

SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR CONSTRUÇÃO DE HIDROELÉTRICA COM ADUBAÇÃO VERDE E CORRETIVO⁽¹⁾

Marlene Cristina Alves⁽²⁾ & Zigomar Menezes de Souza⁽³⁾

RESUMO

As “áreas de empréstimo” em hidrelétricas são as áreas remanescentes da construção da fundação da barragem e podem ser consideradas áreas degradadas, pois delas foram retirados os horizontes superficiais do solo. Este trabalho teve como objetivo estudar a recuperação de um Latossolo Vermelho distrófico, degradado por construção civil (Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP), por meio de adubação verde e aplicação de calagem e gessagem. Os tratamentos constituíram-se de: testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea); mucuna-preta e guandu até 1994. Depois foram substituídos por feijão-de-porco; calcário + mucuna-preta; calcário + guandu até 1994. Nova substituição foi feita por feijão-de-porco; calcário + gesso + mucuna-preta e calcário + gesso + guandu até 1994. Outra substituição foi feita por feijão-de-porco. Esses tratamentos foram estabelecidos em blocos casualizados com quatro repetições: após quatro anos com os adubos verdes, um ano com milho, um ano com aveia-preta e dois anos com braquiária. Foram avaliados: pH, teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, K, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e teor de matéria orgânica. Os tratamentos adotados estão recuperando os atributos químicos do solo degradado, e a mucuna-preta apresentou os melhores resultados, quando comparada ao guandu e feijão-de-porco. Os efeitos da recuperação dos atributos químicos do solo alcançaram a profundidade de 0,0–0,2 m. As técnicas adotadas para recuperação desses atributos químicos (adubação verde, calagem e gessagem) no primeiro ano atingiram a profundidade do solo de 0,0–0,1 m e, somente após cinco anos, de 0,0–0,2 m.

Termos de indexação: áreas degradadas, adubos verdes, braquiária, Latossolo.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 2007 e aprovado em setembro de 2008.

⁽²⁾ Professora Adjunto, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia – UNESP. Campus de Ilha Solteira, Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

⁽³⁾ Professor Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP. Campinas (SP). E-mail: zigomarms@agr.unicamp.br

SUMMARY: SOIL RECLAMATION BY GREEN MANURE AND SOIL AMMENDMENTS IN AREAS DEGRADED BY HYDROELECTRIC POWER PLANT CONSTRUCTION

Loan areas near hydroelectric power plants can be considered degraded areas since they were stripped of their soil surface horizons. This study aimed to investigate the recovery of soil chemical attributes of a Red Latosol (Oxisol) used in the embankment and fill of the hydroelectric system in Ilha Solteira, São Paulo, Brazil, by green manure, lime and gypsum. The experiment had a randomized block design with seven treatments and four replications. The treatments consisted of: one control (tilled soil and spontaneous vegetation); Cajanus cajan until 1994 and then substituted by Canavalia ensiformis; lime + Stizolobium aterrimum; lime + Cajanus cajan until 1994 and then substituted by Canavalia ensiformis; lime + gypsum + Stizolobium aterrimum and lime + gypsum + Cajanus cajan until 1994 and then substituted by Canavalia ensiformis. After four years with green manure, one year with corn, one year with Avena strigosa and two years with brachiaria, the following properties were analyzed: pH, Ca, Mg, P, K, cation exchange capacity, base saturation, and organic matter. The treatments succeeded in recovering the soil chemical properties. Stizolobium aterrimum performed better than Cajanus cajan and Canavalia ensiformis. Soil recovery effects reached a depth of 0.0–0.2 m. The recovery techniques (green manure, lime and gypsum) improved soil chemical characteristics to a of 0.0–0.1 m in the first year and only after five years the depth of 0.0–0.2 m.

Index terms: degraded area, green manure, brachiaria, Oxisol.

INTRODUÇÃO

A história do uso do solo mostra que a alteração nem sempre dá lugar a um novo sistema ecológico sustentável, seja de lavouras ou de pastagens. Com isso, solos utilizados intensamente e de forma inadequada são levados à degradação (Fornasari Filho et al., 1994). A avaliação da extensão de áreas degradadas é um processo complexo, pois o conceito de solo degradado não está claramente definido. Após atividades que causam grandes distúrbios, como a mineração, e em áreas de empréstimo para a construção de barragens e aterros, a caracterização torna-se óbvia; contudo, em áreas em que a degradação ocorre de forma lenta e gradual, como nas atividades agrícolas, a caracterização é mais difícil (Ferreira et al., 2007).

Um ecossistema degradado é aquele que, após distúrbios, teve eliminados, com a vegetação, os seus meios de regeneração biótica. Seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser bastante lento. Nesse caso, a ação antrópica é necessária para a sua regeneração em curto prazo (Dias & Griffith, 1998). No entorno da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, as “áreas de empréstimo” podem ser consideradas áreas degradadas, uma vez que delas foram retirados os horizontes superficiais do solo; são áreas com intensos sinais de degradação que, apesar de não sofrerem intervenções há 30 anos, apresentam insignificante regeneração natural (Rodrigues et al., 2007). Entende-se como “área de empréstimo” os locais de onde se retiram materiais para complementar os volumes de solos necessários à execução das terraplanagens e fundações das barragens (Lopes & Queiroz, 1994).

Em áreas degradadas pela remoção da vegetação e do solo ou de parte de suas camadas, levando à exposição do horizonte C ou, ainda, do subsolo, tem-se buscado a recuperação por meio da revegetação, pois é de amplo conhecimento a inter-relação da vegetação com a morfologia, a química e a biologia do solo. Rodrigues et al. (2007), estudando a dinâmica da regeneração do solo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado, observaram que as coberturas vegetais utilizadas na revegetação estão modificando os seus atributos químicos e que o *Pinus* sp. não foi uma boa espécie para recuperar esses atributos, comparados às áreas com espécies nativas de Cerrado em regeneração natural ou com *Brachiaria brizantha*.

O problema de degradação da área em estudo foi gerado em consequência da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. Como seqüelas da construção, diversas áreas, anexas ou não ao corpo da obra, tendem a sofrer acentuada degradação, que se manifesta sob a forma de ruptura do equilíbrio entre a litosfera (especialmente em sua porção mais frágil – os solos), a hidrosfera e a biosfera (especialmente a cobertura vegetal). Nos locais onde esse processo é mais gritante, encontram-se as áreas de empréstimo, as encostas instáveis, áreas alagadiças e áreas inundadas.

A reabilitação de áreas degradadas não consiste de ações isoladas, e sim de um conjunto de atividades que têm por objetivo recompor a paisagem que foi perturbada, e são raras as pesquisas que procuram avaliar a qualidade do solo sob o enfoque de degradação. Portanto, propôs-se a realização deste trabalho com o objetivo de recuperar os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico degradado por construção civil, por meio de adubação verde e aplicação de calagem e gessagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, campus de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), situada à margem direita do rio Paraná, no município de Selvíria (MS), localizado nas coordenadas geográficas de 20° 22' de latitude sul e 51° 22' de longitude oeste, numa altitude média de 335 m. O tipo climático, segundo Köppen, é Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, estando a umidade relativa dos meses mais chuvosos entre 60 e 80 %.

A área de estudo está no Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta declives muito suaves, relevo plano a suavemente ondulado. Segundo Demattê (1980), o solo original da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro álico textura média muito profundo, rico em sesquióxido. A sua fração argila é de baixa atividade, sendo dominada essencialmente pela gibbsita e caulinita. Pela nomenclatura atual, é um Latossolo Vermelho distrófico textura franco-argilo arenosa (Embrapa, 1999).

A Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP teve o início de sua construção na década de 1960. Da área em estudo foi retirado solo para a terraplanagem e fundação da barragem, dando origem à área degradada, que recebe o nome de "área de empréstimo". Uma camada de 8,60 m do perfil do solo original foi removida, por isso, a pesquisa foi desenvolvida no subsolo. O subsolo da área de estudo, no início da pesquisa, estava exposto desde 1969, demonstrando compactação superficial e baixa presença de vegetação espontânea.

A pesquisa teve início em 1992, sendo realizada a caracterização química do solo antes de sua implantação. Os tratamentos utilizados foram: T₁ - testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea); T₂ - mucuna-preta; T₃ - guandu até 1994, depois substituído por feijão-de-porco; T₄ - calcário + mucuna-preta; T₅ - calcário + guandu até 1994, depois substituído por feijão-de-porco; T₆ - calcário + gesso + mucuna-preta; e T₇ - calcário + gesso + guandu até 1994, depois substituído por feijão-de-porco. Eles foram implantados

segundo o esquema em blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela continha 10 x 10 m de dimensão, e os blocos estavam 2 m espaçados entre si.

As espécies de adubos verdes mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) foram semeadas e adubadas em dezembro-janeiro de cada ano e, no início do florescimento, eram roçadas e deixadas na superfície do solo.

No início da pesquisa, foi realizada a subsolagem da área, atingindo a profundidade média de 0,4 m. O preparo do solo, durante o período de estudo, foi efetuado com uma aração, utilizando-se arado de aivecas, tracionado por um trator de 110 cv de potência. Após essa operação, realizou-se uma gradagem niveladora, usando-se grade de arrasto, acoplada a um trator de 85 cv. A semeadura das espécies foi realizada manualmente; contudo, os sulcos foram feitos por um conjunto composto por trator de 75 cv de potência e sulcador. Os sulcos possuíam dimensão da ordem de 0,5 m entre linhas e 0,1 m de profundidade. A densidade de semeadura dos adubos verdes foi de 10 plantas por metro.

A correção do solo foi baseada na caracterização química da área experimental (Quadro 1). A aplicação de calcário, para elevar a saturação por bases a 70 %, foi efetuada empregando-se a quantidade de 18,5 kg de calcário por parcela (parcelas com calcário somente) e, no caso das parcelas com calcário e gesso, houve a substituição de 25 % de CaO do calcário pelo equivalente a 18,5 % de Ca do gesso, aplicando-se 5,2 kg de gesso e 13,8 kg de calcário por parcela, ambos incorporados ao solo. Foi utilizado calcário dolomítico com PRNT de 70 %.

Em 1996, foi novamente realizada a correção do solo, com base na análise química, para os tratamentos com calcário e calcário mais gesso. A substituição de CaO do calcário pelo CaO do gesso seguiu o mesmo procedimento do início do experimento. A correção foi efetuada nos casos em que a saturação por bases estava inferior a 60 %, objetivando-se elevá-la a 70 %.

Quadro 1. Resultados da análise química do solo exposto, realizada antes da implantação do experimento (março/92)

Profundidade	P	MO	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H + Al	SB	CTC	V
m	mg dm ⁻³	g dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³					%
0,0-0,2	1	7,0	4,0	0,2	2,0	1,0	20,0	3,2	23,2	14
0,2-0,4	0	4,0	4,2	0,2	2,0	1,0	20,0	3,2	23,2	14

P: fósforo disponível; MO: matéria orgânica; pH: acidez; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio trocáveis; H + Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases.

Em janeiro de 1997, foi semeada a cultura do milho (*Zea mays* L.) em toda a área experimental. Foram utilizados a semente AG 405 e 250 kg ha⁻¹ da fórmula 4-30-10 mais 0,3 % de Zn, sem aplicação de calcário. Em junho de 1998, foi semeada a aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb). Houve boa germinação, porém, por falta de água, as plantas não resistiram. Em fevereiro de 1999 foi semeada a *Brachiaria decumbens* Stapf. Somente na cultura do milho foi realizada a adubação.

As amostragens do solo foram realizadas em 1992, antes da implantação do experimento, e, em 1993, 1995, 1997 e 1998. As profundidades de coletas das amostras foram de 0,0–0,1, 0,1–0,2 e 0,2–0,4 m. Foram realizadas quatro repetições por tratamento. As amostras foram coletadas entre os meses de outubro e novembro, e cada amostra composta foi originada de quatro pontos (amostra simples) por parcela.

Na caracterização química do solo foi determinada a acidez ativa (pH em CaCl₂), obtida potenciométricamente. Os valores dos atributos Ca, Mg e K trocáveis e P disponível foram extraídos utilizando-se o método da resina trocadora de íons, proposto por Rajj et al. (2001). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculados os valores da capacidade de troca catiônica (CTC) e percentagem de saturação por bases do solo (V). O teor de matéria orgânica foi obtido segundo método da Embrapa (1997).

Na análise dos resultados dos atributos químicos do solo, foram realizados contraste entre a testemunha e os demais tratamentos; entre os tratamentos com os adubos verdes, sem a correção do solo e uso do gesso; entre os tratamentos com os adubos verdes, com a correção do solo e sem gesso; entre os tratamentos com adubos verdes, com aplicação de calcário e gesso; entre os tratamentos com o mesmo adubo verde, com e sem aplicação de calcário; e entre os tratamentos com o mesmo adubo verde, com aplicação de calcário e calcário mais gesso. Esses contrastes foram realizados analisando-se os atributos químicos por profundidade de solo estudada e por época de avaliação. Foi usado o programa computacional SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997) para realização da análise estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 1993, analisando os contrastes entre os tratamentos estudados, verificou-se que na profundidade de 0,0–0,1 m não houve diferença, em todos os atributos químicos avaliados, entre os tratamentos com os adubos verdes e aplicação de calcário e gesso (T₂ vs T₃, T₄ vs T₅ e T₆ vs T₇) (Quadro 2). Após um ano de implantação dos adubos verdes na área degradada por construção civil, não se observou efeito das coberturas do solo, o que está de acordo com os resultados obtidos por Suzuki & Alves (2006), pois os autores mencionam que, devido à rápida

decomposição dos resíduos de plantas de cobertura (leguminosas), os efeitos temporários das substâncias originadas da ação dos microrganismos são curtos, provavelmente com poucos benefícios para os atributos do solo. Segundo Testa et al. (1992), o efeito da adubação verde em áreas degradadas se dá ao longo prazo de implantação de sistemas de recuperação.

Para o pH na profundidade de 0,0–0,1 m, observou-se que a testemunha diferiu dos demais tratamentos, bem como os tratamentos que receberam calcário e calcário + gesso diferiram dos que não receberam corretivos, com exceção do tratamento T₅ - calcário + guandu até 1994, depois substituído por feijão-de-porco, e T₇ - calcário + gesso + guandu até 1994, depois substituído por feijão-de-porco. Caceres (1994) não constatou mudanças expressivas no valor do pH após a utilização de sete diferentes espécies de adubos verdes. Com a calagem, o pH aumentou, diferenciando assim os tratamentos com e sem essa prática (Quadro 3). Favaretto et al. (2000) também verificaram o efeito do calcário na camada superficial, em estudo desenvolvido em área degradada.

Os maiores valores de pH encontram-se na profundidade de 0,0–0,1 m, e eles se mantiveram durante os quatro anos avaliados, devido à aplicação de calcário no início da pesquisa (1992) e em 1996, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 70 %. Moraes et al. (2007), estudando a mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, verificaram modificação de pH somente na camada superficial. Apesar de o calcário ter sido incorporado, observa-se que com quatro anos de estudo o efeito dele atingiu apenas a camada de 0,0–0,1 m; somente após cinco anos (1997) a correção modificou os atributos químicos na profundidade de 0,1–0,2 m (Quadros 6 e 7). Resultados semelhantes foram observados por Favaretto et al. (2000), estudando o efeito da revegetação e da adubação em área degradada. Franchini et al. (2003) afirmam que a presença de certos materiais vegetais é capaz de potencializar o efeito da calagem, mobilizando a chamada frente alcalina; esses compostos orgânicos apresentam capacidade de complexar e mobilizar Ca e Mg, elevar o pH e neutralizar o Al.

Com relação ao cálcio, o comportamento entre os tratamentos com adubos verdes foi semelhante na área sem tratamento químico, cultivados no solo com aplicação de calcário e no solo com aplicação de calcário + gesso (contrastos T₂ vs T₃, T₄ vs T₅ e T₆ vs T₇). Para a mesma espécie de adubo verde, não houve diferença significativa entre os tratamentos, em se tratando do teor de cálcio, quando se utilizou calcário e calcário + gesso no solo (contrastos T₂ vs T₄ e T₅ vs T₇), provavelmente devido à eficiência destes na reciclagem de cálcio no solo. Alcântara et al. (2000), estudando a adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo degradado, observaram que as leguminosas utilizadas apresentaram boa capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes.

Quadro 2. Teste de significância para os contrastes entre tratamentos referentes aos atributos químicos do solo estudado, em três profundidades, em 1993

Atributo	Contrastes entre tratamento									
	T ₁ vs demais	T ₂ vs T ₃	T ₄ vs T ₅	T ₆ vs T ₇	T ₂ vs T ₄	T ₂ vs T ₆	T ₄ vs T ₆	T ₃ vs T ₅	T ₃ vs T ₇	T ₅ vs T ₇
Profundidade de 0,0–0,1 m										
pH	*	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns
Ca ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V	*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Profundidade de 0,1–0,2 m										
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
CTC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	*	ns								
Profundidade de 0,2–0,4 m										
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

T₁: testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂: mucuna-preta, T₃: guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄: calcário + mucuna-preta, T₅: calcário + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆: calcário + gesso + mucuna-preta e T₇: calcário + gesso + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco. *: significativo a 5%; ns: não significativo.

Os tratamentos que receberam calcário e calcário + gesso apresentaram-se com maior teor de cálcio, assim como em profundidade; a camada de 0,0–0,1 m foi favorecida devido à incorporação superficial do calcário e do gesso (Quadro 6). Os maiores valores de pH e Ca obtidos na camada superficial foram também observados por Kleper & Anghinoni (1995), estudando diferentes formas de manejo e adubação do solo. Além da contribuição do Ca na camada superficial devido ao calcário, também existe a contribuição da reciclagem pelos adubos verdes, Alcântara et al. (2000) verificaram que, nas parcelas onde a biomassa dos adubos verdes não foi incorporada, o teor de Ca foi maior na profundidade de 0–5 cm.

Para o Mg, somente o contraste T₂ vs T₄ foi significativo, ou seja, o teor deste elemento foi diferente somente quando se comparou o tratamento sem e com correção, cultivado com o adubo verde mucuna-preta, sendo maior no tratamento com a calagem (Quadro 2). Os tratamentos com calcário elevaram os teores de Mg, devido à aplicação do calcário dolomítico, que é uma das fontes deste nutriente. Em profundidade, foi verificado acúmulo na camada de 0,0–0,1 m, como verificado para o Ca (Quadro 3). Os teores de Ca e Mg

também não foram alterados pelas seqüências de culturas na profundidade de 0,0–0,2 m, em trabalho realizado por Santos et al. (1995).

Não houve diferenças significativas entre os contrastes entre tratamentos, na profundidade de 0,0–0,1 m, no ano de 1993, para o teor de P e CTC. Isso significa que para esses dois atributos químicos os tratamentos foram semelhantes. O efeito no solo, para P e CTC, dos adubos verdes estudados foi semelhante e não foram observadas diferenças quando foram aplicados calcário e calcário + gesso. Souza et al. (2006), avaliando as formas de aplicação de calcário em área de pastagem, observaram comportamento decrescente dos teores de P à medida que se elevou a saturação por bases do solo, quando o corretivo foi aplicado superficialmente. Em 1992, o teor de P era de 1,0 mg dm⁻³ na profundidade de 0,0–0,2 m e de 0 (zero), na camada de 0,2–0,4 m (Quadro 1). Verificou-se que, apesar de os teores estarem muito baixos, houve aumento médio de 70 % na camada superficial e de 50 % na subsuperficial (Quadro 6). Entre os anos de estudo ocorreu evolução no teor de P no solo. Valpassos et al. (2000) verificaram recuperação dos atributos químicos do solo em estudo de área com

Quadro 3. Teste de significância para os contrastes entre tratamentos referentes aos atributos químicos do solo estudado, em três profundidades, em 1995

Atributo	Contrastes entre tratamento									
	T ₁ vs demais	T ₂ vs T ₃	T ₄ vs T ₅	T ₆ vs T ₇	T ₂ vs T ₄	T ₂ vs T ₆	T ₄ vs T ₆	T ₃ vs T ₅	T ₃ vs T ₇	T ₅ vs T ₇
Profundidade de 0,0–0,1 m										
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Profundidade de 0,1–0,2 m										
pH	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	*	ns						
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidade de 0,2–0,4 m										
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

T₁: testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂: mucuna-preta, T₃: guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄: calcário + mucuna-preta, T₅: calcário + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆: calcário + gesso + mucuna-preta e T₇: calcário + gesso + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco. *: significativo a 5%; ns: não significativo.

subsolo exposto, devido principalmente ao estabelecimento das comunidades rizosféricas e suas relações mutualísticas com as raízes, que têm papel fundamental na dinâmica de nutrientes no solo e na sobrevivência de plantas.

Quanto ao teor de K, detectou-se diferença significativa somente nos tratamentos que envolveram a mucuna-preta; o tratamento que não recebeu calcário e calcário + gesso (T₂) apresentou o maior teor de K (Quadros 2 e 3). O sistema radicular ramificado e profundo das leguminosas proporciona aumento na eficiência de utilização dos adubos, uma vez que trazem às camadas superficiais do solo nutrientes percolados, principalmente K, Ca, Mg e NO₃⁻; funcionando também como “agente minerador” dos nutrientes de pouca disponibilidade, como o P e o Mo, tornando-os mais disponíveis às culturas subseqüentes. Além disso, as raízes de adubo verde fazem uma subsolagem biológica, criando pequenos canais no solo, por onde circulam a água e o ar (Russell et al., 1981).

Os contrastes entre tratamentos revelaram que houve diferença significativa para a saturação por bases entre a testemunha e os demais tratamentos,

entre os tratamentos sem e com calcário e entre os tratamentos sem e com calcário + gesso (T₁ vs demais, T₂ vs T₄, T₂ vs T₆, T₃ vs T₅ e T₃ vs T₇). Novamente os adubos verdes não diferiram entre si sob solo com o mesmo tratamento (Quadro 2). Os tratamentos que receberam calcário e calcário + gesso na profundidade de 0,0–0,1 m apresentaram os maiores valores de saturação por bases (Quadro 3). Borkert et al. (2003) observaram que aveia-preta, ervilhaca e mucuna-preta acumulam grande quantidade de K; já mucuna-preta, guandu, ervilhaca e tremoço acumulam quantidades apreciáveis de N; todas as espécies acumulam Ca e Mg e micronutrientes em quantidades satisfatórias. Com isso, não se verificou diferença na soma de bases e saturação por bases entre as espécies de cobertura estudadas.

Após o primeiro ano de estudo, verificou-se que houve diferença somente para o teor de matéria orgânica, entre o contraste do tratamento T₅ vs T₇, ou seja, entre o solo que recebeu o adubo verde guandu depois substituído por feijão-de-porco, nas condições com o solo onde aplicou-se calcário e calcário + gesso (Quadro 2). Alcântara et al. (2000), estudando a

adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo degradado, verificaram que a contribuição do guandu nos atributos químicos se dá num menor espaço de tempo, devido provavelmente à sua relação C/N. Nas demais situações, não houve diferença entre os tratamentos, isto é, os adubos verdes mucuna-preta e guandu depois substituído por feijão-de-porco foram semelhantes quanto à adição de matéria orgânica ao solo, tanto na parcela sem correção como na parcela corrigida e corrigida + adição de gesso. A quantidade e a qualidade da matéria orgânica são importantes para a recuperação da estrutura do solo. A quantidade produzida entre os tratamentos, até o momento, tem sido semelhante, e provavelmente os produtos gerados da decomposição dos adubos verdes usados (mucuna-preta e guandu depois substituído por feijão-de-porco) estão proporcionando os mesmos efeitos nos atributos químicos do solo degradado em estudo. Por outro lado, Rodrigues et al. (2007), em áreas de regeneração natural e com braquiária no bioma Cerrado, verificaram incremento do teor de matéria orgânica no subsolo.

Para a profundidade de 0,1–0,2 m no ano de 1993, os contrastes entre tratamentos não foram significativos, para os atributos químicos estudados, com exceção dos contrastes T₅ vs T₇ e T₁ vs demais, para o teor de K e MO, respectivamente. O tratamento com guandu depois substituído por feijão-de-porco com calcário + gesso apresentou menor teor de K, comparado com a condição do solo com calcário. Quanto à MO no tratamento testemunha, o seu conteúdo foi maior (Quadro 2). Em 1992, o teor de matéria orgânica na profundidade de 0,0–0,2 m era de 7,0 mg dm⁻³, e na profundidade de 0,2–0,4 m, de 4,0 mg dm⁻³ (Quadro 1). Verificou-se que os valores diminuíram com o tempo de estudo (Quadro 6). Esse comportamento é explicado em razão da mudança do índice de composição do húmus nativo pela adição de material orgânico. Fato semelhante foi verificado por Santos & Siqueira (1996), em que houve redução no teor de matéria orgânica ao longo dos anos de experimentação. Essa diminuição pode ter sido ocasionada pela mobilização do solo após o início do experimento, o que é uma tendência normal em mudanças de sistemas.

Na profundidade de 0,2–0,4 m em 1993, para os atributos químicos pH, Mg, P, K, V e MO, não houve diferença significativa entre os contrastes de tratamentos. Isso significa que para esses atributos químicos ainda não ocorreram diferenças na recuperação do solo, estando eles semelhantes à condição da testemunha (solo degradado e sem técnicas para a sua recuperação). No tocante ao Ca, os contrastes T₂ vs T₃, T₂ vs T₄ e T₂ vs T₆ foram significativos (Quadro 2). Nesse caso, havendo diferença entre os adubos verdes na parcela sem correção e adição de gesso, entre o adubo verde mucuna-preta na parcela sem e com calcário e entre o adubo verde mucuna-preta na parcela sem e com calcário + gesso. Entre os adubos verdes, o tratamento com mucuna-preta apresentou maior teor de Ca. Também entre os

tratamentos com a mucuna-preta e as diferenças com e sem presença de calcário e calcário + gesso, o tratamento sem a correção e adição de gesso apresentou maior teor de Ca – fato relacionado à eficiência dessa espécie na reciclagem de cálcio no solo. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2002), estudando a reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes; a mucuna-preta apresentou bom desempenho na reciclagem de N, Ca e K.

Quanto à CTC, foram significativos os contrastes T₄ vs T₅, T₂ vs T₄ e T₄ vs T₆ (Quadro 2). Nesse caso, houve diferença entre os adubos verdes com aplicação de calcário. O maior valor de CTC foi constatado nos tratamentos com guandu depois substituído por feijão-de-porco, comparado ao tratamento com mucuna-preta (T₄ vs T₅); o tratamento com mucuna-preta sem correção do solo, comparado ao com mucuna-preta e calcário (T₂ vs T₄); e tratamento com mucuna-preta com calcário + gesso, comparado ao tratamento mucuna-preta e com aplicação de calcário (T₄ vs T₆). Como a mucuna-preta tem maior capacidade de reciclagem de bases, isso explica a menor CTC em profundidade. A aplicação do calcário explica a maior CTC entre os tratamentos com e sem essa prática. Conforme Testa et al. (1992), o uso de leguminosas capazes de produzir altas quantidades de resíduos permite a redução na lixiviação de cátions em profundidade e aumento na CTC, o qual é acompanhado por aumentos proporcionais nos teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ nas camadas superficiais.

Analisando o ano de 1995, na profundidade de 0,0–0,1 m, observou-se que não houve diferença nos contrastes analisados quanto a pH, Ca²⁺, Mg²⁺, P, CTC e V (Quadro 3). Três anos após implantados os tratamentos, os efeitos dos adubos verdes e da aplicação de calcário e gesso no solo estavam semelhantes. Já para o K, os contrastes entre os tratamentos T₂ vs T₃ e T₂ vs T₄ foram significativos, assim como para MO entre o T₃ vs T₇; vale ressaltar que o K⁺ não faz parte de nenhum composto orgânico, portanto, é mais facilmente mineralizável por ocasião da decomposição da MO. Além disso, de acordo com Tiwari et al. (1980), a decomposição da MO pode ter efeito solubilizante no K nativo do solo, aumentando a sua disponibilidade.

O teor de K⁺ foi maior no tratamento com mucuna-preta, comparado ao tratamento com guandu depois substituído por feijão-de-porco, reforçando a maior capacidade de reciclagem de nutrientes pela mucuna-preta. Comparando o tratamento com e sem calcário, a mucuna-preta mais uma vez mostrou-se com maior capacidade de reciclagem de nutrientes no ambiente sem a correção do solo (Quadro 3). O K é normalmente o mineral mais abundante no tecido vegetal, e, como ele se apresenta predominantemente na forma iônica K⁺, a decomposição dos restos vegetais o libera na sua totalidade rapidamente. Assim, pode-se considerar como de 100 % o aproveitamento do K proveniente dos restos de culturas, porém pode ocorrer perda por lixiviação quando se trata de solos arenosos (Faquin, 1994).

Para os demais contrastes entre tratamentos, em 1995, somente houve significância para pH (T_2 vs T_4 e T_2 vs T_6), Ca (T_2 vs T_6) e Mg (T_4 vs T_5) na profundidade de 0,1–0,2 m, e Mg para os contrastes T_2 vs T_4 e T_2 vs T_6 , na profundidade de 0,2–0,4 m (Quadro 3). Quanto ao pH em ambos os contrastes, o tratamento mucuna-preta sem calcário e sem calcário + gesso foi o que apresentou maior valor. O tratamento com mucuna-preta (sem calcário e sem calcário + gesso) apresentou o maior teor para o Ca, quando comparado ao tratamento com mucuna-preta com calcário + gesso. No contraste entre o tratamento mucuna-preta + calcário e o tratamento guandu depois substituído por feijão-de-porco + calcário, o adubo verde mucuna-preta apresentou maior teor de Mg. Esse comportamento está relacionado com a maior capacidade de reciclagem de nutriente exercida pela mucuna-preta, comparada ao guandu e feijão-de-porco, nas condições estudadas. Nascimento & Silva (2004), avaliando a quantidade da fitomassa de leguminosas para uso como cobertura do solo em área degradada, observaram que a mucuna-preta estava entre os adubos verdes que apresentaram a maior quantidade de restos culturais, aumentando a disponibilidade de nutrientes ao solo.

Em 1995, na profundidade de 0,2–0,4 m, somente houve diferença significativa para o Mg referente aos contrastes T_2 vs T_4 e T_2 vs T_6 , envolvendo o

tratamento com mucuna-preta com aplicação de calcário e calcário + gesso; o teor de Mg foi menor, o que confirma a hipótese de maior capacidade de reciclagem desta espécie (Quadro 3). O nutriente foi retirado das camadas mais profundas do solo e, com a decomposição dos resíduos culturais, foi levado para a camada superficial. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2002), que afirmam que os adubos verdes têm a capacidade de absorver os nutrientes lixiviados no perfil do solo, trazendo-os novamente à superfície do solo, onde estarão disponíveis às culturas.

No quadro 4, observou-se que em 1997, na profundidade de 0,0–0,1 m, houve diferença significativa entre os contrastes de tratamentos referentes aos atributos químicos Ca e V (contrastes T_1 vs demais, T_2 vs T_4 , T_2 vs T_6 , T_3 vs T_5 e T_3 vs T_7), CTC (contrastes T_1 vs demais e T_3 vs T_7) e MO (contrastes T_2 vs T_3 , T_2 vs T_4 e T_2 vs T_6). Esses resultados são explicados pela aplicação do calcário e calcário + gesso, tanto pela correção da acidez do solo como pela adição de Ca. Para a CTC e MO o tratamento com mucuna-preta apresentou melhor resultado em relação ao tratamento com guandu depois substituído por feijão-de-porco. Borkert et al. (2003), estudando os nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo, observaram que a mucuna-preta apresentou comportamento semelhante ao de guandu, tremoço,

Quadro 4. Teste de significância para os contrastes entre tratamentos referentes aos atributos químicos do solo estudado, em três profundidades, em 1997

Atributo	Contrastes entre tratamento									
	T_1 vs demais	T_2 vs T_3	T_4 vs T_5	T_6 vs T_7	T_2 vs T_4	T_2 vs T_6	T_4 vs T_6	T_3 vs T_5	T_3 vs T_7	T_5 vs T_7
Profundidade de 0,0–0,1 m										
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	*	ns	*	ns						
V	*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns
MO	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
Profundidade de 0,1–0,2 m										
pH	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
MO	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidade de 0,2–0,4 m										
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

T_1 : testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T_2 : mucuna-preta, T_3 : guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T_4 : calcário + mucuna-preta, T_5 : calcário + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T_6 : calcário + gesso + mucuna-preta e T_7 : calcário + gesso + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco. *: significativo a 5%; ns: não significativo.

ervilhaca e aveia-preta na reciclagem de Ca, Mg e K, com grande potencialidade para reciclagem de nutrientes. Para a profundidade de 0,2–0,4 m o comportamento foi semelhante quanto aos atributos químicos CTC e MO (contrastes T₂ vs T₄ e T₂ vs T₆). Segundo Reinrtsen et al. (1984), maior relação C/N leva à necessidade de maior período para a completa mineralização pelos microrganismos, com conseqüente demora na liberação dos nutrientes no solo. Assim, a mucuna-preta, por liberar nutriente mais lentamente, demonstra ter colaborado mais na fertilidade do solo, nas épocas de amostragem, do que o guandu e feijão-de-porco, o qual já teria, provavelmente, liberado mais rapidamente os nutrientes.

Com o tempo, as técnicas adotadas para recuperação do solo demonstraram evolução. Nos contrastes em que se consideraram as profundidades de 0,0–0,1 m e 0,1–0,2 m para o pH, Ca²⁺, CTC e V verificou-se que em 1998 ocorreram diferenças entre os contrastes dos tratamentos testemunha, mucuna-preta + calcário, mucuna-preta + calcário e gesso, guandu substituído por feijão-de-porco + calcário e calcário + gesso, que diferiram estatisticamente da testemunha e dos que não receberam calcário e calcário + gesso. Na profundidade de 0,20–0,4 m, não houve diferenças entre os tratamentos (Quadro 5). Moraes et al. (2007) observaram que a aplicação superficial de materiais vegetais (adubos verdes) não contribuiu

para acelerar a movimentação dos produtos da dissolução do calcário para as camadas subsuperficiais do solo. Ressalta-se que os valores dos atributos foram menores na testemunha e nos tratamentos sem tratamento do solo (com calcário e calcário + gesso) (Quadro 7). Borkert et al. (2003) observaram que as espécies de coberturas estudadas (guandu, mucuna-preta, tremoço, ervilhaca e aveia-preta) são eficientes em acumular macronutrientes e micronutrientes, com exceção do P.

Analisando de 1993 a 1997, em termos médios, houve aumento de 50 % no teor de matéria orgânica do solo (Quadros 6 e 7). A matéria orgânica é um indicador de qualidade do solo. Melo (1994) não observou aumentos significativos nos teores de matéria orgânica do solo em área degradada. O autor atribui esse fato a um curto espaço de tempo de condução da pesquisa (dois anos), bem como à falta de amostragem mais estratificada. Pode-se verificar o aumento no teor de matéria orgânica do solo, que ocorreu de 1997 para 1998, provavelmente devido à influência dos restos vegetais da cultura do milho, que foi instalada em 1997 (Quadros 6 e 7). A produção de matéria seca do milho foi em média de 2.373 kg ha⁻¹, variando de 1.616 kg ha⁻¹ para a testemunha a 3.520 kg ha⁻¹ para o tratamento calcário + gesso + mucuna-preta. Testa et al. (1992) verificaram aumentos do teor de matéria orgânica do solo quando estudaram efeitos de sistemas

Quadro 5. Teste de significância para os contrastes entre tratamentos referentes aos atributos químicos do solo estudado, em três profundidades, em 1998

Atributo	Contrastes entre tratamento									
	T ₁ vs demais	T ₂ vs T ₃	T ₄ vs T ₅	T ₆ vs T ₇	T ₂ vs T ₄	T ₂ vs T ₆	T ₄ vs T ₆	T ₃ vs T ₅	T ₃ vs T ₇	T ₅ vs T ₇
Profundidade de 0,0–0,1 m										
pH	*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns
Ca ²⁺	*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
V	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidade de 0,1–0,2 m										
pH	*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns
Ca ²⁺	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	ns
Mg ²⁺	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
P	ns	ns	*	ns						
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns
V	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidade de 0,2–0,4 m										
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg ²⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

T₁: testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂: mucuna-preta, T₃: guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄: calcário + mucuna-preta, T₅: calcário + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆: calcário + gesso + mucuna-preta e T₇: calcário + gesso + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco. *: significativo a 5 %; ns: não significativo.

Quadro 6. Valores médios do pH, cálcio e magnésio trocáveis, fósforo disponível, potássio trocável, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e teor de matéria orgânica em função dos tratamentos e profundidades, em 1993 e 1995

Atributo	pH		Ca ²⁺		Mg ²⁺		P		K ⁺		CTC		V		MO	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
			— mmol _c dm ⁻³ —				— mg dm ⁻³ —				— mmol _c dm ⁻³ —		— % —		— g dm ⁻³ —	
Profundidade de 0,0–0,1 m																
Testemunha	4,4	5,0	4,7	10,5	1,5	3,0	2,0	1,0	0,1	0,1	24,0	28,5	27	46	2,0	2,2
Mucuna preta	4,5	4,8	5,2	9,5	1,7	2,0	2,0	1,0	0,2	0,1	26,2	26,7	26	42	3,0	2,7
Feijão-de-porco	4,3	4,9	3,0	10,5	2,7	2,7	2,0	1,0	0,1	0,1	23,5	27,7	26	47	2,2	2,7
Calc+ M. preta	6,0	5,1	11,7	10,0	7,5	3,2	2,0	1,0	0,1	0,1	30,7	26,7	61	48	2,2	2,0
Calc+ F. porco	5,6	5,2	10,7	8,7	5,2	3,7	2,0	1,0	0,1	0,1	29,0	26,2	55	46	2,0	2,0
Calc+Ges.+M. preta	5,3	4,9	14,0	10,7	5,7	4,2	2,0	1,0	0,1	0,1	33,2	29,2	54	48	2,5	2,0
Calc+Ges+F. porco	5,4	4,9	11,7	9,5	4,2	4,5	2,0	1,0	0,1	0,1	30,0	29,0	52	46	3,2	1,7
Profundidade de 0,1–0,2 m																
Testemunha	4,3	4,5	3,0	4,7	1,5	3,2	2,0	1,0	0,2	0,1	22,7	24,0	21	33	2,7	1,7
Mucuna preta	4,5	4,8	5,2	9,0	2,0	2,5	2,0	1,0	0,1	0,1	25,2	27,0	30	40	2,0	2,7
Feijão-de-porco	4,2	4,6	3,0	7,0	1,0	2,7	2,0	1,0	0,2	0,1	21,7	25,7	20	38	2,0	2,0
Calc+ M. preta	4,4	4,4	4,5	7,2	2,0	4,0	2,0	1,0	0,1	0,1	22,7	27,2	28	39	2,0	1,7
Calc+ F. porco	4,5	4,4	3,0	6,0	1,7	2,0	2,0	1,0	0,1	0,1	23,2	25,0	20	32	2,0	2,0
Calc+Ges.+M. preta	4,4	4,4	4,7	4,2	2,5	3,7	2,0	1,0	0,1	0,1	24,5	25,0	28	32	2,0	1,7
Calc+Ges+F. porco	4,5	4,4	4,5	5,5	2,5	3,2	2,0	1,0	0,1	0,1	23,7	25,7	30	34	2,0	1,5
Profundidade de 0,2–0,4 m																
Testemunha	4,2	4,4	3,0	5,0	1,0	3,0	2,0	1,0	0,1	0,1	22,2	24,7	18	32	2,0	1,7
Mucuna preta	4,6	4,5	5,2	7,0	2,2	1,5	2,0	1,0	0,1	0,1	24,2	25,0	30	34	2,0	2,2
Feijão-de-porco	4,3	4,7	2,5	7,7	1,0	2,2	2,0	1,0	0,1	0,1	21,0	25,2	16	38	2,0	3,7
Calc+ M. preta	4,2	4,4	2,5	5,0	1,0	3,0	2,0	1,0	0,1	0,1	15,5	24,5	17	32	2,0	2,0
Calc+ F. porco	4,2	4,4	3,0	5,5	1,0	2,5	2,0	1,0	0,1	0,1	25,0	24,5	18	32	2,0	2,0
Calc+Ges.+M. preta	4,2	4,4	3,0	4,7	2,2	3,2	2,0	1,0	0,1	0,1	23,7	24,5	22	32	2,0	1,2
Calc+Ges+F. porco	4,2	4,4	3,0	5,0	1,7	3,0	2,0	1,0	0,2	0,1	22,5	24,2	21	33	2,0	1,7

Calc + M. preta: calcário + mucuna preta; Calc+ F. porco: calcário + feijão-de-porco; Calc+Ges.+M. preta: calcário + gesso + mucuna preta; Calc+Ges+F. porco: calcário + gesso + feijão-de-porco.

Quadro 7. Valores médios do pH, cálcio e magnésio trocáveis, fósforo disponível, potássio trocável, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e teor de matéria orgânica em função dos tratamentos e profundidades, em 1997 e 1998

Atributo	pH		Ca ²⁺		Mg ²⁺		P		K ⁺		CTC		V		MO	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
			— mmol _c dm ⁻³ —				— mg dm ⁻³ —				— mmol _c dm ⁻³ —		— % —		— g dm ⁻³ —	
Profundidade de 0,0–0,1 m																
Testemunha	4,4	4,6	4,2	5,0	1,0	3,2	1,0	1,7	0,1	0,1	21,2	24,7	24	32	1,7	4,7
Mucuna preta	4,6	4,6	5,7	5,5	1,5	2,7	1,2	3,7	0,2	0,2	23,2	26,0	31	32	3,2	5,0
Feijão-de-porco	4,3	4,8	4,5	5,7	1,5	3,5	1,5	2,5	0,2	0,1	22,0	26,0	27	36	2,2	6,5
Calc+ M. preta	5,8	5,5	10,7	9,7	1,2	4,2	1,2	2,0	0,1	0,1	25,2	28,2	48	49	2,2	5,7
Calc+ F. porco	5,6	5,3	9,7	9,7	1,2	2,7	1,0	3,7	0,1	0,1	23,7	27,7	45	44	2,0	5,2
Calc+Ges.+M. preta	5,7	5,7	10,0	11,0	1,2	4,2	1,5	2,2	0,2	0,2	24,2	30,0	46	52	2,2	5,5
Calc+Ges+F. porco	5,2	5,6	8,7	12,7	2,2	2,2	1,2	3,0	0,2	0,1	25,7	29,0	42	52	2,0	5,0
Profundidade de 0,1–0,2 m																
Testemunha	4,3	4,6	3,0	4,0	0,7	3,5	1,2	1,2	0,1	0,1	21,2	25,0	29	31	1,2	4,0
Mucuna preta	4,4	4,7	4,5	6,7	1,0	3,2	1,2	2,0	0,1	0,1	22,2	27,5	26	37	2,7	4,5
Feijão-de-porco	4,1	4,6	2,2	4,7	1,2	2,7	1,7	2,2	0,1	0,1	20,5	24,7	21	31	1,5	5,5
Calc+ M. preta	5,2	5,4	7,7	8,0	1,2	4,0	1,0	1,5	0,1	0,1	23,2	26,2	37	46	1,5	4,5
Calc+ F. porco	4,4	5,2	3,7	9,0	1,0	1,5	2,0	2,7	0,1	0,1	21,0	27,5	22	39	1,0	4,7
Calc+Ges.+M. preta	5,4	5,7	9,5	11,2	1,5	2,7	1,2	1,7	0,1	0,1	24,5	28,5	45	49	2,2	4,5
Calc+Ges+F. porco	4,6	5,7	5,7	11,2	1,5	3,2	1,7	2,2	0,1	0,1	23,2	29,0	30	50	1,7	4,7
Profundidade de 0,2–0,4 m																
Testemunha	4,5	4,5	3,7	3,5	0,7	3,0	1,2	1,5	0,1	0,1	21,7	25,0	23	26	1,5	4,0
Mucuna preta	4,4	4,5	5,7	4,5	0,5	2,7	1,5	1,5	0,1	0,1	24,2	25,5	25	29	3,0	4,7
Feijão-de-porco	4,5	4,5	2,5	4,2	1,5	2,5	1,2	1,5	0,1	0,1	22,2	24,7	28	28	1,5	4,5
Calc+ M. preta	4,1	4,6	2,2	3,7	0,7	3,5	1,0	1,7	0,1	0,1	21,0	23,7	16	31	1,0	3,5
Calc+ F. porco	4,0	4,6	1,2	4,2	1,2	2,5	1,5	2,2	0,1	0,1	20,7	24,0	15	29	1,2	3,0
Calc+Ges.+M. preta	4,2	4,8	3,0	6,5	1,0	2,5	1,0	2,0	0,1	0,1	20,5	25,2	20	34	1,5	4,2
Calc+Ges+F. porco	4,0	4,2	1,7	7,0	1,0	3,5	1,0	1,7	0,1	0,1	22,0	27,0	15	38	1,0	4,0

Calc+ M. preta: calcário + mucuna preta; Calc+ F. porco: calcário + feijão-de-porco; Calc+Ges.+M. preta: calcário + gesso + mucuna preta; Calc+Ges+F. porco: calcário + gesso + feijão-de-porco.

de culturas sobre atributos químicos do solo. A matéria seca produzida pelos adubos verdes, nos anos de estudo, não diferiu entre eles e variou, em média, de 1.273 a 1.660 kg ha⁻¹ (Grego, 1996; Sasaki, 1999).

O uso de calcário e adubos, bem como a reciclagem de nutrientes, propiciou alterações nos teores dos atributos químicos estudados, sobretudo na camada superficial. Observou-se redução dos valores em todos os nutrientes analisados com a profundidade de amostragem ao longo dos anos em estudo, indicando menor fertilidade do solo de acordo com a profundidade. Resultados semelhantes foram observados por Favaretto et al. (2000), estudando o efeito da revegetação e da adubação em área degradada.

CONCLUSÕES

1. Os tratamentos adotados estão recuperando os atributos químicos do solo degradado; a mucuna-preta apresentou melhores resultados, quando comparada a guandu e feijão-de-porco.

2. Os efeitos da recuperação dos atributos químicos do solo estão atingindo a profundidade de 0,0–0,2 m.

3. As técnicas adotadas para recuperação dos atributos químicos solo (adubação verde, calagem e gessagem) no primeiro ano atingiram a profundidade do solo de 0,0–0,1 m e, somente após cinco anos, a de 0,0–0,2 m.

LITERATURA CITADA

- ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A. & MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:277-288, 2000.
- BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R. & OLIVEIRA JÚNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:143-153, 2003.
- CACERES, N.T. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1994. 45p. (Tese de Mestrado)
- DEMATTE, J.L.I. Levantamento detalhado dos solos do "Campus Experimental de Ilha Solteira". Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. 44p.
- DIAS, L.E. & GRIFFITH J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, E.L. & MELLO, J.W.V., eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.1-7.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras, ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FAVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A.C.V. & PREVEDELLO, B.M.S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:289-297, 2000.
- FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C. & FARIA, J.M.R. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. *R. Árvore*, 31:177-185, 2007.
- FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T.O.; BATISTUCCI, S.G.G. & MONTANHESI, M.O.R. Auditoria e Sistema de Gerenciamento Ambiental (ISO 14000). In: *RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL, 2.*, Curitiba, 1994. Anais. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.25-44.
- FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:2045-2058, 2003.
- GREGO, C.R. Recuperação de um Latossolo Vermelho-Escuro de uma área degradada usada para construção da barragem de Ilha Solteira-SP. Ilha Solteira, Universidade Estadual de São Paulo, 1996. 60p. (Trabalho de Graduação apresentado a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP).
- KLEPER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:359-401, 1995.
- LOPES, J.A.V. & QUEIROZ, S.M.P. Rodovias e meio ambiente no Brasil: Uma resenha crítica. In: *RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL, 2.*, 1994. Curitiba, Anais. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.75-90.
- MELO, E.R.Q. Recuperação de área degradada da Itaipu Binacional com forrageiras e adubações. Foz do Iguaçu, CNPq/Itaipu Binacional, 1994. 159p.
- MORAES, M.F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & COSCIONE, A.R. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:673-684, 2007.
- NASCIMENTO, J.T. & SILVA, I.F. Avaliação quantitativa e qualitativa da fitomassa de leguminosas para o uso como cobertura do solo. *Ci. Rural*, 38:947-949, 2004.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

- REINRTSEN, S.A.; ELIOTT, L.F. & COCHRAN, V.L. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, 16:459-464, 1984.
- RODRIGUES, G.B.; MALTONI, K.L. & CASSIOLATO, A.M.R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 11:73-80, 2007.
- RUSSELL, R.S.; IGUE, K. & MEHTA, Y.R. The soil-root system in relation to brazilian agriculture. Londrina, IAPAR, 1981. 372p.
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. & LHAMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: Efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:449-454, 1995.
- SANTOS, H.P. & SIQUEIRA, O.J.W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: Efeitos sobre a fertilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:163-169, 1996.
- SASSAKI, N. Adubação verde, calagem e gessagem na recuperação de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado, em Selvíria-MS. Ilha Solteira, Universidade Estadual de São Paulo, 1999. 43p. (Trabalho de Graduação, apresentado a Faculdade de Engenharia/UNESP).
- SCHLOTZHAVER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS: System for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary, SAS, 1997. 905p.
- SILVA, J.A.A.; VITTI, G.C.; STUCHI, E.S. & SEMPIONATO, O.R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-Pêra. *R. Bras. Frutic.*, 24:225-230, 2002.
- SOUZA, R.M.; PINTO, J.C.; EVANGELISTA, A.R. & COUTO FILHO, C.C.C. Formas de aplicação de calcário nos teores de minerais da forragem do Capim-Tanzânia. *Ci. Agrotec.*, 30:752-758, 2006.
- SUZUKI, L.E.A.S. & ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. *Bragantia*, 65:121-127, 2006.
- TESTA, U.M.; TEIXEIRA, L.A.J. & MIELNICZUCK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:107-114, 1992.
- TIWARI, K.N.; TIWARI, S.P. & PATHAK, A.N. Studies on green manuring of rice in double cropping system in a partially reclaimed saline sodic soil. *Indian J. Agron.*, 25:136-145, 1980.
- VALPASSOS, M.A.; CASSIOLATO, A.M.R. & MALTONI, K. Contribuição de coberturas vegetais para a recuperação das características químicas e atividade microbiana do solo de uma "área de empréstimo". In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. 4., Blumenau, 2000. Anais. Blumenau, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2000. CD-ROM.