimentos de N e P às plantas, respectivamente.

Estes valores, maiores que os determinados com base no rendimento de matéria seca das plantas (item 4.2.1) são, entretanto, menores que os adotados para adubos orgânicos de várias origens (camas de frangos e esterco de bovinos e suínos), que em média atingem 50% para o N e 80% para o P no primeiro cultivo (SBCS/NRS, 2004). Esta subestimação pode ser atribuída à menor taxa de decomposição dos órgãos de fixação do mexilhão dourado (bissos), bem como às frações desses nutrientes nas raízes das plantas.

4.2.3 Análise de solo

O solo PVAd apresenta baixa fertilidade natural, baixa CTC e acidez moderada. A análise de solo feita após o cultivo de milho (Anexo 4 – Tabela A.4.5) indicou baixa disponibilidade de P, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺², com todos os valores menores que os recomendados pela SBCS/NRS (2004), sendo necessária a reposição dos mesmos para o cultivo subsequente.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitam concluir que:

- a) O resíduo de conchas moídas de mexilhão dourado (RMDg) – com moagem grossa – apresentou um efeito corretivo da acidez do solo equivalente a 60% do obtido com a adição de calcário;
- b) A reatividade do RMDg é maior do que a determinada com a adição de calcário agrícola;
- c) O RMD (6000 kg ha⁻¹) forneceu para as plantas o equivalente às doses de 24 kg de N ha⁻¹ e de 21 kg P₂O₅ ha⁻¹;
- d) O RMD apresentou eficiências de 31 e 66% para os suprimentos de N e P às plantas, respectivamente.

Portanto, a utilização agrícola do resíduo deste bioinvasor foi eficiente para a correção da acidez do solo e para o suprimento de parte dos nutrientes requeridos pelas plantas, além ser considerada uma alternativa viável sob os pontos de vista ambiental e econômico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU Jr., C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.391-470, 2005.

ARAÚJO, A.P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.163-212, 2000.

AVELAR, W.E.P.; MARTIN, S.; VIANNA, M. Nova ocorrência de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) para o Estado de São Paulo. **Resumos**. XXVIII Encontro Brasileiro de Malacologia. Rio de Janeiro, 2003.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2ª ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344p.

BOLTOVSKOY, D.; CATALDO, D.H. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the Lower Parana River (Argentina). **Biofouling**, Singapura, v.14, n.3, p.255-263, 1999.

BRANDY Jr., R.F. A fracture mechanical analysis of fouling release from nontoxic antifouling coatings. **Progress in Organic Coatings**, v.43, p.188-192, 2001.

BRASIL Instrução Normativa Nº 35 de 4/07/2006. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. (Normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos da acidez, de alcalinidade, de sodicidade e dos condicionadores do solo, destinados à agricultura). **Diário Oficial da União**, Brasília, 2006.

BRUGNOLI, E.; CLEMENTE, J.; BOCCARDI, L; BORTHAGARAY, A.; SCARABINO, F. Golden mussel *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) distribution in the main hydrographical basins of Uruguay: update and predictions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.77, n.2, p.235-244, 2005.

CAPITOLI, R.R.; BEMVENUTI, C.E. Distribuição do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) na área estuarina da lagoa dos Patos e Canal São Gonçalo. **Anais**. IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros, São José dos Campos, 2004.

CARADUS, J.R. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. **N. Z. J. Agric. Res.**, v.23, p.75-81, 1980.

CARLTON, J.T. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water. **Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.**, n.23, p.313-371, 1985.

CARLTON, J.T.; GELLER, J.B. Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. **Science**, n.261, p. 78-82, 1993.

CATALDO, D.H.; BOLTOVSKY, D. Yearly reproductive activity of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) as inferred from the occurrence of its larvae in the plankton of the lower Paraná river and the Rio de la Plata estuary (Argentina). **Aquatic Ecology**, Dordrecht, Netherlands, v.34, p.307-317, 2000.

COLARES, E.R.C. Diagnóstico e controle do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei*, em sistemas de tratamento de água em Porto Alegre. **Anais**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2002.

DARRIGAN, G; PASTORINO, G. The recent introduction of Asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. **The Veliger**, Berkeley, v.8, n.2, p.183-187, 1995.

DEMETRIUS, S.M.; VEITENHEIMER-MENDES, I.L.; RICKES, E.M.; TIM, G. Registro de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) no município de Pelotas, sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Resumos**. XXVIII Encontro Brasileiro de Malacologia, Rio de Janeiro, p.213, 2003.

FILIPPO, R. **Linha Direta**, Belo Horizonte, n.307, p.14, 2004.

GIASSON, E. Introdução ao estudo dos solos. In: MEURER, E.J. et al. **Fundamentos de Química do Solo**. 3ª ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. **Aust. J. Soil Res.**, v.35, p.227-239, 1997.

MAGARA, Y.; MATSUI, Y.; GOTO, Y.; YUASA, A. Invasion of the non-indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. **Journal of Water Supply Research and Technology**, AQUA, v.50, n.3, p.113-124, 2001.

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

MANSUR, M.C.D.; RICHINITTI, L.M.Z.; SANTOS, C.P. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biociências**, Porto Alegre, v.7, n.2, p.147-150, 1999.

MANSUR, M.C.D.; SANTOS, C.P.; DARRIGAN, G.; HEYDRICH, I.; CALLIL, C.T.; CARDOSO, F.R. Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. **Rev. Bras. Zool.**, Curitiba, v.20, n.1, p.75-84, 2003.

MMA. **Projeto de comunicação - Mexilhão dourado**. Documento de apoio às ações de comunicação. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2003.

OLIVEIRA, M.D.; TAKEDA, A.M.; BARBOSA, D.S.; CALHEIROS, D.F. Ocorrência da espécie exótica Mexilhão Dourado (Bivalvia, Mytilidae) no rio Paraguai, Pantanal, Brasil. **Resumos**. III Simpósio sobre recursos naturais e socioeconômicos do Pantanal, Corumbá, Embrapa Pantanal, 2000.

OLIVEIRA, M.D. Ocorrência e impactos do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*, Dunker 1857) no Pantanal Mato-Grossense. **Circular Técnica**, Corumbá, Embrapa, n.38, p.1- 6, 2003.

PANDOLFO, C.M.; TEDESCO, M.J. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, p.753-758. 1996.

PASTORINO, G., DARRIGAN, G., MARTIN, S.L. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) nuevo bivalvo invasor en aguas del Rio de la Plata. **Neotropica**, v.39, p.101-102, 1993.

RUPPERT, E.E.; BARNES, R.D. **Zoologia dos invertebrados**. 6ª ed. São Paulo: Roca, p.353-484, 1996.

SANCHES, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technology for managing Oxisol and Udisols in tropical America. **Adv. Agron.**, v.34, p.279-406, 1981.

SANTOS, C.P.; WÜRDIG, N.L.; MANSUR, M.C.D. Fases larvais do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na Bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. **Rev. Bras. de Zool.**, Curitiba, v.22, n.3, p.702-78, 2005.

SBCS/NRS (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul – Comissão de Química e Fertilidade). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 2004. 394p.

SILVA, J.S.V.; SOUZA, R.C.C.L. **Água de lastro e Bioinvasão**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 224p.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.205-274, 2007.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TAKEDA, A.M., FUJITA, D.S.; FONTES JR., H.M. Bivalves invasores do Rio Paraná. **Resumos**. XXVIII Encontro Brasileiro de Malacologia, Rio de Janeiro, 2003. 247p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Depto. de Solos, UFRGS, Porto Alegre, 1995. 174p.

TERRA, N.R.; LEMIESZEK, M.B.; LEMOS, C.T.; LEITE, E.H. Presença de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nas bacias hidrográficas do Rio Uruguai e Lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. **Fepam em Revista**, Porto Alegre, v.1, n.1, p.12-19, jan./jun. 2007.

VILLAC, M.C.; FERNANDES, F.C.; JABLONSKI, S.; LEAL NETO, A.C.; COUTINHO, B.H. **Biota da área sob influência do Porto de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil: Levantamento de dados pretéritos**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004, 79p.

VON RÜCKERT, G.; CAMPOS, M.C.S; ROLLA, M.E. Alimentação de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): taxas de filtração com ênfase ao uso de Cyanobacteria. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v.26, n.4, p.421-429, 2004.

ZANELLA, O.; MARENDA, L.D. Ocorrência de *Limnoperna fortunei* na Central Hidrelétrica de Itaipu. **Resumos**. V Congresso Latinoamericano de Malacologia. São Paulo: Instituto Butantan/Instituto de Biociências-USP, p.41. 2002.

7. ANEXOS

	Página
7.1 Anexo 1: Curvas de resposta a nitrogênio e fósforo minerais e efeitos da calagem e da adição do resíduo moído de mexilhão dourado (RMD) e de outros resíduos no solo (Experimento 1 – 2005/2008).....	43
7.2 Anexo 2: Curvas de resposta a nitrogênio e fósforo minerais e efeitos da adição de outros resíduos na cultura do milho (Experimento 2 – 2007).....	64
7.3 Anexo 3: Curvas de resposta a nitrogênio e fósforo minerais e efeitos da adição do resíduo moído de mexilhão dourado (RMD) e de vermicomposto nas culturas de milho e de aveia (Experimento 3 – 2008).....	82
7.4 Anexo 4: Curvas de resposta a nitrogênio e fósforo minerais, a vermicomposto e efeitos da adição de outros resíduos na cultura do milho (Experimento 4 – 2008).....	107
7.5 Anexo 5: Fotos ilustrativas.....	129

7.1 ANEXO 1

**CURVAS DE RESPOSTA A NITROGÊNIO E FÓSFORO MINERAIS E
EFEITOS DA CALAGEM E DA ADIÇÃO DO RESÍDUO MOÍDO DE
MEXILHÃO DOURADO (RMD) E DE OUTROS RESÍDUOS NO SOLO
(Experimento 1)**

Prof. Marino José Tedesco

Prof. Clésio Gianello

SUMÁRIO

	Página
A.1.1. INTRODUÇÃO	46
A.1.2. MATERIAIS E MÉTODOS	48
A.1.2.1 Caracterização inicial do solo.....	48
A.1.2.2 Materiais utilizados.....	48
A.1.2.3 Tratamentos.....	50
A.1.2.4 Condução do experimento.....	52
A.1.2.4.1 Condução da primeira cultura (milho).....	52
A.1.2.4.2 Condução da segunda cultura (aveia).....	53
A.1.2.4.3 Condução da terceira cultura (milho).....	53
A.1.2.5 Amostragens de solo.....	54
A.1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
A.1.3.1 Rendimento de matéria seca das plantas.....	55
A.1.3.2 Nitrogênio e fósforo absorvidos.....	57
A.1.3.3 Análises de solo.....	60
A.1.4. CONCLUSÕES	63
A.1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
A.1.1 Caracterização física e química dos materiais utilizados.....	49
A.1.2 Composição granulométrica do resíduo moído de mexilhão dourado e das cascas de ovos moídas.....	50
A.1.3 Tratamentos utilizados no Experimento 1.....	51
A.1.4 Matéria seca total e teores de macronutrientes na parte aérea das plantas.....	59
A.1.5 Valores de pH em água, P e K ⁺ disponíveis e Ca ⁺² e Mg ⁺² trocáveis do solo amostrado a 75 dias após o início do experimento.....	61
A.1.6 Valores de pH em água e Ca ⁺² e Mg ⁺² trocáveis do solo amostrado a 24, 36 e 48 meses após o início do experimento.....	62

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
A.1.1 Curvas de resposta em matéria seca da parte aérea das plantas às adições de N e P minerais (soma dos três cultivos).....	56
A.1.2 Matéria seca da parte aérea das plantas em alguns tratamentos com resíduos em comparação com a testemunha (T ₁) e com a adubação mineral (T ₅) (soma dos três cultivos).....	57
A.1.3 Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas em alguns tratamentos (soma dos três cultivos).....	58
A.1.4 Fósforo absorvido na parte aérea das plantas em alguns tratamentos (soma dos três cultivos).....	58

A.1.1. INTRODUÇÃO

Algumas atividades ligadas à área agrícola podem gerar quantidades apreciáveis de resíduos ou sub-produtos sem utilização imediata, ou que necessitam reprocessamento para sua utilização. Nesta categoria enquadram-se a casca de arroz e o composto feito à base de dejetos de cães. Pela análise química, pode-se inferir que a casca de arroz teria baixo valor fertilizante enquanto o composto de canil apresenta altos teores de N, P e Ca^{+2} , podendo ser utilizado como fertilizante orgânico (Tabela A.1.1).

Outro resíduo de origem agroindustrial é a casca de ovos, que possui alto teor de Ca^{+2} , na forma de CaCO_3 , podendo ser utilizado como corretivo de acidez e fonte de Ca^{+2} . Algumas instalações avícolas dedicadas à produção de pintos apresentam também alta mortandade dos mesmos. Por motivos de sanidade, este material pode ser desidratado por calor e moído junto com as cascas, apresentando, portanto maiores teores de N e de P, como é o caso da casca de ovo moída fina (Tabela A.1.2). Este material pode apresentar também valor fertilizante além de corretivo da acidez.

Outro material que poderia ter aproveitamento agrícola é o molusco de água doce denominado “mexilhão dourado” (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) que é um bioinvasor proveniente da Ásia, e que está infestando águas interiores no sul do Brasil, causando grandes danos à flora e fauna naturais, e transtorno aos sistemas de captação e tratamento de águas, usinas hidrelétricas, embarcações, equipamentos de pesca, entre outros. Este bioinvasor poderia ser utilizado como corretivo de acidez dos solos, por conter CaCO_3 nas conchas, além de suprir N e P para as plantas, sendo que este estudo ainda não foi relatado em nosso meio.

A possibilidade de aproveitamento destes materiais na agricultura foi, portanto, avaliada neste experimento. Os objetivos deste trabalho foram:

- a) Determinar a capacidade de correção da acidez do solo de diversos materiais alcalinos, como resíduo moído de mexilhão dourado (RMD), cascas de ovos, entre outros;
- b) Avaliar o valor fertilizante de materiais orgânicos, como composto de canil, casca de arroz e borra de graxaria (resíduo industrial);
- c) Determinar as curvas de resposta a N e P de adubos minerais em solo ácido;
- d) Proporcionar treinamento em pesquisa para alunos do curso de graduação em Agronomia da UFRGS.

A.1.2. MATERIAL E MÉTODOS

A.1.2.1 Caracterização inicial do solo

No experimento foi utilizado um Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd) da unidade de mapeamento São Jerônimo (Streck et al., 2008), coletado na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em julho de 2004, na profundidade de zero a 20 cm. A caracterização inicial do mesmo indicou as seguintes características: pH em água: 5,0; Índice SMP: 5,7; P e K⁺ disponíveis: 1,8 e 55 mg dm⁻³, respectivamente; acidez total (H + Al) e CTC: 6,2 e 7,4 cmol_c dm⁻³, respectivamente; teor de argila: 220 mg dm⁻³ e capacidade máxima de retenção de umidade (CMRH): 191 mg dm⁻³ (análises conforme a metodologia descrita por Tedesco et al., 1995).

Foram utilizados vasos de PVC, com capacidade de 5,5 L de solo (6,0 kg de solo seco) e drenagem livre.

No período de setembro a novembro de 2004 foi cultivado milho, sem aplicação dos tratamentos, sendo retiradas as plantas com raízes, e o solo repostado nos vasos.

A.1.2.2 Materiais utilizados

Foram utilizados no experimento: adubos minerais (superfosfato triplo, cloreto de potássio e uréia); corretivo calcário (CaCO₃ + MgCO₃ – produtos comerciais – na proporção de 3:1 em peso, com PRNT 100%); resíduo moído de mexilhão dourado com moagem fina (RMDf) e grossa (RMDg); casca de ovo moída fina (COf) e grossa (COg); borra de graxaria (BG)

obtida de curtume (Benoit); composto de canil (C.Can.) e casca de sementes de arroz (C.Ar.). A caracterização destes materiais é dada na Tabela A.1.1.

O mexilhão dourado (colônias com indivíduos vivos) foi colhido no Lago Guaíba, na vila de Itapuã, no verão de 2004, sendo a seguir pré-seco ao sol e depois em estufa a 60°C. O material com granulometria grossa foi moído em moinho de martelos provido de peneira com 2,0 mm de diâmetro de orifícios, sendo a distribuição de partículas apresentada na Tabela A.1.2. O material com granulometria fina foi triturado em moinho de bolas, até passar integralmente na peneira de 0,30 mm de diâmetro de orifícios.

A casca de ovo foi obtida em estabelecimento de produção de pintos (incubadora), com duas granulometrias, conforme a Tabela A.1.2.

TABELA A.1.1. Caracterização física e química dos materiais utilizados

Parâmetro ⁽¹⁾	RMD	COg	COf	BG	C.Can.	C.Ar.
Umidade (g kg ⁻¹)	-	12	23	302	636	122
pH em água	-	-	-	12,5	7,9	-
C orgânico (g kg ⁻¹)	9,8	-	-	850	230	-
N total (g kg ⁻¹)	22	9,4	52	8,0	15,2	2,6
P total (g kg ⁻¹)	1,6	1,6	1,7	0,4	84	-
K total (g kg ⁻¹)	0,8	1,2	2,2	0,2	2,3	-
Ca total (g kg ⁻¹)	239	320	240	39	160	-
Mg total (g kg ⁻¹)	1,0	4,7	3,7	1,0	8,4	-
S total (g kg ⁻¹)	-	1,0	2,9	1,6	-	-
Cu total (mg kg ⁻¹)	-	4,0	8,0	2,0	-	-
Zn total (mg kg ⁻¹)	-	10	24	20	-	-
Na total (g kg ⁻¹)	-	1,3	1,7	4,1	-	-
Fe total (mg kg ⁻¹)	-	35	220	201	-	-
Mn total (mg kg ⁻¹)	-	5	6	8	-	-
B total (mg kg ⁻¹)	-	5	5	3	-	-
PN (g kg ⁻¹)	730	890	720	70	-	-
C/N	-	-	-	106	11	-

⁽¹⁾ pH da amostra "in natura"; outros parâmetros no material seco a 65° C.

TABELA A.1.2. Composição granulométrica do resíduo moído de mexilhão dourado e das cascas de ovos moídas

Fração	RMDg ⁽¹⁾	COg ⁽¹⁾	COf ⁽²⁾
(mm)	----- % (m/m) -----		
> 2,00	0,4	0,3	0,1
2,00 – 0,84	34,1	25,2	4,1
0,84 – 0,30	38,0	63,4	7,6
< 0,30	27,5	11,1	88,2

⁽¹⁾ Moído com granulometria grossa.

⁽²⁾ Moído com granulometria fina.

A.1.2.3 Tratamentos

Na Tabela A.1.3 são descritos os tratamentos (em blocos, com três repetições) e as quantidades dos resíduos e dos corretivos adicionados (base de cálculo: $2,0 \times 10^6$ kg de solo ha^{-1}).

TABELA A.1.3. Tratamentos utilizados no Experimento 1 ⁽¹⁾

Tratamentos		Descrição
Nº	Denominação	
T ₁	Testemunha	Sem adubo mineral ou resíduo
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca ₁	Adubo mineral (sem N) + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca ₁	Adubo mineral + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca ₁	Adubo mineral + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₁	Adubo mineral + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca ₁	Adubo mineral (sem P) + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca ₁	Adubo mineral + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca ₁	Adubo mineral + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₉	N ₃ P ₃ K ₀ + ca ₁	Adubo mineral (sem K) + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDf ₁	Adubo mineral + RMDf ₁ (6,6 t ha ⁻¹)
T ₁₁	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDg ₁	Adubo mineral + RMDg ₁ (15,7 t ha ⁻¹)
T ₁₂	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDg ₂	Adubo mineral + RMDg ₂ (31,4 t ha ⁻¹)
T ₁₃	N ₀ P ₃ K ₁ + RMDg ₁	Adubo mineral (sem N) + RMDg ₁ (15,7 t ha ⁻¹)
T ₁₄	N ₃ P ₀ K ₁ + RMDg ₁	Adubo mineral (sem P) + RMDg ₁ (15,7 t ha ⁻¹)
T ₁₅	N ₃ P ₃ K ₁	Adubo mineral e sem calagem
T ₁₆	N ₀ P ₀ K ₀ + ca ₁	Sem adubo mineral e calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₁₇	N ₃ P ₃ K ₁ + ca _{0,5}	Adubo mineral e calcário (2,4 t ha ⁻¹)
T ₁₈	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₂	Adubo mineral e calcário (9,6 t ha ⁻¹)
T ₁₉	N ₃ P ₃ K ₁ + COg	Adubo mineral e COg (4,3 t ha ⁻¹)
T ₂₀	N ₃ P ₃ K ₁ + COf	Adubo mineral e COf (5,3 t ha ⁻¹)
T ₂₁	N ₃ P ₃ K ₁ + BG + ca ₁	Adubo mineral + Borra de graxaria + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₂₂	C.Can. + ca ₁	Sem adubo mineral + Composto de canil + calcário (4,8 t ha ⁻¹)
T ₂₃	C. Ar. + ca ₁	Sem adubo mineral + Casca de arroz + calcário (4,8 t ha ⁻¹)

⁽¹⁾ ca = calcário; RMDg = resíduo moído de mexilhão dourado moído grosso; RMDf = resíduo moído de mexilhão dourado moído fino; COf = cascas de ovo moído fino; COg = cascas de ovo moído grosso; BG = borra de graxaria; C.Can. = composto de canil; C.Ar. = casca de arroz.

A.1.2.4 Condução do experimento

Em março de 2005 foram aplicados os tratamentos e cultivado o milho (*Zea mays* L.). No inverno do mesmo ano foi cultivada aveia preta (*Avena sativa*) e novamente o milho na primavera, sendo o mesmo colhido em dezembro desse ano. Os dois primeiros cultivos foram conduzidos em casa-de-vegetação e o terceiro a céu aberto, nas dependências do Departamento de Solos, UFRGS.

A.1.2.4.1 Condução da primeira cultura (milho)

Em 15/03/2005 foi iniciado o experimento, misturando-se os materiais ao solo. Foram aplicadas as seguintes doses de adubos minerais: $N_0 = 0$; $N_1 = 65$; $N_2 = 130$; $N_3 = 195$ kg de N ha^{-1} , na forma de uréia (45% de N, em solução); $P_0 = 0$; $P_1 = 85$; $P_2 = 170$; $P_3 = 255$ kg de P_2O_5 ha^{-1} , na forma de superfosfato triplo (45% P_2O_5); $K_0 = 0$; $K_1 = 90$ kg de K_2O ha^{-1} , na forma de KCl (60% de K_2O).

Após uma semana, foi semeado o milho (híbrido Agrocerec cultivar AG 303), tendo-se observado a emergência das plântulas após seis dias do plantio, mantendo-se duas plantas por vaso.

Em 12/04/05 foi aplicado $1/3$ da adubação nitrogenada (uréia em solução); em 22/04/05 os vasos foram transferidos para a casa de vegetação, sendo irrigados com água potável à medida da necessidade hídrica das plantas (~ 80% de CMRH) até o final do experimento. O restante do adubo nitrogenado foi aplicado após 15 dias (uréia em solução).

A parte aérea das plantas do milho foi colhida em 24/05/05, sendo a seguir seca em estufa com renovação de ar (60°C), para quantificação da matéria seca e determinação de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) no tecido vegetal (conforme metodologia descrita por Tedesco et al., 1995).

A.1.2.4.2 Condução da segunda cultura (aveia)

Em 09/06/2005 foi feita a semeadura da aveia (cultivar URS), tendo sido observada a emergência das plântulas em 13/06/05, mantendo-se seis plantas por vaso.

Em 29/07/05 foi aplicado em cobertura 90 kg de K_2O ha^{-1} (nos tratamentos em que estava prevista a adubação potássica – na forma de KCl em solução), tendo em vista o aparecimento de sintoma visual de deficiência de K^+ . Em 05/08/05 foi aplicado em cobertura $\frac{1}{3}$ da adubação nitrogenada utilizada na primeira cultura (uréia em solução). O corte da parte aérea foi feito em 02/09/05.

A.1.2.4.3 Condução da terceira cultura (milho)

Em 29/09/2005 foi feita a semeadura do milho (cultivar Agrocere AG 303), tendo sido observada a emergência de plântulas após seis dias, mantendo-se duas plantas por vaso.

Em 18/10/05 os vasos foram colocados a céu aberto, tendo sido adicionado $\frac{1}{3}$ da dose inicial de N (uréia em solução). Em 16/11/05 foi feita uma suplementação de adubo nitrogenado, obtendo-se a quantidade total de: 35, 70 e 105 kg de N ha^{-1} nos tratamentos N_1 , N_2 e N_3 , respectivamente. Em 18/11/05 foi adicionado 30 kg de K_2O (KCl) em cobertura nos tratamentos em que estava prevista a adubação com este nutriente. A parte aérea das plantas foi colhida em 21/12/05.

As quantidades totais de N aplicado, nos três cultivos, foram de: 122, 243 e 365 kg ha^{-1} , nos tratamentos com as doses N_1 , N_2 e N_3 , respectivamente.

A.1.2.5 Amostragens de solo

A 75 dias da adição dos tratamentos foi coletada uma amostra de solo de cada vaso (com trado calador) para análise. Após a amostragem feita a 12 meses do início do experimento foi retirado o solo dos vasos das três repetições de alguns tratamentos; o total do solo de cada tratamento foi homogeneizado e colocado em vasos maiores, com aproximadamente 25 L e drenagem livre, e deixado a céu aberto, sem cultivo.

Após 24, 36 e 48 meses da incorporação dos tratamentos foram coletadas amostras para análise, sempre no mês de março de cada ano, nos anos de 2007, 2008 e 2009, respectivamente. As análises de solo foram efetuadas conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A.1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A.1.3.1 Rendimento de matéria seca das plantas

Na Figura A.1.1 são mostradas as curvas de resposta em matéria seca da parte aérea das plantas (soma dos valores determinados nos três cultivos) às adições de N e P. Pode-se observar que a resposta à adição de adubo nitrogenado (uréia) foi aproximadamente linear até a dose mais alta aplicada ($365 \text{ kg de N ha}^{-1}$). O rendimento determinado no tratamento sem aplicação de N (T_2) foi alto, devido à mineralização de N da matéria orgânica do solo, principalmente nos dois primeiros cultivos conduzidos em casa de vegetação (dados não apresentados).

A resposta à adubação fosfatada foi curvilínea, obtendo-se o máximo de rendimento com a dose de $170 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, aplicado na forma de superfosfato triplo. Esta quantidade é aproximadamente a dose recomendada para a obtenção do rendimento de $6,0 \text{ t de grãos de milho ha}^{-1}$ (SBCS/NRS, 2004).

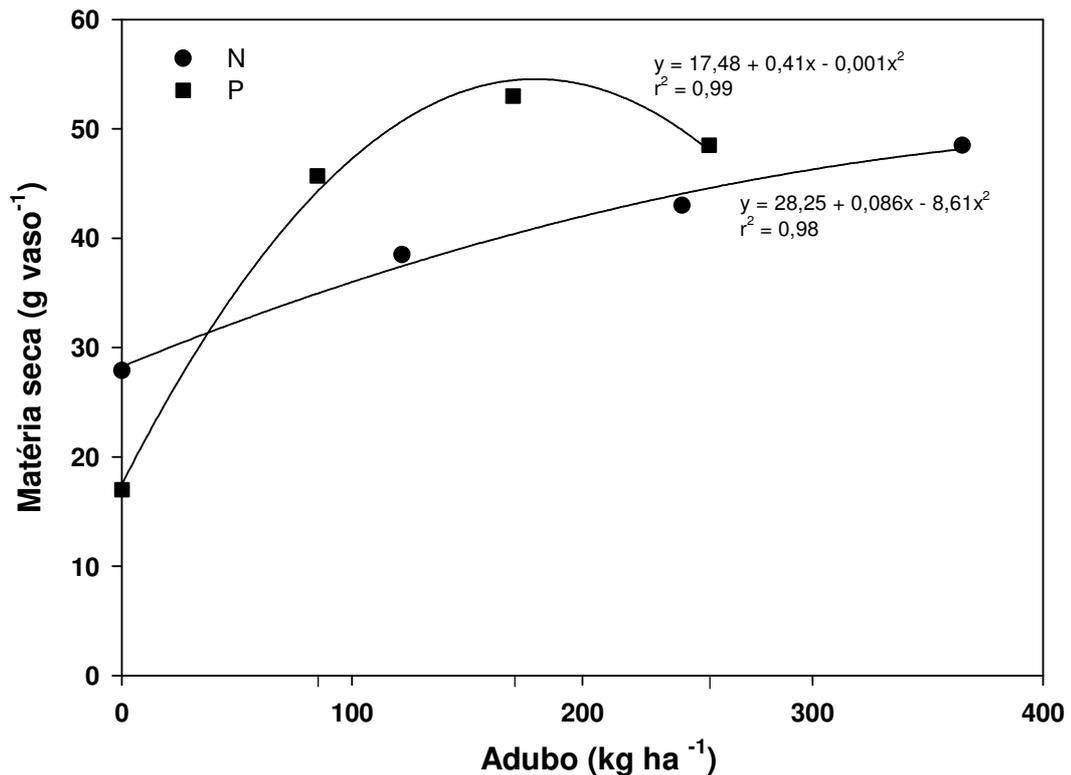


FIGURA A.1.1. Curvas de resposta em matéria seca da parte aérea das plantas às adições de N e P minerais (soma dos três cultivos).

A resposta das plantas nos tratamentos com aplicação de resíduos de origem orgânica é mostrada na Figura A.1.2. Pode-se observar que o rendimento obtido no tratamento sem adubação e calagem (T₁) foi muito baixo, devida à baixa fertilidade natural desse solo, coletado em campo nativo.

O RMD suplementado com adubos minerais (N e P) propiciou um aumento de rendimento, principalmente no caso do P (T₁₄).

O rendimento das plantas com a aplicação do composto de canil (T₂₂) foi de aproximadamente 80% do obtido no tratamento com adubação mineral (T₅), devido aos elevados teores de N e de P do mesmo (Tabela A.1.1). Este efeito não foi observado com a aplicação de casca de arroz, que apresentou valor de somente duas vezes maior que o determinado no tratamento testemunha; este aumento pode ser devido à mineralização inicial da matéria orgânica, provocada pela correção da acidez do solo pela calagem.

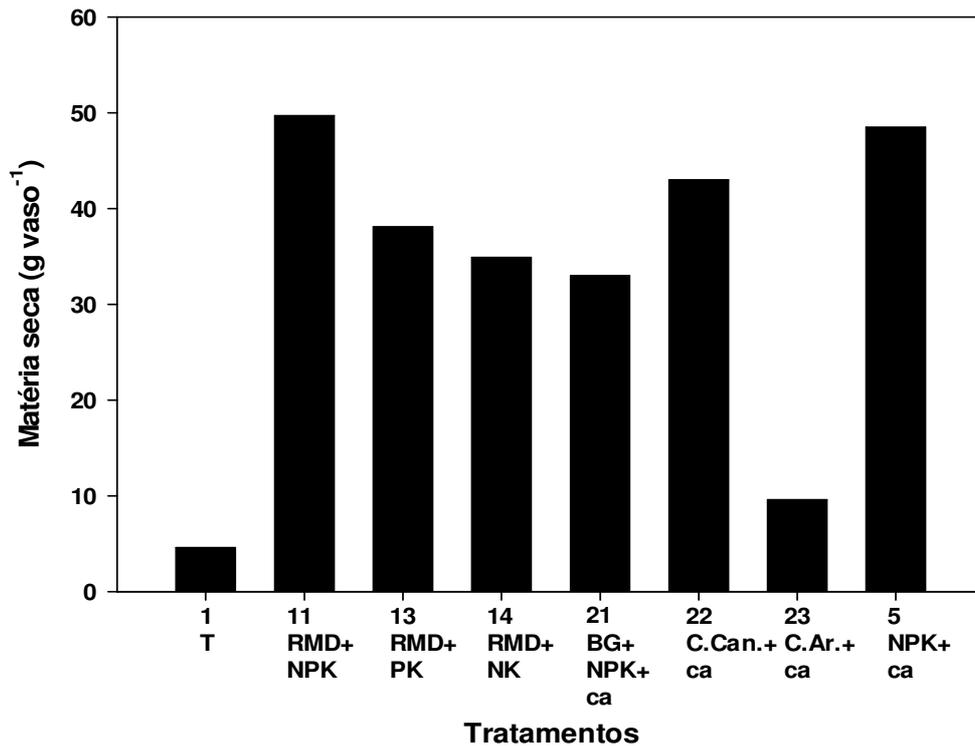


FIGURA A.1.2. Matéria seca da parte aérea das plantas em alguns tratamentos com resíduos em comparação com a testemunha (T₁) e com a adubação mineral (T₅) (soma dos três cultivos).

A.1.3.2 Nitrogênio e fósforo absorvidos

Na Figura A.1.3 é mostrada a absorção de N contido na parte aérea das plantas. Em geral, a absorção deste nutriente apresentou uma tendência semelhante à observada para o rendimento de matéria seca. A contribuição de N para as plantas foi elevada com as aplicações de composto de canil e de RMD (T₂₂ e T₁₃, respectivamente).

No caso da adição de RMD, o aumento na absorção de N foi de 158 mg vaso⁻¹, correspondente a 52,7 kg ha⁻¹, ou aproximadamente 15% do adicionado.

A absorção de P contido na parte aérea das plantas é mostrada na Figura A.1.4. Os valores obtidos seguem também a tendência observada no rendimento de matéria seca das plantas. No caso da aplicação do RMD, o incremento de absorção de P foi de 14,4 mg de P vaso⁻¹, correspondente a 4,8 kg ha⁻¹, ou aproximadamente 25% do adicionado.

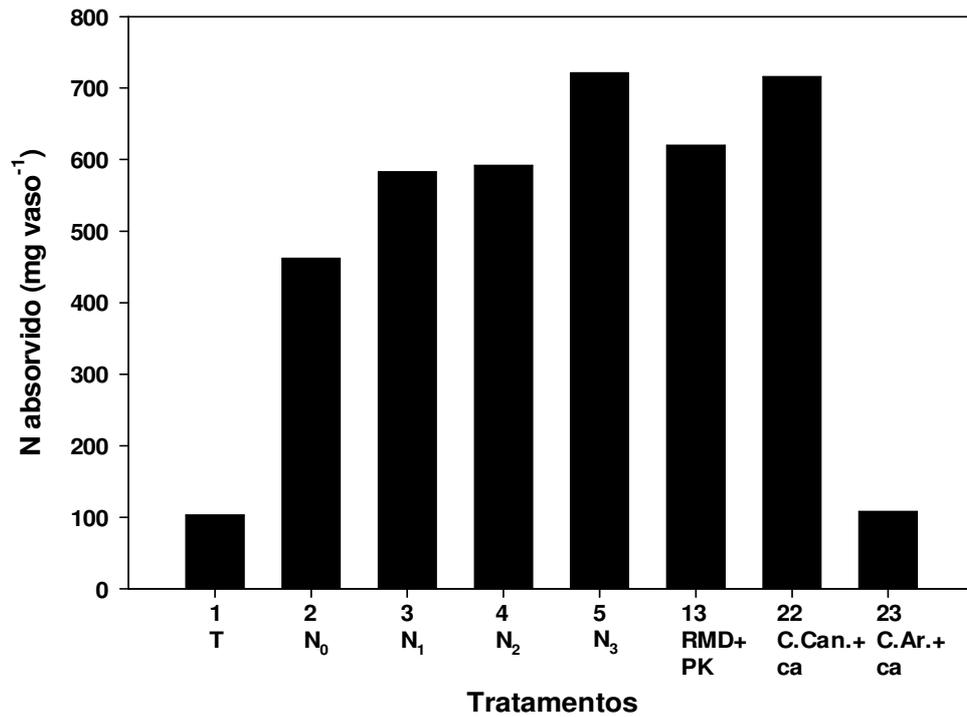


FIGURA A.1.3. Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas em alguns tratamentos (soma dos três cultivos).

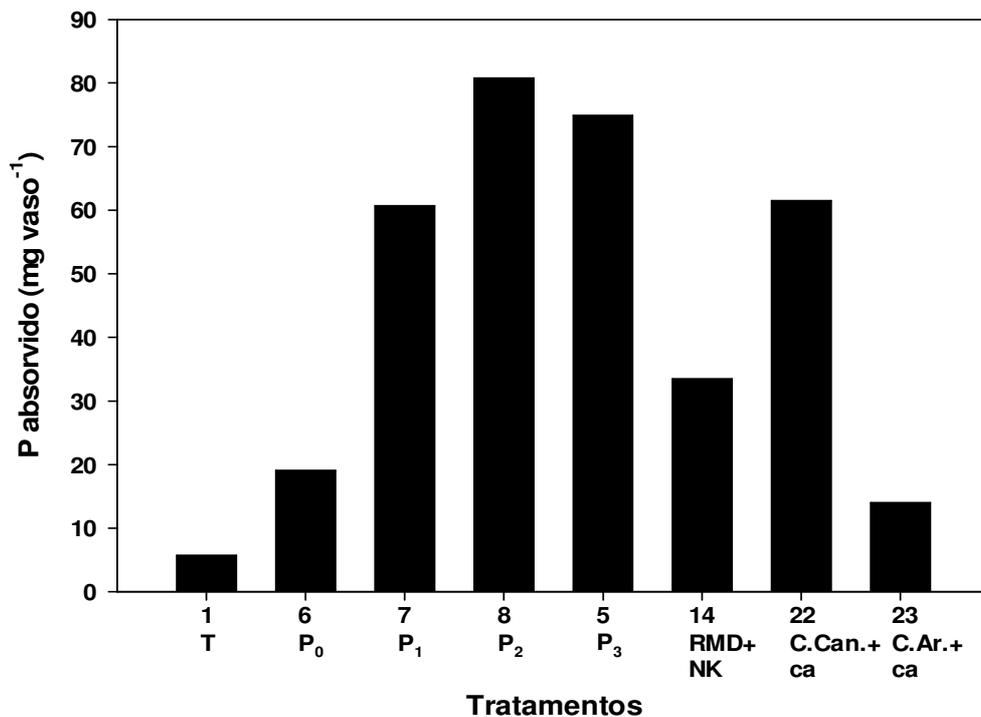


FIGURA A.1.4. Fósforo absorvido na parte aérea das plantas em alguns tratamentos (soma dos três cultivos).

TABELA A.1.4. Matéria seca (MS) total⁽¹⁾ e teores de macronutrientes⁽²⁾ na parte aérea das plantas

Tratamentos		MS	Macronutrientes					
Nº	Denominação		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	S
		g vaso ⁻¹	g kg ⁻¹					
T ₁	Testemunha	4,6	22,7	1,3	16,8	6,7	3,7	2,1
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca ₁	27,9	13,0	2,9	16,8	5,8	4,5	1,5
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca ₁	38,5	13,1	2,9	16,2	6,3	5,1	1,8
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca ₁	43,0	13,9	1,9	11,6	5,4	3,9	1,4
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₁	48,5	14,7	1,8	10,4	6,3	5,2	1,4
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca ₁	17,0	16,1	1,0	18,5	4,6	3,3	1,5
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca ₁	49,7	10,9	1,4	12,9	5,3	4,2	1,4
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca ₁	53,0	10,4	1,3	9,4	4,4	3,9	1,4
T ₉	N ₃ P ₃ K ₀ + ca ₁	43,8	17,2	1,6	4,0	5,1	5,5	1,2
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₁ +RMDf ₁	48,8	14,3	1,4	8,5	6,9	2,6	1,1
T ₁₁	N ₃ P ₃ K ₁ +RMDg ₁	49,7	14,9	1,6	9,3	6,8	3,0	1,2
T ₁₂	N ₃ P ₃ K ₁ +RMDg ₂	55,9	15,1	1,6	9,1	7,8	2,5	1,3
T ₁₃	N ₀ P ₃ K ₁ +RMDg ₁	38,1	17,0	2,3	11,8	6,0	3,0	1,3
T ₁₄	N ₃ P ₀ K ₁ +RMDg ₁	34,9	14,2	1,0	11,8	6,0	2,2	1,8
T ₁₅	N ₃ P ₃ K ₁	35,7	19,0	1,9	12,3	4,1	2,4	2,3
T ₁₆	N ₀ P ₀ K ₀ + ca ₁	13,1	19,8	1,4	10,2	6,2	4,8	3,4
T ₁₇	N ₃ P ₃ K ₁ + ca _{0,5}	51,9	12,5	1,8	9,4	4,5	3,7	1,3
T ₁₈	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₂	46,4	16,4	2,0	11,4	5,5	5,3	1,4
T ₁₉	N ₃ P ₃ K ₁ + COg	46,9	13,8	2,1	10,9	5,6	3,0	1,5
T ₂₀	N ₃ P ₃ K ₁ + COf	43,3	14,1	1,8	11,5	7,6	3,1	1,3
T ₂₁	N ₃ P ₃ K ₁ +BG+ ca ₁	33,4	11,4	2,4	15,7	8,1	5,3	1,5
T ₂₂	C.Can. + ca ₁	43,0	17,8	4,9	8,6	8,6	7,5	4,2
T ₂₃	C.Ar. + ca ₁	9,6	12,3	2,2	20,5	6,3	4,1	4,3

⁽¹⁾ Soma dos três cultivos (médias das três repetições).

⁽²⁾ Teores médios ponderados.

A.1.3.3 Análises de solo

Na Tabela A.1.4 são apresentados os resultados obtidos na análise do solo amostrado após o primeiro cultivo (75 dias após a aplicação dos tratamentos). Pode-se observar a elevação do pH do solo nos tratamentos com adição de calcário e de resíduos alcalinos (resíduo moído de mexilhão e cascas de ovos). Os aumentos foram maiores nos tratamentos com adição de materiais com granulometria menor (T_{10} ; T_{20}).

Aumentos nos teores de P foram observados também nos tratamentos com adição de adubo fosfatado, tendo em vista que o solo utilizado apresenta teor muito baixo deste nutriente. No tratamento com adição de composto de canil (T_{22}) o teor de P foi elevado (623 mg dm^{-3}), indicando que este material pode ser uma boa fonte de P para as plantas, contendo 8,4% de P (Tabela A.1.1).

À exceção do tratamento com adição de casca de arroz, os teores de K^+ do solo diminuíram para níveis inferiores do que o inicial (55 mg dm^{-3}), sendo considerados baixo a médio (SBCS/NRS, 2004), podendo ser limitantes ao rendimento em cultivos subseqüentes.

Os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} do solo também aumentaram nos tratamentos em que foram aplicados calcário ou resíduos alcalinos contendo estes nutrientes.

Na Tabela A.1.5 é mostrada a variação nos valores de pH (em água) com o tempo de aplicação do calcário e dos resíduos alcalinos, até 48 meses após a incorporação no solo. Pode-se observar que o aumento dos valores do pH do solo é mais acentuado nos casos em que foi aplicado corretivo ou resíduo de granulometria mais fina. No caso da aplicação de RMD com granulometria mais grossa, o aumento do pH do solo foi mais lento, mantendo, entretanto, valores elevados até a última amostragem.

TABELA A.1.5. Valores de pH em água, P e K⁺ disponíveis e Ca⁺² e Mg⁺² trocáveis do solo amostrado a 75 dias após o início do experimento (médias de três repetições)

Tratamentos		pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Nº	Denominação					
		--- mg dm ⁻³ ---		--- cmol _c dm ⁻³ ---		
T ₁	Testemunha	4,2	3	34	0,9	0,4
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca ₁	6,7	25	35	4,0	1,4
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca ₁	7,0	33	37	5,0	1,7
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca ₁	6,9	32	36	5,0	1,7
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₁	7,1	31	36	5,3	1,8
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca ₁	6,8	3	61	4,6	1,7
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca ₁	7,0	10	40	4,8	1,7
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca ₁	7,1	18	39	5,2	1,8
T ₉	N ₃ P ₃ K ₀ + ca ₁	7,0	32	27	4,8	1,6
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDf ₁	6,3	34	36	5,4	0,4
T ₁₁	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDg ₁	5,9	29	37	4,8	0,3
T ₁₂	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDg ₂	6,4	33	34	6,8	0,3
T ₁₃	N ₀ P ₃ K ₁ + RMDg ₁	5,8	29	40	5,1	0,4
T ₁₄	N ₃ P ₀ K ₁ + RMDg ₁	5,9	5	53	5,5	0,4
T ₁₅	N ₃ P ₃ K ₁	4,4	29	36	1,2	0,4
T ₁₆	N ₀ P ₀ K ₀ + ca ₁	6,8	4	34	4,6	1,6
T ₁₇	N ₃ P ₃ K ₁ + ca _{0,5}	6,2	27	37	3,3	1,1
T ₁₈	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₂	7,6	27	41	6,6	2,7
T ₁₉	N ₃ P ₃ K ₁ + COg	4,7	26	38	2,0	0,4
T ₂₀	N ₃ P ₃ K ₁ + COf	5,5	30	36	5,3	0,5
T ₂₁	N ₃ P ₃ K ₁ + BG + ca ₁	7,4	18	48	5,4	1,6
T ₂₂	C.Can. + ca ₁	7,1	623	42	6,4	2,2
T ₂₃	C.Ar. + ca ₁	7,2	7	62	4,9	1,8

TABELA A 1.6. Valores de pH em água e Ca^{+2} e Mg^{+2} trocáveis do solo amostrado a 24, 36 e 48 meses após o início do experimento

Tratamentos		24 meses			36 meses			48 meses		
Nº	Denominação	pH	Ca^{+2}	Mg^{+2}	pH	Ca^{+2}	Mg^{+2}	pH	Ca^{+2}	Mg^{+2}
			$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$			$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$			$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	
T ₁	Testemunha	4,5	0,6	0,2	4,2	0,6	0,2	4,2	0,8	0,2
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₁	6,2	3,6	0,9	6,0	4,1	0,8	5,7	3,0	0,6
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDf ₁	6,6	4,8	0,1	6,1	5,6	0,1	5,8	4,8	0,4
T ₁₁	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDg ₁	7,3	8,4	0,1	7,4	9,2	0,1	7,0	8,1	0,1
T ₁₂	N ₃ P ₃ K ₁ + RMDg ₂	7,5	9,4	0,1	7,6	9,7	0,1	7,4	10,3	0,2
T ₁₇	N ₃ P ₃ K ₁ + ca _{0,5}	6,0	3,1	0,6	5,6	3,6	0,6	5,5	3,0	0,6
T ₁₈	N ₃ P ₃ K ₁ + ca ₂	7,6	5,6	0,9	7,4	7,5	1,0	6,6	6,0	1,1
T ₁₉	N ₃ P ₃ K ₁ + COg	6,5	4,2	0,2	6,1	4,5	0,2	5,8	4,9	0,3
T ₂₀	N ₃ P ₃ K ₁ + COf	5,7	3,3	0,8	5,3	3,5	0,1	5,2	3,2	0,1

A.1 - 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitam concluir que:

- a) Foi observada resposta positiva em rendimento de plantas à aplicação de adubo nitrogenado;
- b) A maior resposta à adubação fosfatada foi obtida com a aplicação intermediária de adubo fosfatado;
- c) O RMD pode suprir macronutrientes (N, P e Ca^{+2}) para as plantas, além de ser corretivo da acidez do solo; e,
- d) O composto de canil pode ser uma boa fonte dos nutrientes N e P para as plantas.

A.1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SBCS/NRS (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul – Comissão de Química e Fertilidade). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 2004. 394p.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Depto. de Solos, UFRGS, Porto Alegre, 1995. 174p.

7.2 ANEXO 2

CURVAS DE RESPOSTA A NITROGÊNIO E FÓSFORO MINERAIS E EFEITOS DA ADIÇÃO DE OUTROS RESÍDUOS NA CULTURA DO MILHO (Experimento 2)

Prof. Marino José Tedesco

Prof. Clésio Gianello

SUMÁRIO

	Página
A.2.1. INTRODUÇÃO	68
A.2.2. MATERIAL E MÉTODOS	70
A.2.2.1 Caracterização inicial do solo.....	70
A.2.2.2 Materiais utilizados.....	71
A.2.2.3 Tratamentos.....	73
A.2.2.4 Condução do experimento.....	74
A.2.2.5 Análise estatística.....	74
A.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
A.2.3.1 Rendimento de matéria seca das plantas.....	75
A.2.3.2 Absorção de macronutrientes das plantas.....	76
A.2.4. CONCLUSÕES	80
A.2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
A.2.1 Caracterização física e química do solo PVAd.....	70
A.2.2 Caracterização química e granulométrica do RMD.....	72
A.2.3 Tratamentos utilizados.....	73
A.2.4 Rendimento de matéria seca (MS) da parte aérea do milho (médias de duas repetições).....	76
A.2.5 Quantidades de nutrientes contidos na parte aérea do milho..	77
A.2.6 Teores de macronutrientes na parte aérea do milho.....	79

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
A.2.1 Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação nitrogenada e com adição do RMD.....	78
A.2.2 Fósforo absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação fosfatada e com adição do RMD.....	78

A.2.1. INTRODUÇÃO

As recomendações de adubos (orgânicos, minerais ou mistos) são feitas com base em resultados experimentais, obtidos tanto a campo como em microparcelas (vasos), com condições mais controladas. Estas informações são compiladas e disponibilizadas aos agricultores, que as utilizam com base em meios de diagnóstico (análises de solo e de plantas), além das exigências das culturas (SBCS/NRS, 2004).

As informações técnicas referentes à utilização eficiente de alguns adubos, principalmente orgânicos (ou organo-minerais), são às vezes incompletas, devido à diversidade dos materiais disponíveis e à dificuldade de enquadramento destes materiais muito diferentes nas normas que regulamentam esta atividade.

Os testes com plantas são os mais indicados, nestes casos, para avaliar o verdadeiro valor fertilizante destes materiais, como fonte de nutrientes. Embora estes testes demandem tempo maior e sejam mais onerosos do que uma caracterização física e química, são necessários à avaliação correta do valor fertilizante dos mesmos.

Alguns resíduos podem ser reciclados na natureza, caso não acarretem em contaminação ambiental. Enquadra-se neste caso o resíduo moído de mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857); este molusco é um bioinvasor proveniente de países asiáticos, que está se desenvolvendo descontroladamente em águas da região sul do Brasil, por não haver predador específico.

Materiais orgânicos, como o proveniente da acumulação de restos alimentares de populações indígenas, têm sido utilizados como fontes de

nutrientes para as plantas, ou áreas preferenciais para culturas de subsistência. São conhecidas como as “terras de índios”, que ocorrem em vários pontos na região amazônica, em que a fertilidade do solo é bem mais elevada do que a da mata ao redor (Cunha et al., 2009).

A avaliação agronômica destes materiais com a utilização de plantas é importante para estabelecer sua aplicação agrícola. Os objetivos deste trabalho foram:

- a) Determinar as curvas de resposta a N e P de adubos minerais em solo ácido, com baixa fertilidade natural;
- b) Avaliar o valor fertilizante de alguns materiais orgânicos;
- c) Avaliar a possibilidade de utilização do resíduo moído de mexilhão dourado (RMD) como fonte de nutrientes (N e P) para as plantas e corretivo da acidez do solo;
- d) Testar a utilização de rejeitos do Laboratório de Análises de Solos da UFRGS no solo; e,
- e) Obter informações de pesquisa para atividades didáticas na área de fertilização e correção de solos ácidos.

A.2.2. MATERIAL E MÉTODOS

A.2.2.1 Caracterização inicial do solo

Foi utilizado no experimento um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (PVAd) da unidade de mapeamento Itapuã (Streck et al., 2008), coletado no município de Viamão, RS. A caracterização física e química deste solo é dada na Tabela A.2.1.

Foram utilizados vasos de PVC contendo 5,5 L de solo seco (base de cálculo: 1 ha = $2,0 \times 10^6$ L), sendo o experimento conduzido a céu aberto, com irrigação à medida das necessidades das plantas.

TABELA A.2.1. Caracterização física e química do solo PVAd

Parâmetro ⁽¹⁾	Valor	Parâmetro	Valor
pH em água	5,2	Índice SMP	7,0
P disponível (mg dm ⁻³)	2,8	K disponível (mg dm ⁻³)	17
M.O. (g dm ⁻³)	5	Argila (g dm ⁻³)	90
Al ⁺³ trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,2	H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,4
Ca ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,3	Mg ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,3
CTC (cmol _c dm ⁻³)	2,0	V (%)	34
S extraível (mg dm ⁻³)	16,0	Zn extraível (mg dm ⁻³)	1,4
Cu extraível (mg dm ⁻³)	0,4	B extraível (mg dm ⁻³)	0,7
Mn trocável (mg dm ⁻³)	11,0		

⁽¹⁾ Determinações conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A.2.2.2 Materiais utilizados

No tratamento T₁₃ foi utilizado material rejeitado pelo Laboratório de Análises de Solo (LAS) da Faculdade de Agronomia, UFRGS, constituído por mistura de amostras (fração em excesso e sobras de amostras analisadas), sendo irrigado com efluente líquido (decantado) do próprio laboratório. Este foi utilizado nos tratamentos T₁₂ e T₃ e apresentou Na⁺², K⁺, Ca⁺² e Mg⁺² de 76, 193, 139 e 22 mg L⁻¹, respectivamente, com condutividade elétrica de 1,4 mScm⁻¹, correspondente à classificação de águas C₃S, com finalidade de irrigação (Richards, 1969).

No tratamento T₁₄ foi adicionado um resíduo de origem antrópica (tipo “terra de índio”) proveniente da Bolívia, contendo 0,9% de P total.

O mexilhão dourado foi colhido no Lago Guaíba, na vila de Itapuã, no verão de 2007, sendo a seguir seco em estufa a 60°C. O material com granulometria grossa foi moído em moinho de martelos (sem peneiras). A caracterização química e granulométrica deste RMD é apresentada na Tabela A.2.2.

O húmus comercial apresentou pH (em água) 6,9 e os teores totais de N, P e K⁺ de 6,6; 3,2 e 2,7 mg kg⁻¹, respectivamente.

TABELA A.2.2. Caracterização química e granulométrica do RMD⁽¹⁾

Determinações	
----- Químicas -----	
N total (g kg ⁻¹)	13,3
P total (g kg ⁻¹)	2,3
K total (g kg ⁻¹)	0,5
Ca total (g kg ⁻¹)	330,0
Mg total (g kg ⁻¹)	0,8
Valor de neutralização (%)	64,0
Densidade (%)	0,78
----- Análise granulométrica (% - mm ⁻¹) -----	
Fração (mm)	
> 2,00	15,7
2,00 – 0,84	52,7
0,80 – 0,30	26,0
< 0,30	5,6

⁽¹⁾ Coletado em 2007 e moído em moinho de martelos sem peneira.

A.2.2.3 Tratamentos

Na Tabela A.2.3 são descritos os tratamentos (em blocos, com duas repetições) e as quantidades dos resíduos e corretivos utilizados.

TABELA A.2.3. Tratamentos utilizados

Tratamentos		Descrição
Nº	Denominação	
T ₁	Testemunha (T)	Sem adubo mineral ou resíduo
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ ⁽¹⁾ + ca ⁽²⁾ (N ₀)	Adubo mineral (sem N) + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + Ca (N ₁)	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca (N ₂)	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca (N ₃ P ₃)	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca (P ₀)	Adubo mineral (sem P) + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + Ca (P ₁)	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca (P ₂)	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₉	H. comercial (HC)	Húmus comercial (30 t ha ⁻¹)
T ₁₀	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD (RMD/N ₀)	Adubo mineral (sem N) + resíduo moído de mexilhão dourado (6t ha ⁻¹)
T ₁₁	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD (RMD/P ₀)	Adubo mineral (sem P) + resíduo moído de mexilhão dourado (6t ha ⁻¹)
T ₁₂	N ₃ P ₃ + ca + Ef. LAS (Ef.)	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹), irrigado com efluente do LAS ⁽³⁾
T ₁₃	N ₃ P ₃ K ₁ + ca + R.L. + Ef. LAS (RL/Ef.)	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹) + solo rejeitado do LAS, irrigado com efluente do LAS ⁽⁴⁾
T ₁₄	R. Ant. + N ₂ (RA/N)	Resíduo antrópico (Bolívia) + N ₂ ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Doses de adubos minerais aplicadas:

N₀ = 0; N₁ = 40; N₂ = 80; N₃ = 160 kg de N ha⁻¹ na forma de uréia (45% de N);

P₀ = 0; P₁ = 30; P₂ = 60; P₃ = 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo (45% de P₂O₅);

K₀ = 0; K₁ = 60 kg de K₂O ha⁻¹ na forma de KCl (60% de K₂O).

⁽²⁾ Calcário: CaCO₃ + MgCO₃ (produtos comerciais) na proporção de 3:1 em peso, com PRNT 100%.

⁽³⁾ Irrigado com efluente líquido (decantado) gerado pelo Laboratório de Análises de Solos (LAS) da UFRGS.

⁽⁴⁾ Com solo rejeitado pelo LAS e irrigado com efluente do mesmo, com 2 t de calcário ha⁻¹.

⁽⁵⁾ Adicionado 8,55 t ha⁻¹ de resíduo antrópico contendo 0,9% de P total.

A.2.2.4 Condução do experimento

O experimento foi iniciado em 13/03/2007, semeando-se a seguir o milho (Pioneer), mantendo-se duas plantas por vaso. Os adubos minerais (P e K⁺), o calcário e os resíduos foram homogeneizados e misturados com o solo. A adubação nitrogenada foi fracionada, aplicando-se 1/2 em 04/04/07 e 1/2 em 19/04/07. A parte aérea foi colhida em 31/05/07, sendo seca em estufa com renovação de ar (60°C), quantificada e posteriormente moída em moinho de facas para determinação dos macronutrientes (N, P, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) no tecido (Tedesco et al., 1995).

A.2.2.5 Análise estatística

O estudo estatístico dos dados obtidos foi feito pela análise da variância e pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 95% de probabilidade.

A.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A.2.3.1 Rendimento de matéria seca das plantas

Na Tabela A.2.4 é mostrado o rendimento da parte aérea das plantas de milho. Foi observado aumento no rendimento devido às adições de adubos nitrogenado e fosfatado, até as doses mais altas adicionadas, indicando a baixa fertilidade natural do solo.

Não houve aumento de rendimento das plantas, em relação à testemunha, com a adição de húmus comercial (T₉), mesmo tendo sido adicionado uma grande quantidade deste material, indicando um baixo valor fertilizante do mesmo.

A adição do resíduo antrópico com adubo nitrogenado (T₁₄) também favoreceu o crescimento das plantas, devido ao aporte de P.

A utilização dos resíduos gerados no LAS (terra de excesso e efluente líquido) (T₁₂ e T₁₃) não prejudicou o crescimento das plantas, obtendo-se rendimentos semelhantes ao tratamento com doses máximas de N e de P (T₅), indicando que podem ser descartados no solo (Barbosa, 2008).

A adição do RMD (T₁₁) mostrou-se eficiente em disponibilizar P, com um aumento de 10,5 g de MS vaso⁻¹ em relação ao tratamento T₆.

TABELA A.2.4. Rendimento de matéria seca (MS) da parte aérea do milho (médias de duas repetições)

Tratamentos		MS ⁽¹⁾ g vaso ⁻¹
Nº	Denominação	
T ₁	Testemunha	5,3 a
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca	7,3 ab
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	13,3 b
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	23,3 c
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	34,1 e
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	11,6 ab
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	25,5 cd
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	31,6 de
T ₉	H. comercial	5,1
T ₁₀	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD	11,8 ab
T ₁₁	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD	22,1 c
T ₁₂	N ₃ P ₃ + ca + Ef. LAS	32,0
T ₁₃	N ₃ P ₃ K ₁ + ca + R.L. + Ef. LAS	33,6
T ₁₄	R. Ant. + N ₂	21,8

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de DMS a 95% de probabilidade.

A.2.3.2 Absorção de macronutrientes pelas plantas

Na Tabela A.2.5 são apresentadas as quantidades de nutrientes absorvidos, contidos na parte aérea das plantas.

Nas Figuras A.2.1 e A.2.2 são mostradas as absorções de N e de P na parte aérea das plantas. Pode-se observar que a absorção de N aumentou linearmente com o aumento da adubação nitrogenada, embora os teores nas plantas sejam baixos (Tabela A.2.6). Entretanto, a absorção de P cresceu linearmente até a adição de 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹, sendo que a fração desse nutriente absorvida diminuiu com a aplicação da maior quantidade de P adicionado.

A adição do RMD supriu 34,8 mg de N vaso⁻¹ e 10,0 mg de P vaso⁻¹, equivalentes a 11,6 kg de N ha⁻¹ e 7,6 kg de P₂O₅ ha⁻¹, respectivamente.

A maior absorção de Ca⁺² e de Mg⁺² foi obtida no tratamento com doses máximas de N e de P e adição de calcário (T₅). Porém, a absorção de Ca⁺² e de Mg⁺² foi influenciada pela falta de adubação nitrogenada e fosfatada, apesar de não ter apresentado diferenças significativas. Nos tratamentos sem adubação nitrogenada (T₂ e T₁₀), a adição de RMD supriu 31,7 mg de Ca⁺² e 25,1 mg de Mg⁺². Enquanto, nos tratamentos sem adubação fosfatada (T₆ e T₁₁), a adição do RMD supriu 39,0 mg de Ca⁺² e 14,1 mg de Mg⁺².

TABELA A.2.5. Quantidades de nutrientes contidos na parte aérea do milho⁽¹⁾

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- mg vaso ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	51,4 a ⁽²⁾	11,9 a	141,0 a	18,3 a	30,7 a
T ₂	(N ₀)	62,8 ab	32,2 bc	246,2 ab	21,2 a	44,4 a
T ₃	(N ₁)	111,7 abc	32,1 bc	233,5 ab	46,7 ab	69,8 abc
T ₄	(N ₂)	161,5 bc	35,8 cd	363,0 b	81,8 bc	107,9 bcd
T ₅	(N ₃ P ₃)	314,0 de	46,3 de	304,1 ab	145,5 d	165,5 e
T ₆	(P ₀)	211,1 cd	11,2 a	229,3 ab	50,1 ab	64,2 ab
T ₇	(P ₁)	285,3 de	24,4 b	363,7 b	108,1 cd	116,3 cd
T ₈	(P ₂)	332,0 e	36,7 cd	334,8 ab	113,0 cd	143,6 de
T ₉	(HC)	⁽³⁾	-	-	-	-
T ₁₀	(RMD/N ₀)	97,2 ab	48,4 e	235,6 ab	52,9 ab	69,4 abc
T ₁₁	(RMD/P ₀)	343,0 e	21,2 ab	301,0 ab	89,1 bc	78,2 abc
T ₁₂	(Ef.)	297,6	112,3	320,0	179,2	160,0
T ₁₃	(RL/Ef.)	215,0	157,9	305,8	161,3	164,6
T ₁₄	(RA/N)	307,4	30,5	218,6	91,6	63,2

⁽¹⁾ Médias de duas repetições, à exceção dos tratamentos T₉, T₁₂, T₁₃ e T₁₄, em que foi feita uma amostra composta da matéria seca.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS a 95% de probabilidade.

⁽³⁾ Amostra perdida.

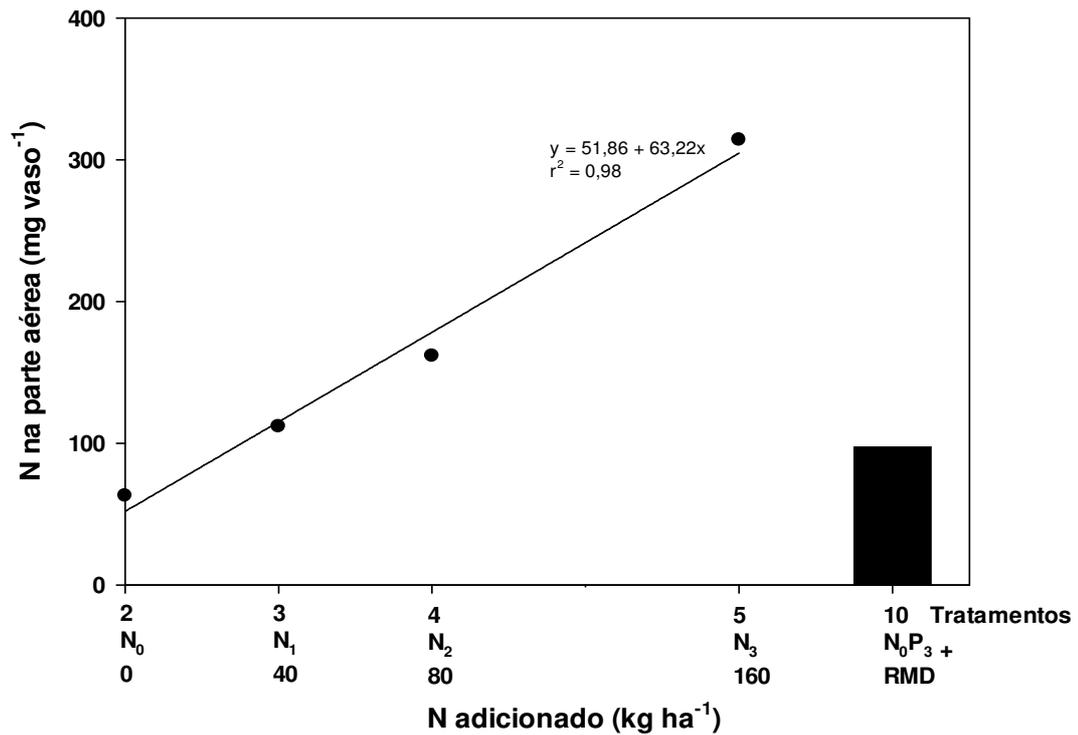


FIGURA A.2.1. Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação nitrogenada e com adição do RMD.

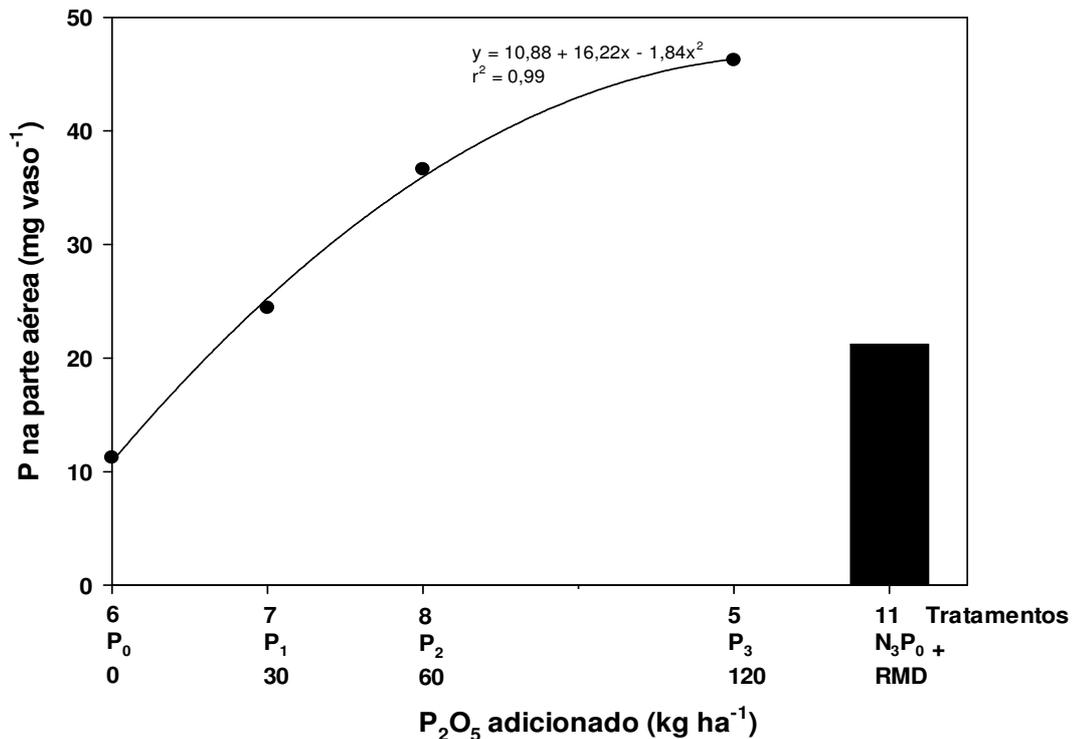


FIGURA A.2.2. Fósforo absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação fosfatada e com adição do RMD.

TABELA A.2.6 Teores de macronutrientes na parte aérea do milho ⁽¹⁾

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- g kg ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	10,0 ab	2,3 bc	26,7 bc	3,6 a	5,8 b
T ₂	(N ₀)	8,7 ab	4,4 d	34,0 c	2,9 a	6,1 b
T ₃	(N ₁)	8,2 ab	2,4 c	17,6 ab	3,5 a	5,2 ab
T ₄	(N ₂)	7,0 a	1,5 abc	15,7 ab	3,6 a	4,7 ab
T ₅	(N ₃ P ₃)	9,2 ab	1,4 ab	8,9 a	4,3 a	4,9 ab
T ₆	(P ₀)	18,5 c	1,0 a	20,0 abc	4,3 a	5,6 ab
T ₇	(P ₁)	11,2 abc	1,0 a	15,7 ab	4,1 a	4,4 ab
T ₈	(P ₂)	10,7 abc	1,2 a	10,4 a	3,7 a	4,7 ab
T ₉	(HC)	⁽³⁾	-	-	-	-
T ₁₀	(RMD/N ₀)	8,9 ab	4,3 d	22,4 abc	4,8 a	6,2 a
T ₁₁	(RMD/P ₀)	15,8 bc	1,0 a	13,8 ab	4,1 a	3,6 a
T ₁₂	(Ef.)	9,3	3,5	10,6	5,6	5,0
T ₁₃	(RL/Ef.)	6,4	4,7	9,1	4,8	4,9
T ₁₄	(RA/N)	14,1	1,4	6,2	4,2	2,9

⁽¹⁾ Médias de duas repetições, à exceção dos tratamentos T₉, T₁₂, T₁₃ e T₁₄, em que foi feita uma amostra composta da matéria seca.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de DMS a 95% de probabilidade.

⁽³⁾ Amostra perdida.

A.2.4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitam concluir que:

- a) O rendimento de matéria seca da parte aérea das plantas de milho aumentou com a adição de adubos nitrogenado e fosfatado minerais, sendo a maior produção de biomassa obtida no tratamento com as maiores doses de N e de P (T₅);
- b) O RMD foi eficiente em disponibilizar N e P, propiciando um aumento de rendimento de plantas;
- c) O RMD supriu parte dos macronutrientes (N, P, K⁺ e Ca⁺²) absorvidos pelas plantas;
- d) O resíduo antrópico pode ser utilizado como adubo fosfatado, quando aplicado em doses elevadas; e,
- e) Os resíduos gerados no LAS podem ser utilizados para o cultivo das plantas, com a correção e a adubação adequadas.

A.2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, D.B.P. **Aplicação no solo dos resíduos e efluentes do Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 2008, 74p. Monografia (Especialização) – Faculdade de Tecnologia SENAI, Blumenau.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344p.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, V.M.; SANTOS, S.A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the brazilian amazon basin. **R.Bras.Ci.Solo**, Viçosa. v.33, p.85-93. 2009.

RICHARDS, L.A., Ed. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. (Agriculture Handbook, 60), USDA, Washington. D.C. 1969. 160p.

SBCS/NRS (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul – Comissão de Química e Fertilidade). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 2004. 394p.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Depto. de Solos, UFRGS, Porto Alegre, 1995. 174p.

7.3 ANEXO 3

**CURVAS DE RESPOSTA A NITROGÊNIO E FÓSFORO MINERAIS E
EFEITOS DA ADIÇÃO DE RESÍDUO MOÍDO DE MEXILHÃO DOURADO E
DE VERMICOMPOSTO NAS CULTURAS DE MILHO E DE AVEIA
(Experimento 3)**

Daniela Bueno Piaz Barbosa

Prof. Marino José Tedesco

SUMÁRIO

	Página
A.3.1. INTRODUÇÃO	86
A.3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	88
A.3.2.1 Caracterização inicial do solo.....	88
A.3.2.2 Tratamentos.....	89
A.3.2.3 Condução da primeira cultura (milho).....	91
A.3.2.4 Condução da segunda cultura (aveia).....	92
A.3.2.5 Análise estatística.....	93
A.3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
A.3.3.1 Primeira cultura (milho).....	94
A.3.3.2 Segunda cultura (aveia).....	98
A.3.4. CONCLUSÕES	105
A.3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
A.3.1 Caracterização física e química do solo PVAd.....	88
A.3.2 Tratamentos utilizados.....	90
A.3.3 Caracterização química e granulométrica do RMD.....	91
A.3.4 Caracterização química do vermicomposto.....	91
A.3.5 Doses de fertilizantes aplicadas no cultivo de aveia.....	93
A.3.6 Rendimento de matéria seca da parte aérea de milho (médias de três repetições).....	95
A.3.7 Quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de milho (médias de três repetições).....	96
A.3.8 Rendimento de matéria seca da parte aérea e das raízes de aveia (médias de três repetições).....	99
A.3.9 Quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de aveia (médias de três repetições).....	100
A.3.10 Quantidades de macronutrientes contidos nas raízes de aveia (médias de três repetições).....	101
A.3.11 Teores de macronutrientes na parte aérea de milho (médias de três repetições).....	102
A.3.12 Teores de macronutrientes na parte aérea de aveia (médias de três repetições).....	103
A.3.13 Teores de macronutrientes nas raízes de aveia (médias de três repetições).....	104

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
A.3.1 Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas do milho nos tratamentos com adubação nitrogenada e com adição de RMD	97
A.3.2 Fósforo absorvido na parte aérea das plantas do milho nos tratamentos com adubação fosfatada e com adição de RMD.....	97

A.3.1. INTRODUÇÃO

A proliferação do molusco asiático “mexilhão dourado” (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857), devido à sua boa adaptação às condições locais e à falta de predador natural tem gerado danos ambientais e econômicos. O mexilhão dourado forma grandes colônias em diversos substratos, devendo-se estudar a destinação dos resíduos gerados pela limpeza destes locais, pois o lançamento destes dejetos ao mar ou em terrenos baldios torna o lugar propício para a propagação de vetores de diversas doenças.

A reciclagem de materiais e a utilização de resíduos no solo são importantes temas para estudo, por seus aspectos técnicos, econômicos e ambientais. O desenvolvimento de técnicas acessíveis de transformação de conchas de moluscos pode agregar valor a esta matéria-prima, que apresenta alto teor de CaCO_3 , podendo ser utilizada para diversos fins, além de ser menos impactante ao meio ambiente.

Diante da problemática ambiental e econômica causada pelo mexilhão dourado, que tem atingido o estado do Rio Grande do Sul desde 1998, foi estudada a possibilidade de utilização do resíduo moído (RMD) na agricultura. Os objetivos deste trabalho foram:

- a) Avaliar a resposta das plantas às adições de adubos minerais de uso convencional, suprindo os principais nutrientes de planta: N, P e K^+ ;
- b) Avaliar o suprimento de macronutrientes (N, P, K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) para as plantas pela adição do RMD no solo;
- c) Determinar o suprimento de macronutrientes (N, P, K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) para as plantas pela adição de vermicomposto no solo;

- d) Determinar o efeito residual da adição do RMD no solo na cultura da aveia.

A.3.2. MATERIAL E MÉTODOS

A.3.2.1 Caracterização inicial do solo

Foi utilizado no experimento um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (PVAd) da unidade de mapeamento Itapuã (Streck et al., 2008), coletado no município de Viamão, RS. A caracterização física e química deste solo é dada na Tabela A.3.1.

Foram utilizados vasos de PVC com 5,5 L de capacidade (6 kg de solo seco), com drenagem livre (base de cálculo: 1 ha = $2,0 \times 10^6$ L). O experimento foi conduzido sob cobertura de telhas de fibra de vidro translúcidas para impedir o aporte de água pluvial nos vasos, utilizando-se irrigação com água potável à medida das necessidades das plantas (Anexo 5 - Figura A.5.4).

TABELA A.3.1. Caracterização física e química do solo PVAd

Parâmetro ⁽¹⁾	Valor	Parâmetro	Valor
pH em água	5,2	Índice SMP	7,0
P disponível (mg dm ⁻³)	2,8	K disponível (mg dm ⁻³)	17
M.O. (g dm ⁻³)	5	Argila (%)	90
Al ⁺³ trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,2	H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,4
Ca ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,3	Mg ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³)	0,3
CTC (cmol _c dm ⁻³)	2,0	V (%)	34
S extraível (mg dm ⁻³)	16,0	Zn extraível (mg dm ⁻³)	1,4
Cu extraível (mg dm ⁻³)	0,4	B extraível (mg dm ⁻³)	0,7
Mn trocável (mg dm ⁻³)	11,0		

⁽¹⁾ Determinações conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A.3.2.2 Tratamentos

Na Tabela A.3.2 são descritos os tratamentos (em blocos, com três repetições) e as quantidades dos adubos, resíduos e corretivos utilizados.

Os tratamentos com doses crescentes de adubos nitrogenado e fosfatado permitem obter as curvas de resposta das plantas às adições destes. Os tratamentos com adubação mineral e RMD possibilitam determinar a eficiência destes como fonte de macronutrientes (N, P, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) para as plantas.

As quantidades e fontes de N, P e K aplicadas na primeira cultura (milho) são apresentadas no item A.3.2.3.

A coleta do mexilhão dourado foi feita no Lago Guaíba, na vila de Itapuã, em 2007, sendo a seguir as colônias secas em estufa a 60°C e moídas em moinho de martelos (sem peneiras). A composição granulométrica das partículas é apresentada na Tabela A.3.3.

O vermicomposto foi preparado por compostagem de esterco bovino, como atividade prática da disciplina Biologia do Solo (AGR03004) do curso de Graduação da Faculdade de Agronomia da UFRGS, e disponibilizada pelo Prof. Dércio Scholles. A caracterização química deste material é descrita na Tabela A.3.4.

As quantidades de RMD e de vermicomposto adicionadas foram calculadas em base seca (Tedesco et al., 1995).

Após o cultivo, foi feito o corte da parte aérea das plantas de milho e aveia, sendo em seguida seca em estufa com renovação de ar (60° C) para quantificação da matéria seca e determinação de macronutrientes (N, P, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) no tecido (Tedesco et al., 1995).

TABELA A.3.2. Tratamentos utilizados

Tratamentos		Descrição
Nº	Denominação	
T ₁	Testemunha (T)	Sem adição de adubo mineral ou resíduo
T ₂	Testemunha + ca ⁽¹⁾ (T/ca)	Sem adubo ou resíduo + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₃	N ₀ P ₃ K ₁ + ca (N ₀)	Adubo mineral (sem N) + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₄	N ₁ P ₃ K ₁ + ca (N ₁)	Adubo mineral + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₅	N ₂ P ₃ K ₁ + ca (N ₂)	Adubo mineral + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₆	N ₃ P ₃ K ₁ + ca (N ₃ P ₃)	Adubo mineral + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₇	N ₃ P ₀ K ₁ + ca (P ₀)	Adubo mineral (sem P) + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₈	N ₃ P ₁ K ₁ + Ca (P ₁)	Adubo mineral + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₉	N ₃ P ₂ K ₁ + ca (P ₂)	Adubo mineral + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₀ + ca (K ₀)	Adubo mineral (sem K) + calcário (1t ha ⁻¹)
T ₁₁	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD (RMD/P ₀)	Adubo mineral (sem P) + resíduo moído de mexilhão dourado (6t ha ⁻¹)
T ₁₂	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD (RMD/N ₀)	Adubo mineral (sem N) + resíduo moído de mexilhão dourado (6t ha ⁻¹)
T ₁₃	RMD (6t) (RMD/6)	Resíduo moído de mexilhão dourado (6 t ha ⁻¹)
T ₁₄	RMD (3t) (RMD/3)	Resíduo moído de mexilhão dourado (3 t ha ⁻¹)
T ₁₅	Vermicomposto (10t) (VC/10)	Vermicomposto (10 t ha ⁻¹)
T ₁₆	Vermicomposto (30t) (VC/30)	Vermicomposto (30 t ha ⁻¹)

⁽¹⁾ Calcário: CaCO₃ + MgCO₃ (produtos comerciais) na proporção de 3:1 em peso, com PRNT 100%.

TABELA A.3.3. Caracterização química e granulométrica do RMD

Determinação	Valor
----- Químicas -----	
N total (g kg ⁻¹)	13,3
P total (g kg ⁻¹)	2,3
K total (g kg ⁻¹)	0,5
Ca total (g kg ⁻¹)	330
Mg total (g kg ⁻¹)	0,8
Valor de neutralização (%)	64
----- Análise granulométrica (% - mm ⁻¹) -----	
Fração (mm)	
> 2,00	15,7
2,00 – 0,84	52,7
0,80 – 0,30	26
< 0,30	5,6

TABELA A.3.4. Caracterização química do vermicomposto

Determinação	Valor
N total (g kg ⁻¹)	19
P total (g kg ⁻¹)	12
K total (g kg ⁻¹)	9,8
Ca total (g kg ⁻¹)	18
Mg total (g kg ⁻¹)	8,7

A.3.2.3 Condução da primeira cultura (milho)

As doses de adubos minerais aplicados no primeiro cultivo foram: N₀ = 0; N₁ = 40; N₂ = 80; N₃ = 160 kg de N ha⁻¹ na forma de uréia (45% de N); P₀ = 0; P₁ = 30; P₂ = 60; P₃ = 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo (45% P₂O₅); K₀ = 0; K₁ = 60 kg de K₂O ha⁻¹ na forma de KCl (60% de K₂O).

Em 05/03/2008, os adubos fosfatado e potássico, os corretivos e os resíduos foram misturados com o solo, semeando-se a seguir o milho. A

emergência das plântulas ocorreu após sete dias, sendo deixadas duas plantas por vaso. O adubo nitrogenado foi aplicado em duas parcelas, sendo $\frac{1}{2}$ da dose na semeadura e o restante em cobertura (em solução), aos 15 dias de cultivo após a emergência das plantas. Foi feita uma aplicação do inseticida malatiol durante o período de condução da cultura para controle de lagartas. O corte da parte aérea das plantas foi feito em 12/05/08, totalizando 68 dias de cultivo.

A.3.2.4 Condução da segunda cultura (aveia)

Na Tabela A.3.5 são apresentadas as doses de reaplicação de adubos minerais. Para a avaliação do efeito residual dos fertilizantes, dos corretivos e dos resíduos foram reaplicados N e P somente em alguns tratamentos. A análise de solo amostrado após o cultivo do milho indicou teores muito baixos de K, que poderiam provocar deficiência deste nutriente para as plantas; por este motivo foi reaplicado KCl nos tratamentos de 3 a 9 e de 11 a 14.

Em 27/06/2008, os adubos fosfatado e potássico foram misturados com o solo, sendo a seguir feita a semeadura da aveia. A emergência das plântulas ocorreu após dez dias, deixando-se cinco plantas por vaso. O adubo nitrogenado foi aplicado em três parcelas, sendo $\frac{1}{3}$ da dose na semeadura e os $\frac{2}{3}$ restantes em cobertura, em solução, aos 18 e 30 dias de cultivo. O corte da parte aérea das plantas foi feito em 29/08/08 (63 dias de cultivo).

Após o corte da parte aérea, as raízes foram lavadas e secas em estufa com renovação de ar (60°C), pesadas para quantificação da matéria seca e moídas em moinho de facas, determinando-se os teores de macronutrientes (N, P, K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) no tecido (Tedesco et al., 1995).

TABELA A.3.5. Doses de fertilizantes aplicadas no cultivo de aveia ⁽¹⁾

Tratamentos			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Nº	Denominação		----- kg ha ⁻¹ -----		
T ₁	Testemunha	(T)	-	-	-
T ₂	Testemunha + ca	(T/ca)	-	-	-
T ₃	N ₀ P ₃ K ₁ + ca	(N ₀)	-	120	80
T ₄	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	(N ₁)	-	120	80
T ₅	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	(N ₂)	-	120	80
T ₆	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	(N ₃ P ₃)	-	-	80
T ₇	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	(P ₀)	160	-	80
T ₈	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	(P ₁)	160	-	80
T ₉	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	(P ₂)	160	-	80
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₀ + ca	(K ₀)	160	120	-
T ₁₁	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD (6t)	(RMD/P ₀)	160	-	80
T ₁₂	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD (6t)	(RMD/N ₀)	-	120	80
T ₁₃	RMD (6t)	(RMD/6)	-	-	80
T ₁₄	RMD (3t)	(RMD/3)	-	-	80
T ₁₅	Vermicomposto (10t)	(VC/10)	-	-	-
T ₁₆	Vermicomposto (30t)	(VC/30)	-	-	-

⁽¹⁾ Doses de adubos minerais:
 160 kg de N ha⁻¹ na forma de uréia (45% de N);
 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo (45% P₂O₅);
 80 kg de K₂O ha⁻¹ na forma de KCl (60% de K₂O).

A.1.2.5 Análise estatística

O estudo estatístico dos dados obtidos nos dois cultivos foi feito pela análise da variância e pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 95% de probabilidade.

A.3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A.3.3.1 Primeira cultura (milho)

Na Tabela A.3.6 é apresentado o rendimento de matéria seca da parte aérea das plantas de milho. Pode-se observar o aumento no rendimento devido às adições de adubos nitrogenado e fosfatado, até as doses mais altas adicionadas (T_6), indicando a baixa fertilidade natural do solo. O P (T_7 e T_{11}) foi mais limitante no rendimento de plantas em relação ao N (T_3 e T_{11}).

A adição de vermicomposto (T_{16}) propiciou o maior rendimento de plantas, demonstrando seu alto valor fertilizante.

A adição de RMD (T_{13}) também aumentou o rendimento (3,3 g de MS vaso⁻¹) em relação à testemunha (T_1). As adições de N e P (na forma de adubos minerais) ao RMD (T_{11} e T_{12}) propiciaram rendimentos de MS das plantas que não diferiram significativamente em relação às respectivas testemunhas (T_3 e T_7). Estes aumentos foram de 1,8 e 1,1 mg vaso⁻¹ para as adições de N e P, respectivamente, indicando a liberação destes nutrientes para as plantas por este resíduo.

TABELA A.3.6. Rendimento de matéria seca da parte aérea de milho (médias de três repetições)

Tratamentos			Matéria seca g vaso ⁻¹
Nº	Denominação		
T ₁	Testemunha (T)		2,5 a ⁽¹⁾
T ₂	Testemunha + ca (T/ca)		3,5 ab
T ₃	N ₀ P ₃ K ₁ + ca (N ₀)		10,1 c
T ₄	N ₁ P ₃ K ₁ + ca (N ₁)		21,4 ef
T ₅	N ₂ P ₃ K ₁ + ca (N ₂)		23,8 fg
T ₆	N ₃ P ₃ K ₁ + ca (N ₃ P ₃)		25,5 g
T ₇	N ₃ P ₀ K ₁ + ca (P ₀)		4,2 ab
T ₈	N ₃ P ₁ K ₁ + ca (P ₁)		17,6 d
T ₉	N ₃ P ₂ K ₁ + ca (P ₂)		21,2 ef
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₀ + ca (K ₀)		9,7 c
T ₁₁	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD (6t) (RMD/P ₀)		5,3 ab
T ₁₂	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD (6t) (RMD/N ₀)		11,9 c
T ₁₃	RMD (6t) (RMD/6)		5,8 b
T ₁₄	RMD (3t) (RMD/3)		3,5 ab
T ₁₅	Vermicomposto (10t) (VC/10)		18,8 de
T ₁₆	Vermicomposto (30t) (VC/30)		37,1 h

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 95% de probabilidade.

Na Tabela A.3.7 são apresentadas as quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de milho. Pode-se observar que os valores são menores no tratamento testemunha (T₁), devido à baixa fertilidade natural do solo. As quantidades mais elevadas de N, P, K⁺ foram determinadas no tratamento com adição de vermicomposto (T₁₆), e as quantidades mais elevadas de Ca⁺² e Mg⁺² foram determinadas com as maiores adições de adubo mineral e calcário (T₆).

As quantidades de N e de P absorvidas com a adição de RMD (T₁₁, T₁₂ e T₁₃) não diferiram significativamente dos respectivos tratamentos testemunhas (T₇, T₃ e T₁). Porém, a adição deste resíduo aumentou em 42 e 4

mg de N e P vaso⁻¹, respectivamente, em relação ao tratamento testemunha (T₁), indicando a liberação dos nutrientes N e P para as plantas.

A adição de RMD (T₁₃) propiciou maior absorção de Ca⁺² em relação à testemunha com calcário (T₂), porém estes tratamentos não diferiram entre si para as quantidades de Mg⁺² absorvidas.

TABELA A.3.7. Quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de milho (médias de três repetições)

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- mg vaso ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	34,6 a ⁽¹⁾	2,3 a	46,2 a	33,5 abc	26,7 a
T ₂	(T/ca)	52,1 a	4,6 a	52,5 ab	32,7 ab	37,6 a
T ₃	(N ₀)	72,2 ab	24,7 bc	188,7 cd	51,0 abcd	66,3 bc
T ₄	(N ₁)	166,4 cde	31,0 cd	269,3 e	98,1 gh	93,1 d
T ₅	(N ₂)	216,1 de	34,0 cd	244,2 de	136,7 i	125,0 e
T ₆	(N ₃ P ₃)	248,2 ef	34,0 cd	281,3 e	173,8 j	195,6 f
T ₇	(P ₀)	70,8 a	5,0 a	147,2 c	24,5 a	26,0 a
T ₈	(P ₁)	180,2 de	14,2 ab	284,9 ef	122,8 hi	91,2 cd
T ₉	(P ₂)	279,1 g	23,8 bc	355,8 f	138,5 i	125,3 e
T ₁₀	(K ₀)	247,0 fg	38,6 d	120,9 bc	86,4 fg	94,3 d
T ₁₁	(RMD/P ₀)	121,0 bc	6,7 a	193,3 cd	53,8 bcd	27,2 a
T ₁₂	(RMD/N ₀)	70,2 a	27,9 cd	287,1 ef	61,6 def	46,9 ab
T ₁₃	(RMD/6)	77,1 ab	6,4 a	71,3 ab	59,3 cde	46,7 ab
T ₁₄	(RMD/3)	43,5 a	5,2 a	68,1 ab	33,2 abc	27,2 a
T ₁₅	(VC/10)	162,5 cd	70,0 e	455,6 g	81,5 efg	92,7 d
T ₁₆	(VC/30)	363,5 h	143,0 f	1059,8 h	91,4 g	144,2 e

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 95% de probabilidade.

Nas Figuras A.3.1 e A.3.2 são mostradas as absorções de N e de P na parte aérea das plantas de milho, respectivamente. Pode-se observar que a absorção de N cresceu linearmente até a adição de 80 kg de N ha⁻¹. A fração desse nutriente absorvida decresceu com a aplicação da maior quantidade de

N adicionado. Entretanto, foi observada maior taxa de absorção de P com a maior dose de adição de adubo fosfato.

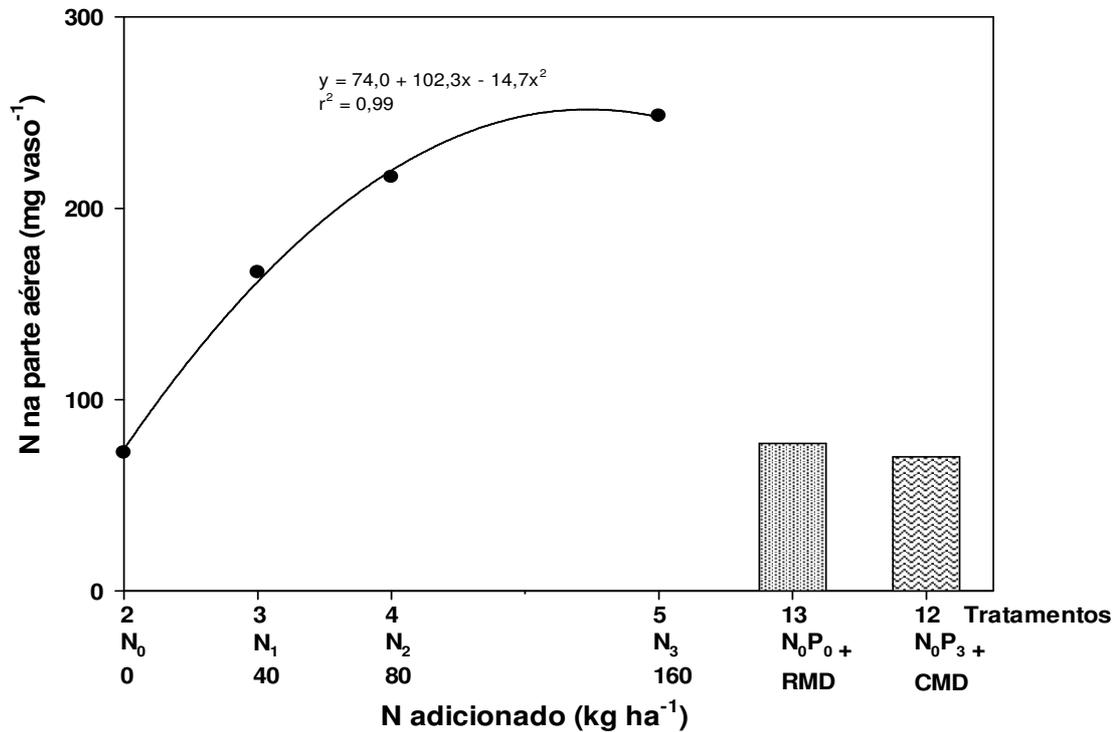


FIGURA A.3.1. Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas do milho nos tratamentos com adubação nitrogenada e com adição de RMD.

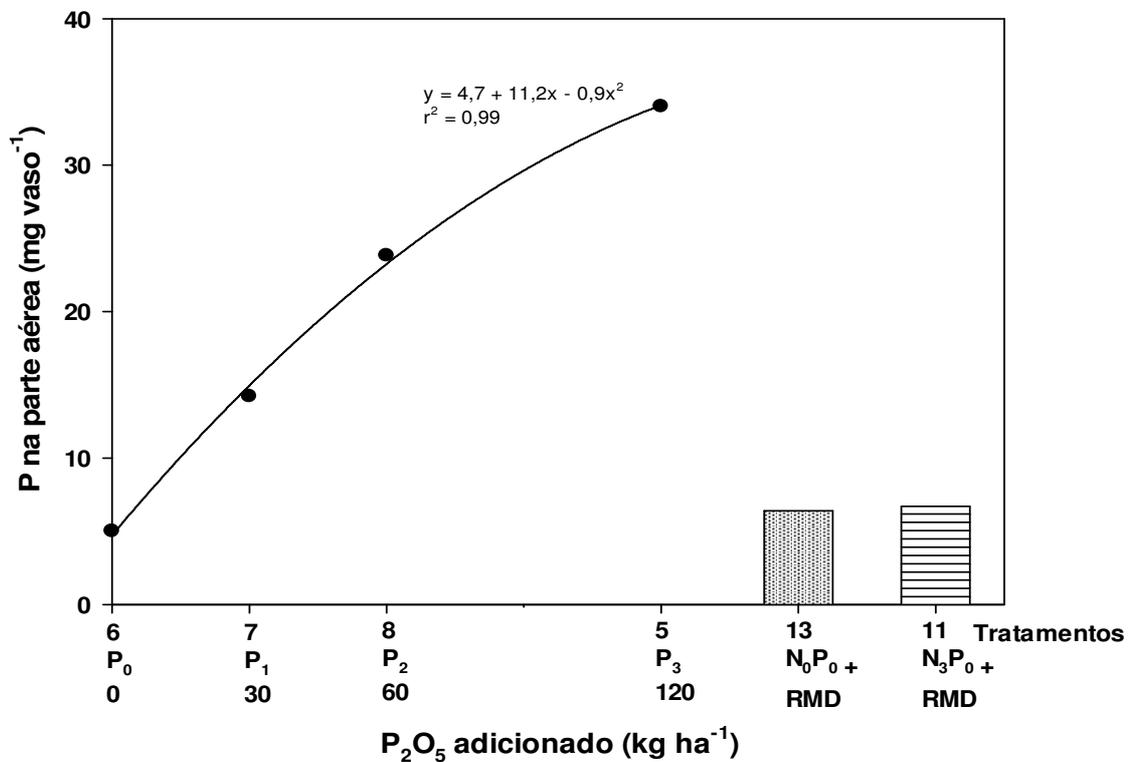


FIGURA A.3.2. Fósforo absorvido na parte aérea das plantas do milho nos tratamentos com adubação fosfatada e com adição de RMD.

A.3.3.2 Segunda cultura (aveia)

Na Tabela A.3.8 são apresentados os rendimentos de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de aveia. Podem-se observar os menores rendimentos de parte aérea nos tratamentos sem aplicação de adubos nitrogenado e fosfatado (T_1 , T_2 e T_{14}), enquanto a reaplicação destes adubos propiciou o maior rendimento (T_{10}).

Os maiores rendimentos de raízes foram obtidos nos tratamentos T_{12} (com RMD, sem N) e T_{15} (com a menor dose de vermicomposto).

O alto rendimento de raízes em relação à menor produção de parte aérea é devido à baixa disponibilidade de nutrientes do solo, sendo este crescimento de raízes uma forma de aumentar a absorção de nutrientes (Anexo 5 – Figura A.5.5). Como foi utilizado um solo de baixa fertilidade natural, é recomendada a reaplicação de adubos minerais.

A adição de RMD (T_{13}) (com reaplicação de adubo potássico) aumentou o rendimento de parte aérea em relação à testemunha (T_1), sendo estes tratamentos semelhantes no rendimento de raízes. As adições de adubos minerais ao efeito residual do RMD (T_{11} e T_{12}) propiciaram rendimentos de MS das plantas que não diferiram significativamente em relação às respectivas testemunhas (T_7 e T_3), sendo o P mais limitante para o rendimento.

TABELA A.3.8. Rendimento de matéria seca da parte aérea e das raízes de aveia (médias de três repetições)

Tratamentos			Parte aérea	Raízes
Nº	Denominação			
			----- g vaso ⁻¹ -----	
T ₁	Testemunha	(T)	0,6 a ⁽¹⁾	6,4 ab
T ₂	Testemunha + ca	(T/ca)	0,6 a	4,1 a
T ₃	N ₀ P ₃ K ₁ + ca	(N ₀) + PK	1,6 def	20,3 def
T ₄	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	(N ₁) + PK	1,2 bcd	16,3 cde
T ₅	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	(N ₂) + PK	1,2 cd	11,1 abc
T ₆	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	(N ₃ P ₃) + K	0,7 ab	17,1 cdef
T ₇	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	(P ₀) + NK	1,8 ef	12,7 bcd
T ₈	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	(P ₁) + NK	1,9 f	7,2 ab
T ₉	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	(P ₂) + NK	3,8 g	10,7 abc
T ₁₀	N ₃ P ₃ K ₀ + ca	(K ₀) + NP	5,0 h	10,8 abc
T ₁₁	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD (6t)	(RMD/P ₀) + NK	1,4 cde	17,5 cdef
T ₁₂	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD (6t)	(RMD/N ₀) + PK	1,7 ef	25,4 f
T ₁₃	RMD (6t)	(RMD/6) + K	1,3 cd	7,2 ab
T ₁₄	RMD (3t)	(RMD/3) + K	0,9 abc	10,0 abc
T ₁₅	Vermicomposto (10t)	(VC/10)	1,2 cd	25,4 f
T ₁₆	Vermicomposto (30t)	(VC/30)	1,6 def	22,1 ef

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 95% de probabilidade.

Na Tabela A.3.9 são apresentadas as quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de aveia. Pode-se observar que a reaplicação de adubos nitrogenado e fosfatado e o efeito residual da adição de calcário (T₁₀) propiciaram a maior absorção de N, P, Ca⁺² e Mg⁺².

A adição de RMD (T₁₃) propiciou maior absorção de N, P, K⁺ e Ca⁺² em relação às testemunhas (T₁ e T₂). Para N e P absorvidos não houve diferença significativa entre os tratamentos com adição de RMD (T₁₁ e T₁₂) e respectivas testemunhas (T₇ e T₃), porém a quantidade de N absorvida com a adição de RMD (T₁₂) aumentou em 16 mg vaso⁻¹, indicando a liberação dos nutrientes N e P para as plantas.

TABELA A.3.9. Quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de aveia (médias de três repetições)

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- mg vaso ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	19,7 ab ⁽¹⁾	0,8 a	20,5 a	4,3 a	1,6 a
T ₂	(T/ca)	20,5 ab	0,9 a	20,7 a	4,5 a	2,6 a
T ₃	(N ₀) + PK	21,9 ab	7,1 e	74,6 cde	10,4 cdef	5,3 c
T ₄	(N ₁) + PK	20,3 ab	7,9 e	80,0 cde	10,0 bcde	4,7 bc
T ₅	(N ₂) + PK	25,7 abc	8,1 e	96,4 ef	11,8 def	5,6 cd
T ₆	(N ₃ P ₃) + K	14,9 a	4,6 d	52,7 bc	7,0 ab	3,2 ab
T ₇	(P ₀) + NK	76,8 f	2,9 c	131,9 g	10,8 cdef	5,4 c
T ₈	(P ₁) + NK	114,0 g	5,6 d	160,6 h	12,8 ef	7,1 d
T ₉	(P ₂) + NK	186,7 h	9,5 f	301,3 i	38,8 h	13,2 e
T ₁₀	(K ₀) + NP	229,0 i	25,1 i	55,8 bc	76,7 i	28,0 f
T ₁₁	(RMD/P ₀) + NK	58,9 e	2,7 c	108,5 fg	11,3 def	2,8 a
T ₁₂	(RMD/N ₀) + PK	36,5 bcd	12,1 g	118,0 fg	17,9 g	6,2 cd
T ₁₃	(RMD/6) + K	40,4 cd	2,4 bc	93,3 def	9,3 bcd	3,2 ab
T ₁₄	(RMD/3) + K	31,2 abcd	1,4 ab	67,8 bcd	7,5 abc	2,1 a
T ₁₅	(VC/10)	26,1 abc	7,7 e	46,0 ab	9,3 bcd	7,1 d
T ₁₆	(VC/30)	45,5 de	14,6 h	79,4 cde	13,5 f	11,8 e

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 95% de probabilidade.

Na Tabela A.3.10 são apresentadas as quantidades de macronutrientes contidos nas raízes de aveia. Pode-se observar que o efeito residual do vermicomposto propiciou maior absorção de N, P e Mg⁺², enquanto as maiores quantidades de Ca⁺² absorvidas foram obtidas nos tratamentos com adição de RMD, devido à sua reatividade mais lenta em relação ao calcário.

A adição de RMD (T₁₃) aumentou as quantidades de macronutrientes absorvidos em relação à testemunha (T₁). A adição de RMD (T₁₁ e T₁₂) aumentou em 57,9 mg de N vaso⁻¹ e 1,7 mg de P vaso⁻¹ em relação às respectivas testemunhas (T₇ e T₃), indicando a liberação dos nutrientes N e P para as plantas.

TABELA A.3.10. Quantidades de macronutrientes contidos nas raízes de aveia (médias de três repetições)

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- mg vaso ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	44,8 a ⁽¹⁾	3,2 a	12,9 ab	13,4 a	8,1 a
T ₂	(T/ca)	40,9 a	3,4 a	9,4 a	19,0 ab	9,7 ab
T ₃	(N ₀)+PK	49,4 a	11,5 cde	59,6 cde	25,5 ab	15,9 bcd
T ₄	(N ₁)+PK	94,8 bc	17,5 fg	134,2 h	44,0 abc	21,2 de
T ₅	(N ₂)+PK	75,4 abc	13,3 def	102,8 fgh	35,0 ab	13,9 abc
T ₆	(N ₃ P ₃)+K	110,1 cde	13,8 ef	138,2 h	37,3 abc	16,7 cde
T ₇	(P ₀)+NK	105,1 cde	5,4 ab	50,9 bcde	25,4 ab	14,2 abc
T ₈	(P ₁)+NK	75,4 abc	4,9 ab	45,7 abcd	21,3 ab	11,7 abc
T ₉	(P ₂)+NK	137,9 e	8,1 abcd	38,0 abc	43,4 abc	23,0 e
T ₁₀	(K ₀)+NP	100,6 cd	9,7 bcde	11,5 a	23,3 ab	21,0 de
T ₁₁	(RMD/P ₀)+NK	133,8 de	7,1 abc	84,6 efg	251,6 e	11,8 abc
T ₁₂	(RMD/N ₀)+PK	107,3 cde	22,5 gh	140,8 h	362,0 f	21,5 de
T ₁₃	(RMD/6)+K	60,4 ab	6,3 abc	76,9 def	134,0 d	8,4 a
T ₁₄	(RMD/3)+K	108,5 cde	5,0 ab	116,2 gh	94,3 cd	16,1 bcd
T ₁₅	(VC/10)	185,2 f	26,8 hi	25,5 abc	55,5 abc	35,2 f
T ₁₆	(VC/30)	179,3 f	30,1 i	58,5 cde	72,5 bc	40,5 f

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 95% de probabilidade.

TABELA A.3.11 Teores de macronutrientes na parte aérea de milho (médias de três repetições)

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- g kg ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	12,7 d ⁽¹⁾	1,1 ab	19,9 g	11,0 i	8,7 f
T ₂	(T/ca)	16,7 e	1,2 abc	14,7 de	9,4 ghi	10,3 g
T ₃	(N ₀)+PK	6,6 a	2,3 f	17,0 f	5,0 bc	4,7 abc
T ₄	(N ₁)+PK	7,2 ab	1,5 e	13,4 cd	4,1 ab	4,5 ab
T ₅	(N ₂)+PK	9,4 bc	1,4 cde	10,2 a	5,7 cde	5,7 cde
T ₆	(N ₃ P ₃)+K	9,9 c	1,5 de	10,9 ab	9,1 gh	8,1 f
T ₇	(P ₀)+NK	21,2 f	1,5 e	37,5 k	6,7 def	5,7 bcde
T ₈	(P ₁)+NK	14,0 d	1,0 a	16,3 ef	7,4 ef	6,3 e
T ₉	(P ₂)+NK	13,8 d	1,1 ab	15,7 ef	6,6 de	6,0 de
T ₁₀	(K ₀)+NP	27,0 g	4,2 h	11,8 abc	10,6 hi	13,7 h
T ₁₁	(RMD/P ₀)+NK	23,7 f	1,3 bcd	33,6 j	10,1 hi	5,1 abcd
T ₁₂	(RMD/N ₀)+PK	7,5 abc	2,5 f	24,0 h	5,5 bcd	4,4 a
T ₁₃	(RMD/6)+K	13,6 d	1,2 abc	12,2 bc	8,3 fg	6,3 de
T ₁₄	(RMD/3)+K	12,5 d	1,1 ab	17,3 f	9,6 ghi	7,9 f
T ₁₅	(VC/10)	8,6 abc	3,6 g	24,0 g	4,2 abc	4,8 abc
T ₁₆	(VC/30)	8,2 abc	4,1 g	28,2 i	2,8 a	4,1 a

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de DMS a 95% de probabilidade.

TABELA A.3.12 Teores de macronutrientes na parte aérea da aveia (médias de três repetições)

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- g kg ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	32,2 d ⁽¹⁾	1,4 a	33,6 bc	6,9 bc	3,5 c
T ₂	(T/ca)	31,8 d	1,4 a	30,4 b	6,9 bc	3,9 c
T ₃	(N ₀)+PK	18,5 a	6,1 cd	62,3 d	8,9 defg	4,6 d
T ₄	(N ₁)+PK	18,8 ab	7,1 e	75,4 gh	8,0 cdef	4,4 d
T ₅	(N ₂)+PK	21,0 ab	6,6 cde	71,0 efg	9,4 gh	4,5 d
T ₆	(N ₃ P ₃)+K	18,8 ab	6,4 cde	72,2 efgh	9,5 h	4,4 d
T ₇	(P ₀)+NK	41,9 e	1,5 ab	66,0 de	5,4 a	2,6 ab
T ₈	(P ₁)+NK	48,3 fg	2,2 ab	85,2 i	7,4 bcd	2,7 b
T ₉	(P ₂)+NK	48,7 g	2,4 b	78,2 ghi	9,1 fgh	3,5 c
T ₁₀	(K ₀)+NP	49,5 g	5,9 c	11,2 a	17,1 i	6,4 f
T ₁₁	(RMD/P ₀)+NK	44,5 ef	1,9 ab	79,4 hi	8,3 defg	2,2 a
T ₁₂	(RMD/N ₀)+PK	18,2 a	6,2 cd	67,9 def	9,9 h	3,7 c
T ₁₃	(RMD/6)+K	32,3 d	1,9 ab	74,5 fgh	7,4 bcd	2,5 ab
T ₁₄	(RMD/3)+K	33,0 d	1,8 ab	72,1 efgh	8,2 def	2,5 ab
T ₁₅	(VC/10)	22,6 ab	6,7 de	40,2 c	7,8 cde	5,9 e
T ₁₆	(VC/30)	25,7 c	8,3 f	61,6 d	6,4 ab	6,6 f

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de DMS a 95% de probabilidade.

TABELA A.3.13 Teores de macronutrientes nas raízes da aveia (médias de três repetições)

Tratamentos		N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
----- g kg ⁻¹ -----						
T ₁	(T)	7,3 abcde ⁽¹⁾	0,5 ab	0,5 ab	2,6 a	1,5 cde
T ₂	(T/ca)	9,6 cde	0,8 abcde	0,8 abcde	4,3 a	2,6 h
T ₃	(N ₀)+PK	4,8 ab	0,7 abcd	0,7 abcd	2,5 a	0,9 ab
T ₄	(N ₁)+PK	7,3 abcde	0,9 bcde	0,9 bcde	3,3 a	1,6 defg
T ₅	(N ₂)+PK	5,5 abc	1,0 def	1,0 def	2,6 a	1,0 abc
T ₆	(N ₃ P ₃)+K	6,5 abcd	0,9 bcde	0,9 bcde	2,5 a	1,1 abcd
T ₇	(P ₀)+NK	10,3 def	0,4 a	0,4 a	2,6 a	1,5 cdef
T ₈	(P ₁)+NK	9,0 bcde	0,6 abc	0,6 abc	2,5 a	1,4 bcde
T ₉	(P ₂)+NK	11,2 ef	0,7 abcde	0,7 abcde	2,8 a	2,0 fg
T ₁₀	(K ₀)+NP	14,2 f	0,9 cdef	0,9 cdef	2,1 a	2,0 g
T ₁₁	(RMD/P ₀)+NK	7,9 bcde	0,6 abcd	0,6 abcd	14,0 c	1,0 abc
T ₁₂	(RMD/N ₀)+PK	3,2 a	0,7 abcde	0,7 abcde	8,7 b	0,7 a
T ₁₃	(RMD/6)+K	9,3 cde	1,0 cdef	1,0 cdef	18,3 d	1,7 efg
T ₁₄	(RMD/3)+K	6,5 abcd	0,6 abc	0,6 abc	13,5 c	0,9 abc
T ₁₅	(VC/10)	7,43 abcde	1,06 ef	1,1 ef	2,2 a	1,4 bcde
T ₁₆	(VC/30)	7,4 abcde	1,3 f	1,3 f	2,9 a	1,9 efg

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de DMS a 95% de probabilidade.

A.3.4. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos é possível concluir que:

- a) As adições de adubos minerais nitrogenado e fosfatado propiciaram aumentos de rendimentos e de absorção de macronutrientes;
- b) Foram observados aumentos de rendimento de matéria seca da cultura de milho e da absorção de macronutrientes pela adição de RMD;
- c) As adições de calcário e de RMD apresentaram efeito residual no suprimento de Ca^{+2} para a aveia; e,
- d) A adição de RMD apresentou efeito residual no aumento de rendimento e na absorção de nutrientes pela parte aérea das plantas da aveia.

A.3 - 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Depto. de Solos, UFRGS, Porto Alegre, 1995. 174p.

7.4 ANEXO 4

**CURVAS DE RESPOSTA A NITROGÊNIO E FÓSFORO MINERAIS, A
VERMICOMPOSTO E EFEITOS DA ADIÇÃO DE OUTROS RESÍDUOS NA
CULTURA DO MILHO**

(Experimento 4)

Prof. Marino José Tedesco

Prof. Clésio Gianello

SUMÁRIO

	Página
A.4.1. INTRODUÇÃO	111
A.4.2. MATERIAL E MÉTODOS	113
A.4.2.1 Caracterização inicial do solo.....	113
A.4.2.2 Materiais utilizados.....	113
A.4.2.3 Tratamentos.....	116
A.4.2.4 Condução do experimento.....	117
A.4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	118
A.4.3.1 Rendimento de matéria seca das plantas.....	118
A.4.3.2 Absorção de macronutrientes das plantas.....	121
A.4.3.3 Análise de solo.....	124
A.4.4. CONCLUSÕES	127
A.4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
A.4.1 Umidade, pH em água, carbono orgânico, teores totais de nutrientes de plantas e de metais e poder de neutralização (PN) dos materiais utilizados.....	114
A.4.2 Tratamentos utilizados.....	116
A.4.3 Rendimento de matéria seca da parte aérea de milho (rendimento de duas repetições).....	120
A.4.4 Quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de milho.....	122
A.4.5 Valores de pH em água, P e K ⁺ disponíveis e de Ca ⁺² e Mg ⁺² trocáveis do solo a 70 dias após a aplicação dos tratamentos.....	125
A.4.6 Teores de macronutrientes da parte aérea do milho.....	126

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
A.4.1 Matéria seca da parte aérea das plantas de milho em alguns tratamentos com adição de resíduos orgânicos, em comparação com a testemunha e com a adição de adubo mineral ($T_5 - N_3P_3K_1 + \text{calcário}$).....	119
A.4.2 Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação nitrogenada e com adição do RMD.....	123
A.4.3 Fósforo absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação fosfatada e com adição do RMD.....	123

A.4.1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos como fertilizante é uma prática tradicional na agricultura, principalmente no caso de dejetos. A geração de resíduos com componentes orgânicos tem aumentado com o desenvolvimento da agroindústria. Nos setores de bebidas e alimentação, os resíduos gerados, em geral, não apresentam componentes tóxicos podendo ser reciclados na natureza via solo. Caso contenham componentes com valor fertilizante (nutrientes de plantas), a utilização agrícola é favorecida.

Para avaliar o valor fertilizante de resíduos é necessário o cultivo de plantas em solos de baixa fertilidade, com adição de adubos minerais solúveis comprovadamente eficientes, de modo a obter curvas de resposta. A eficiência de resíduos como fonte de nutrientes para as plantas é então avaliada com base nessas curvas.

Alguns resíduos de processamento de bens, entretanto, podem apresentar componentes não desejáveis no sistema solo-planta, como no caso de metais. Assim, as quantidades a adicionar não devem ultrapassar limites considerados seguros, que dependem do metal, das propriedades do solo e do risco de transferência entre os diferentes componentes do ambiente.

Além do valor fertilizante, alguns resíduos se destacam pela sua alcalinidade, podendo ser utilizados para reduzir a acidez do solo e como fonte de Ca^{+2} para as plantas. A utilização agrícola do resíduo de molusco denominado “mexilhão dourado” (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857), após secagem e trituração (RMD), que é um bioinvasor de corpos de água doce no Brasil, pode ser enquadrada nesta classe.

A possibilidade de aproveitamento destes materiais na agricultura foi, portanto, avaliada neste experimento. Os objetivos deste trabalho foram:

- a) Avaliar a resposta das plantas às adições de adubos minerais de uso convencional, suprindo os principais nutrientes: N, P e K^+ ;
- b) Avaliar a capacidade de correção da acidez do solo e de suprimento de macronutrientes (N, P, K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) para as plantas pela adição de RMD;
- c) Determinar a capacidade de suprimento de macronutrientes (N, P, K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) para as plantas de resíduos orgânicos de origem agrícola e/ou industrial; e,
- d) Obter informações de pesquisa para atividades didáticas nas áreas de fertilização e correção de solos ácidos bem como de descarte de resíduos no solo.

A.4.2. MATERIAL E MÉTODOS

A.4.2.1 Caracterização inicial do solo

Foi utilizado no experimento um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (PVAd) da unidade de mapeamento Itapuã (Streck et al., 2008), coletado no município de Viamão, RS. O mesmo é ácido, apresentando 90 g dm^{-3} e 5 g dm^{-3} de argila e de M.O., respectivamente; os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} são também baixos (análise na Tabela A.2.1).

Foram utilizados vasos de PVC com 5,5 L de capacidade de solo seco (base de cálculo: $1 \text{ ha} = 2,0 \times 10^6 \text{ L}$), sendo o experimento conduzido a céu aberto, com irrigação à medida das necessidades das plantas.

A.4.2.2 Materiais utilizados

Os materiais utilizados estão caracterizados na Tabela A.4.1.

O vermicomposto foi preparado pela compostagem de esterco bovino e cedido pelo Professor Dércio Scholles, da disciplina Biologia do Solo (AGR03004) do curso de Graduação da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

A coleta do mexilhão dourado foi feita no Lago Guaíba, na vila de Itapuã, em 2007, sendo a seguir seco em estufa com renovação de ar a 60°C e moído em moinho de martelos (sem peneiras). A composição granulométrica do RMD foi de: 15,7% maior que 2,00 mm; 52,7% entre 2,00 e 0,84 mm; 26,0% entre 0,80 e 0,30 mm; e 5,6% menor que 0,30 mm de diâmetro de partículas.

TABELA A.4.1. Umidade, pH em água, carbono orgânico, teores totais de nutrientes de plantas e de metais e poder de neutralização (PN) dos materiais utilizados

Material	pH ⁽¹⁾	Umidade	C	N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
		----- g kg ⁻¹ -----						
Vermicomposto	6,0	770	250	19	12,0	9,8	18	8,7
RMD	7,0	50	52	13	2,3	0,5	330	0,8
Composto de canil	7,9	280	230	20	84,0	2,3	160	8,4
Borra de café/erva mate	7,5	490	450	29	2,1	12,0	9	6,0
Lodo de ETE/refrigerantes	8,2	760	360	34	12,0	3,7	5	3,2
Lodo de ETE/cevejaria	5,5	430	430	7	3,8	2,4	3	1,2
Resíduo de vinificação	9,7	510	170	12	2,3	1,7	15	2,4
Lodo de ETE/curt.acabam.	7,0	500	400	14	0,6	0,1	2	1,4
Lodo de ETE/curt.recurt.	6,0	640	200	11	1,5	0,6	2	4,1
Lodo de ETA	4,5	980	62	5	7,0	1,5	2	2,7

Continua

TABELA A.4.1. Continuação

Material	S	Na	Cr	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb	PN	C/N
	----- g kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----						
Vermicomposto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
RMD	-	-	-	-	-	-	-	-	64	4
Composto de canil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
Borra de café/erva mate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
Lodo de ETE/refrigerantes	3,6	5,4	0,1	62	126	52	17	626	<1	11
Lodo de ETE/cervejaria	1,5	0,9	<0,1	45	305	0,3	17	12	-	60
Resíduo de vinificação	3,0	7,3	<0,1	168	70	0,3	14	7	-	14
Lodo de ETE/curt.acabam.	2,3	0,3	0,3	112	2800	0,2	45	354	-	29
Lodo de ETE/curt.recurt.	1,1	4,1	8,2	12	303	0,2	8	27	-	18
Lodo de ETA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12

⁽¹⁾ Determinado na amostra "in natura".

- Não determinado.

A.4.2.3 Tratamentos

Na Tabela A.4.2 são descritos os tratamentos (em blocos, com duas repetições) e as quantidades dos resíduos e corretivos utilizados.

TABELA A.4.2. Tratamentos utilizados

Tratamentos		Descrição
Nº	Denominação	
T ₁	Testemunha	Sem adição de adubo mineral ou resíduo
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ ⁽¹⁾ + ca ⁽²⁾	Adubo mineral (sem N) + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	Adubo mineral (sem P) + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	Adubo mineral + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₉	N ₃ P ₃ K ₀ + ca	Adubo mineral (sem K) + calcário (1 t ha ⁻¹)
T ₁₀	Vermic. (10t)	Vermicomposto (10 t ha ⁻¹)
T ₁₁	Vermic. (20t)	Vermicomposto (20 t ha ⁻¹)
T ₁₂	RMD	Resíduo moído de mexilhão dourado (6t ha ⁻¹)
T ₁₃	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD	Adubo mineral (sem N) + resíduo moído de mexilhão dourado (6 t ha ⁻¹)
T ₁₄	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD	Adubo mineral (sem P) + resíduo moído de mexilhão dourado (6 t ha ⁻¹)
T ₁₅	C.Can.	Composto de canil (6 t ha ⁻¹)
T ₁₆	BC + EM	Borra de café + erva mate (6 t ha ⁻¹)
T ₁₇	Lodo ETE/Refri	Lodo de ETE/Refrigerantes (6 t ha ⁻¹)
T ₁₈	Lodo ETE/Cerv.	Lodo de ETE/Cervejaria (6 t ha ⁻¹)
T ₁₉	R.V.	Resíduo de vinificação (6 t ha ⁻¹)
T ₂₀	L. ETE/Crt. ac.	Lodo de ETE de curtume/acabamento (6 t ha ⁻¹)
T ₂₁	L. ETE/Crt. rec.	Lodo de ETE de curtume/recurtimento (6 t ha ⁻¹)
T ₂₂	L. ETA	Lodo de ETA (6 t ha ⁻¹)

⁽¹⁾ Doses de adubos minerais aplicadas: N₀ = 0; N₁ = 40; N₂ = 80; N₃ = 160 kg de N ha⁻¹ na forma de uréia (45% de N); P₀ = 0; P₁ = 30; P₂ = 60; P₃ = 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo (45% P₂O₅); K₀ = 0; K₁ = 60 kg de K₂O ha⁻¹ na forma de KCl (60% de K₂O).

⁽²⁾ Calcário: CaCO₃ + MgCO₃ (produtos comerciais) na proporção de 3:1 em peso (PRNT 100%).

A.4.2.4 Condução do experimento

Os adubos fosfatado e potássico, o calcário e os resíduos foram misturados com o solo em 18/03/2008, semeando-se a seguir o milho (cultivar Santa Helena). A emergência das plântulas foi observada após sete dias, tendo sido deixadas duas plantas por vaso. O adubo nitrogenado (uréia em solução) foi adicionado em duas doses: $\frac{1}{3}$ aos sete dias e $\frac{2}{3}$ aos 35 dias após a emergência das plantas.

O corte da parte aérea foi feito em 27/05/08, seguido da secagem em estufa com renovação de ar (60°C) e quantificação da matéria seca. Foram feitas sub-amostras constituídas por uma planta de cada repetição, para moagem em moinho de facas, determinando-se os teores de macronutrientes (N, P K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) no tecido (Tedesco et al., 1995). Após 70 dias da adição dos tratamentos, foram coletadas amostras compostas de solo de cada tratamento.

A.4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A.4.3.1 Rendimento de matéria seca das plantas

Na Figura A.4.1 é mostrado o rendimento da parte aérea das plantas de milho em alguns tratamentos com adição de resíduos orgânicos, em comparação com a testemunha e com a adição de adubo mineral (T₅). O rendimento da parte aérea das plantas de milho de todos os tratamentos é apresentado na Tabela A.4.3.

Pode-se observar aumentos desse rendimento com as adubações nitrogenada e fosfatada, até a dose mais alta adicionada, sendo que o P mostrou-se o elemento mais limitante à produção vegetal. Comparando-se os tratamentos com e sem adubação potássica (T₅ e T₉, respectivamente), o fornecimento de K⁺ promoveu um incremento de 9,3 g de MS vaso⁻¹.

O maior aumento no rendimento de plantas foi determinado no tratamento com adição de 20 t ha⁻¹ de vermicomposto, devido os altos teores de N e de P disponíveis do mesmo (Tabela A.4.1) e à grande quantidade adicionada. O mesmo foi observado para a utilização de lodo da ETE de uma fábrica de refrigerantes (T₁₇) e do composto de canil (T₁₅).

A adição de RMD (T₁₂), que contém 13 e 2,3 mg kg⁻¹ de N e de P, respectivamente (Tabela A.4.1), propiciou o aumento de 5,1 g de MS em relação à testemunha (T₁). Entretanto, a adição de RMD com adubação mineral (T₁₃ e T₁₄) propiciou aumentos de 16,5 e 21,5 g de MS em relação aos tratamentos testemunhas (T₂ e T₆, respectivamente), indicando o fornecimento de N e de P por este resíduo.

Outros resíduos orgânicos, como o resíduo de vinificação, lodos de ETE de curtume e de Estação de Tratamento de Água (ETA), bem como as sobras de café (borra)/erva mate mostraram baixo valor fertilizante.

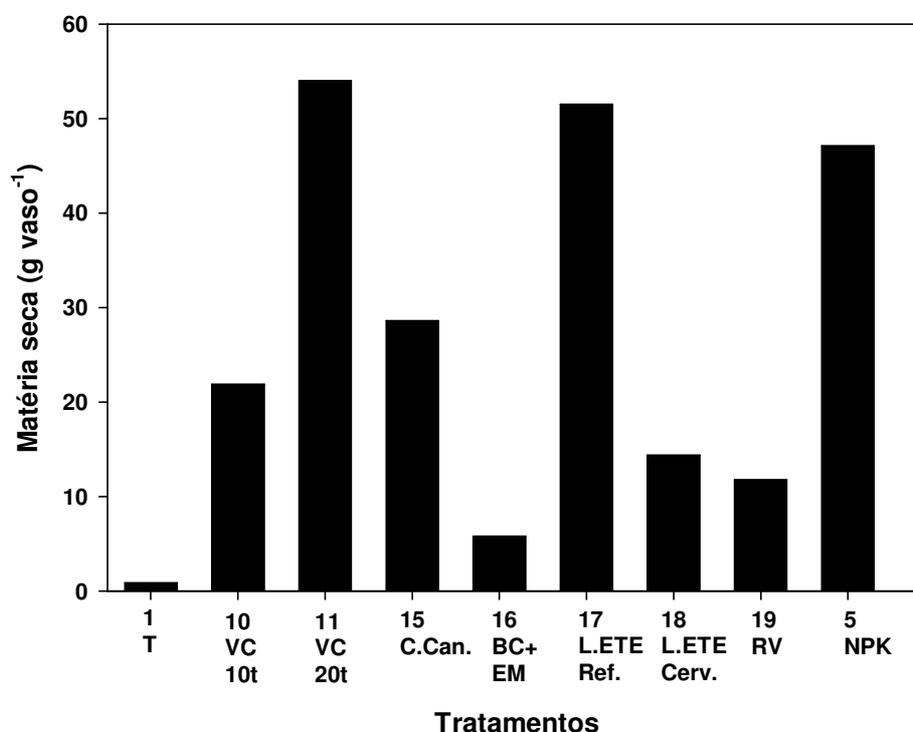


FIGURA A.4.1. Matéria seca da parte aérea das plantas de milho em alguns tratamentos com adição de resíduos orgânicos, em comparação com a testemunha e com a adição de adubo mineral (T₅ - N₃P₃K₁ + calcário).

TABELA A.4.3. Rendimento de matéria seca da parte aérea de milho (médias de duas repetições)

Tratamentos		Matéria seca ----- g vaso ⁻¹ -----
Nº	Denominação	
T ₁	Testemunha	0,9
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca	11,2
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	33,6
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	40,5
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	47,1
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	1,1
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	20,7
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	34,5
T ₉	N ₃ P ₃ K ₀ + ca	37,8
T ₁₀	Vermic. (10t)	21,9
T ₁₁	Vermic. (20t)	54,0
T ₁₂	RMD	6,0
T ₁₃	N ₀ P ₃ K ₁ + RMD	27,7
T ₁₄	N ₃ P ₀ K ₁ + RMD	22,6
T ₁₅	C. Can.	28,6
T ₁₆	BC+ EM	5,8
T ₁₇	L. ETE/Ref.	51,5
T ₁₈	L. ETE/Cerv.	14,4
T ₁₉	R.V.	11,8
T ₂₀	L. ETE/Crt. ac.	2,6
T ₂₁	L. ETE/Crt. rec.	0,9
T ₂₂	L. ETA	1,3

A.4.3.2 Absorção de macronutrientes das plantas

Na Tabela A.4.4 é apresentada a absorção de macronutrientes pela parte aérea das plantas. Nas Figuras A.4.2 e A.4.3 são mostradas as absorções de N e de P na parte aérea das plantas, respectivamente, nos tratamentos com as adições de adubos minerais e de RMD.

Pode-se observar uma absorção crescente de N e de P com as quantidades dos adubos minerais adicionados, em relação aproximadamente linear.

O menor rendimento de plantas e a menor absorção de macronutrientes obtidos na testemunha (T_1) são devidos à baixa fertilidade natural desse solo, enquanto a adição de vermicomposto (T_{11}) propiciou a maior absorção destes macronutrientes e maior rendimento das plantas (Figura A.4.1; Tabela A.4.4).

A adição de RMD supriu 136 mg de N vaso⁻¹ e 22 mg de P vaso⁻¹, além de propiciar maior absorção de K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , em relação ao tratamento testemunha (T_1).

TABELA A.4.4. Quantidades de macronutrientes contidos na parte aérea de milho

Tratamentos	N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
	----- mg vaso ⁻¹ -----				
T ₁ Testemunha	19,1	0,9	50,6	4,0	5,3
T ₂ N ₀ P ₃ K ₁ + ca	112,6	30,3	358,6	52,7	63,5
T ₃ N ₁ P ₃ K ₁ + ca	270,3	78,4	720,9	157,1	200,3
T ₄ N ₂ P ₃ K ₁ + ca	333,2	69,4	713,6	175,8	218,7
T ₅ N ₃ P ₃ K ₁ + ca	559,8	78,3	648,6	205,7	300,9
T ₆ N ₃ P ₀ K ₁ + ca	37,4	1,4	67,7	5,1	5,4
T ₇ N ₃ P ₁ K ₁ + ca	397,4	25,5	804,0	85,8	120,4
T ₈ N ₃ P ₂ K ₁ + ca	410,0	40,4	641,0	160,3	196,3
T ₉ N ₃ P ₃ K ₀ + ca	463,1	64,3	337,1	183,1	236,6
T ₁₀ Vermic. (10t)	192,2	82,3	872,2	59,5	90,9
T ₁₁ Vermic. (20t)	701,0	300,6	2583,5	205,9	367,4
T ₁₂ RMD	80,1	7,2	146,0	34,8	37,4
T ₁₃ N ₀ P ₃ K ₁ + RMD	248,2	75,6	780,2	149,0	161,6
T ₁₄ N ₃ P ₀ K ₁ + RMD	371,9	23,6	484,9	140,9	132,8
T ₁₅ C. Can.	277,4	180,2	208,8	203,1	168,7
T ₁₆ BC+ EM	76,6	5,8	116,0	19,1	16,2
T ₁₇ L. ETE/Ref.	453,2	66,9	535,6	175,1	169,9
T ₁₈ L. ETE/Cerv.	87,4	16,9	280,6	29,6	26,8
T ₁₉ R.V.	180,5	22,4	171,1	29,5	20,1
T ₂₀ L. ETE/Crt. ac.	53,6	2,3	33,5	13,5	9,6
T ₂₁ L. ETE/Crt. rec.	15,8	0,8	17,1	3,5	3,1
T ₂₂ L. ETA	29,9	1,3	19,0	5,6	4,4

- Não determinado.

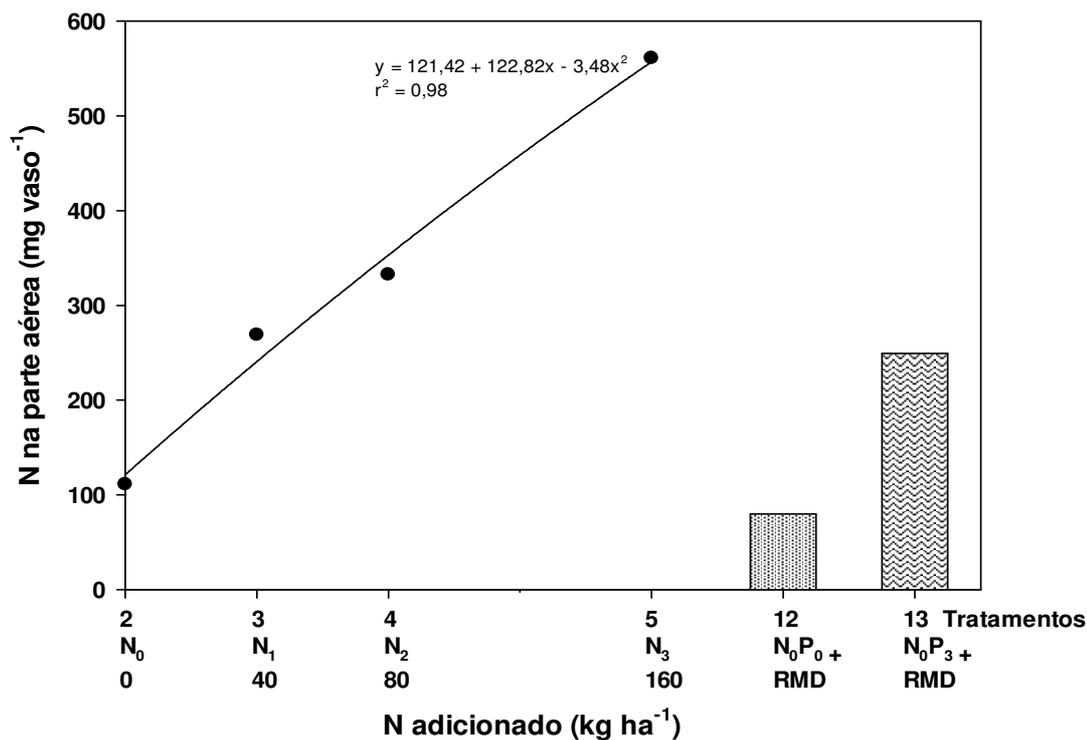


FIGURA A.4.2. Nitrogênio absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação nitrogenada e com adição de RMD.

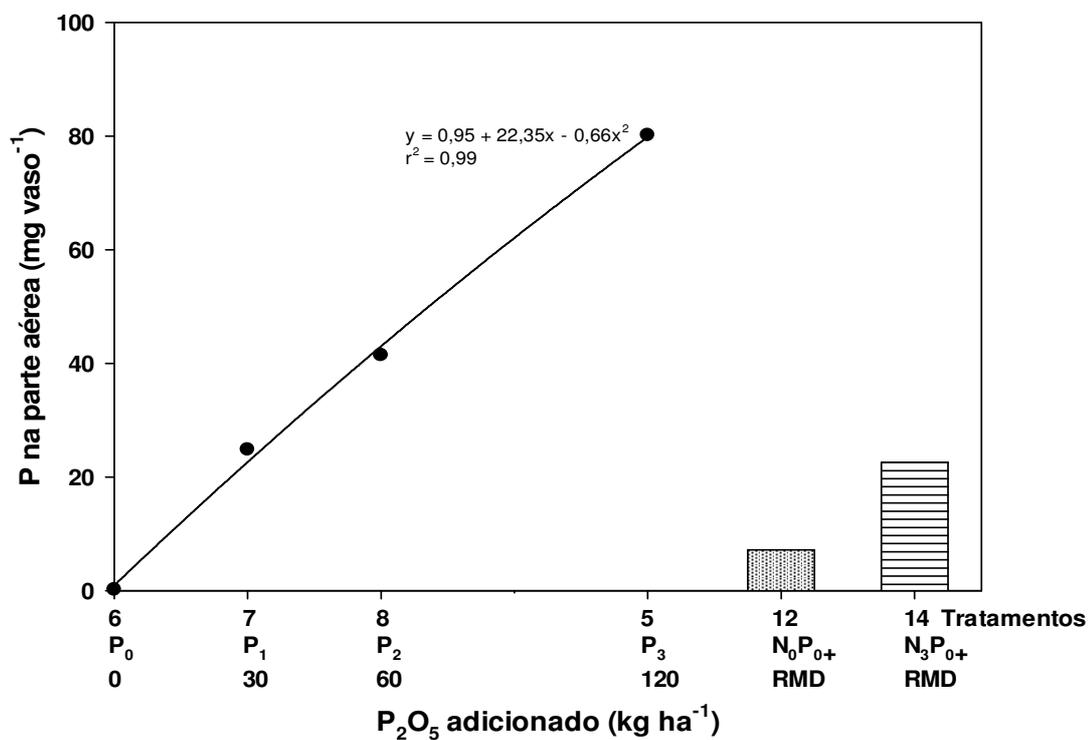


FIGURA A.4.3. Fósforo absorvido na parte aérea das plantas nos tratamentos com adubação fosfatada e com adição de RMD.

A.4.3.3 Análise de solo

Na Tabela A.4.5 são apresentados os resultados das análises das amostras de solo coletado ao final do experimento. Pode-se observar aumentos dos valores de pH nos tratamentos com aplicação de calcário para valores entre 5,4 e 6,0. Valores de pH entre 6,5 e 7,0 foram determinados, entretanto, com a adição do RMD.

Os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} trocáveis, entretanto, foram baixos (SBCS/NRS, 2004).

Os teores de P disponível aumentaram com a aplicação de adubo fosfatado, sendo, entretanto baixos (SBCS/NRS, 2004).

Os teores de K^{+} disponíveis foram baixos em todos os tratamentos, devido à absorção pelas plantas e/ou lixiviação deste íon no solo arenoso utilizado.

TABELA A.4.5. Valores de pH em água, P e K⁺ disponíveis e de Ca⁺² e Mg⁺² trocáveis do solo a 70 dias após a aplicação dos tratamentos (amostras compostas das duas repetições)

Tratamentos		pH	P (disponíveis) (mg dm ⁻³)	K ⁺ (disponíveis) (mg dm ⁻³)	Ca ⁺² (trocáveis) (cmol _c dm ⁻³)	Mg ⁺² (trocáveis) (cmol _c dm ⁻³)
N ^o	Denominação					
T ₁	Testemunha	4,9	2	12	0,8	0,3
T ₂	N ₀ P ₃ K ₁ + ca	5,6	11	10	1,2	0,3
T ₃	N ₁ P ₃ K ₁ + ca	6,2	9	10	1,2	0,3
T ₄	N ₂ P ₃ K ₁ + ca	6,1	9	14	1,0	0,2
T ₅	N ₃ P ₃ K ₁ + ca	5,7	6	11	1,0	0,2
T ₆	N ₃ P ₀ K ₁ + ca	5,8	3	17	0,8	0,2
T ₇	N ₃ P ₁ K ₁ + ca	5,4	4	11	0,9	0,2
T ₈	N ₃ P ₂ K ₁ + ca	5,6	5	9	1,0	0,2
T ₉	N ₃ P ₃ K ₀ + ca	5,9	7	12	1,0	0,2
T ₁₀	Vermic. (10t)	5,8	12	9	0,5	0,2
T ₁₁	Vermic. (20t)	5,8	21	10	1,1	0,5
T ₁₂	RMD	6,8	4	9	1,6	0,1
T ₁₃	RMD + N ₀ P ₃ K ₁	6,7	9	10	1,7	0,1
T ₁₄	RMD + N ₃ P ₀ K ₁	6,6	4	13	1,6	0,1
T ₁₅	C.Ca	5,3	18	12	1,1	0,2
T ₁₆	BC + EM	5,6	2	20	0,8	0,3
T ₁₇	Lodo ETE/Refri	5,7	13	11	0,9	0,1
T ₁₈	Lodo ETE/Cerv.	5,3	5	12	1,2	0,4
T ₁₉	R.V.	5,7	7	22	1,7	0,6
T ₂₀	L. ETE/Crt. ac.	6,3	6	19	1,6	0,3
T ₂₁	L. ETE/Crt. rec.	6,5	2	13	0,6	0,2
T ₂₂	L. ETA	5,5	8	13	0,7	0,2

TABELA A.4.6. Teores de macronutrientes da parte aérea do milho

Tratamentos	N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
	----- g kg ⁻¹ -----				
T ₁ Testemunha	21,2	1,0	56,2	4,5	5,9
T ₂ N ₀ P ₃ K ₁ + ca	10,1	2,7	32,0	4,7	5,7
T ₃ N ₁ P ₃ K ₁ + ca	8,0	2,3	21,5	4,7	6,0
T ₄ N ₂ P ₃ K ₁ + ca	8,2	1,7	17,6	4,3	5,4
T ₅ N ₃ P ₃ K ₁ + ca	11,9	1,7	13,8	4,4	6,4
T ₆ N ₃ P ₀ K ₁ + ca	34,0	1,3	61,6	4,6	4,9
T ₇ N ₃ P ₁ K ₁ + ca	19,2	1,2	38,8	4,2	5,8
T ₈ N ₃ P ₂ K ₁ + ca	11,9	1,2	18,6	4,7	5,7
T ₉ N ₃ P ₃ K ₀ + ca	12,3	1,7	8,9	4,8	6,3
T ₁₀ Vermic. (10t)	8,8	3,8	39,8	2,7	4,2
T ₁₁ Vermic. (20t)	13,0	5,6	47,8	3,8	6,8
T ₁₂ RMD	13,4	1,2	24,3	5,8	6,3
T ₁₃ N ₀ P ₃ K ₁ + RMD	9,0	2,7	28,2	5,4	5,8
T ₁₄ N ₃ P ₀ K ₁ + RMD	16,5	1,0	21,5	6,2	5,9
T ₁₅ C. Can.	9,7	6,3	7,3	7,1	5,9
T ₁₆ BC+ EM	13,2	1,0	20,0	3,3	2,8
T ₁₇ L. ETE/Ref.	8,8	1,3	10,4	3,4	3,3
T ₁₈ L. ETE/Cerv.	6,2	1,3	19,9	2,1	1,9
T ₁₉ R.V.	15,3	1,9	14,5	2,5	1,7
T ₂₀ L. ETE/Crt. ac.	20,6	0,9	12,9	5,2	3,7
T ₂₁ L. ETE/Crt. rec.	17,6	0,9	19,0	3,9	3,4
T ₂₂ L. ETA	23,0	1,0	14,6	4,3	3,4

A.4.4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) O rendimento de matéria seca da parte aérea das plantas de milho aumentou com a adição de adubos nitrogenado e fosfatado minerais;
- b) A adição de RMD supriu parte dos nutrientes N e P absorvidos pelas plantas;
- c) Os resíduos orgânicos: vermicomposto, composto de canil e lodo de ETE/refrigerantes apresentaram elevado efeito fertilizante para as plantas; e,
- d) Os materiais: resíduo de vinificação, restos de café (borra)/erva mate e lodos de ETE de curtume e de ETA apresentaram baixo efeito fertilizante para as plantas, sem afetar entretanto, o desenvolvimento das mesmas.

A.4 - 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SBCS/NRS (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul – Comissão de Química e Fertilidade). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 2004. 394p.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Depto. de Solos, UFRGS, Porto Alegre, 1995. 174p.

7.5 ANEXO 5



FIGURA A 5.1 Colônias de mexilhão dourado.
(Foto: Daniela B.P. Barbosa, 2008)



FIGURA A.5.2 Redes de pesca utilizadas como substrato de fixação por colônias de mexilhão dourado em Itapuã, RS.
(Foto: Marino J. Tedesco, 2006)

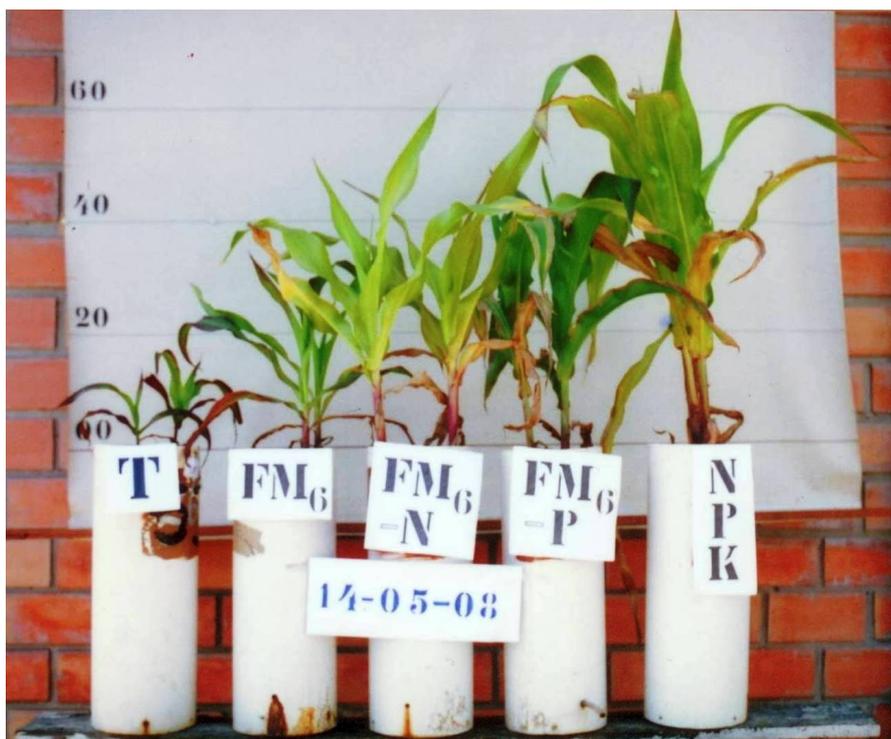


FIGURA A.5.3. Desenvolvimento de milho nos tratamentos: testemunha (T); com RMD (FM_6); com RMD + PK (FM_6 -N); com RMD + NK (FM_6 -P); com adubação mineral (NPK).
(Foto: Marino J. Tedesco, 2008)



FIGURA A.5.4. Experimento conduzido sob cobertura de telhas de fibra de vidro translúcidas, Faculdade de Agronomia – UFRGS.
(Foto: Daniela B.P. Barbosa, 2008)



FIGURA A.5.5. Raízes de aveia.
(Foto: Daniela B.P. Barbosa, 2008)