



Acidez do solo e balanço de cálcio e magnésio após onze anos da adoção de um sistema integrado de produção de soja e bovinos de corte com diferentes intensidades de pastejo

Amanda Posselt Martins⁽¹⁾; Diego Cecagno⁽²⁾; José Bernardo Moraes Borin⁽¹⁾; Fernando Arnuti⁽¹⁾; Sarah Hanauer Lochmann⁽³⁾; Ibanor Anghinoni⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Estudante de doutorado; Bolsista CAPES; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Porto Alegre, RS; amandaposselt@gmail.com; jbborin@gmail.com; fernando.arnuti@gmail.com; ⁽²⁾ Estudante de mestrado; Bolsista CNPq; UFRGS; dcecagno@hotmail.com; ⁽³⁾ Estudante de graduação; Bolsista CNPq; UFRGS; sarah.hl.agro@gmail.com; ⁽⁴⁾ Professor Titular do Dpto. de Solos; Bolsista do CNPq; UFRGS; ibanghi@ufrgs.br.

RESUMO: Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) vêm sendo destacados como uma maneira sustentável de produzir alimentos e aumentar a eficiência de uso da terra. No entanto, algumas questões precisam ser respondidas para diminuir a resistência dos produtores de grãos em introduzir animais em suas áreas. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar os atributos de acidez do solo e o balanço de cálcio e magnésio após onze anos da adoção de um SIPA de soja e bovinos de corte submetido a diferentes intensidades de pastejo. Para isto, foi utilizado um experimento que vem sendo conduzido desde 2001, no Planalto gaúcho, com intensidades de pastejo no inverno: intenso, moderado e sem, e soja no verão. O solo foi coletado em maio de 2012 e, para o balanço, avaliaram-se as entradas e saídas de cálcio e magnésio, bem como o teor inicial e final do sistema (maio de 2001 e maio de 2012). Verificou-se que a intensidade de pastejo utilizado no SIPA não afeta a dinâmica da acidez do solo. Por outro lado, a adoção do SIPA favorece uma menor acidificação do solo após onze anos, quando comparado a áreas sem pastejo. Isso ocorre principalmente por causa das menores saídas improdutivas (perdas) de cátions básicos que são observadas no sistema integrado.

Termos de indexação: pH, saturação por alumínio, integração lavoura-pecuária.

INTRODUÇÃO

Sistemas agrícolas que unem menor uso de insumos com maior produção de alimentos e o mínimo impacto ambiental possível permanecem como um dos grandes desafios da agricultura moderna. Nesse contexto, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs) vêm se destacando (FAO, 2010), com a introdução de animais ruminantes em áreas tradicionalmente apenas de lavoura. O SIPA é caracterizado pela exploração de sinergismos e propriedades emergentes que resultam da interação entre o solo, as plantas, os animais e a atmosfera (Moraes et al., 2014). Existe uma série de trabalhos científicos que demonstram a importância dos SIPAs (Ryschawy et

al., 2013; Moraes et al., 2014; Oliveira et al., 2014). Entretanto, especificamente nas regiões tropicais e subtropicais, algumas questões necessitam serem respondidas para diminuir a resistência dos produtores de grãos em introduzir o pastejo nas suas áreas de produção. Uma dessas questões diz respeito ao impacto do animal na dinâmica da acidez do solo.

Assim como os produtos agrícolas (e.g., grãos), a presença dos animais induz a acidificação do solo pela exportação de nutrientes. Entretanto, esse processo de acidificação – além de ser produtivo – é apenas importante no longo prazo e, mesmo assim, tem uma pequena contribuição na acidificação do solo como um todo (Whitehead, 2000; Haynes & Williams, 1993). A principal contribuição dos animais para a acidificação do solo ao longo do tempo é através da sua urina (Unkovich et al., 1998; Orr et al., 2001). Por outro lado, o pastejo também pode afetar o processo de acidificação por modificar o crescimento das raízes das plantas (Lyons & Hanselka, 2001); rebrota (Moraes et al., 2014) e conseqüentemente a absorção de nutrientes ao longo do perfil do solo (Coventry et al., 2003).

Nesse contexto, a hipótese do presente estudo é de que a intensidade de pastejo utilizada durante a “fase animal” de um SIPA pode afetar a dinâmica da acidez do solo ao longo do tempo. Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar os atributos de acidez do solo (pH e saturação por alumínio) e o balanço dos principais cátions básicos do solo (cálcio e magnésio) após onze anos da adoção de um SIPA de soja e bovinos de corte submetido a diferentes intensidades de pastejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado um experimento que vem sendo conduzido em São Miguel das Missões/RS, região do Planalto sul-rio-grandense, em um Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2006), em semeadura direta desde 1993. As características químicas do solo (0 a 20 cm) na instalação do experimento eram: pH-H₂O de 4,7; 3,2 % de matéria orgânica; 4,8; 1,6; 0,7 e 9,6 cmol_c dm⁻³ de Ca, Mg e Al trocáveis e H+Al; 8 e 126 mg dm⁻³ de P e K



disponíveis (Tedesco et al., 1995). A densidade média era de 1,24 e 1,36 kg dm⁻³ nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente.

A primeira entrada dos animais na área de 22 hectares ocorreu em junho de 2001, iniciando o sistema que consiste em pastagem de aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) de maio a novembro e soja (*Glycine max*) de novembro a maio. Os tratamentos consistem de intensidades de pastejo no período hibernal, conforme a altura de manejo do pasto, sendo: 10 cm [pastejo intensivo (PI), média de 1.293 kg de peso vivo (PV) ha⁻¹], 20 cm [pastejo moderado (PM), média de 926 kg PV ha⁻¹] e áreas testemunha [sem pastejo (SP)], em um delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições.

Imediatamente antes do início do experimento, se aplicou superficialmente 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário (PRNT 62%, 30% CaO, 19% MgO) para elevar o pH do solo até 5,5 na camada de 0 a 10 cm (CQFS RS/SC, 2004). A adubação fosfatada foi de 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ todos os anos, sendo nos dois primeiros ciclos com superfosfato simples (16% Ca) e nos anos subsequentes com superfosfato triplo (12% Ca). Todas as adubações foram realizadas de acordo com a CQFS RS/SC (2004).

As coletas de solo foram realizadas após a colheita da soja nos anos de 2002, 2007 e 2012 (um, seis e onze anos após a adoção do SIPA), nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. As análises realizadas foram: pH-H₂O e índice SMP, Ca, Mg e Al trocável (KCl 1 mol L⁻¹) e K disponível (Mehlich-1), de acordo com Tedesco et al. (1995), sendo posteriormente calculado a saturação por alumínio. Para o balanço de cálcio e magnésio, consideraram-se as entradas e saídas acumuladas durante onze ciclos pastejo/soja, além do estoque inicial (maio de 2001) e final (maio de 2012) do sistema (solo+resíduos), seguindo a mesma metodologia utilizada por Martins et al. (2014).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo (p<0,05), utilizou-se o Teste de Tukey para comparação das médias (p<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH do solo foi afetado pelas intensidades de pastejo, na média das camadas avaliadas, apenas após um e onze anos após a adoção do SIPA (Figura 1). Após seis anos (2007), foi o limite máximo do efeito de correção da acidez do calcário aplicado na superfície do solo na implantação do experimento (Flores et al., 2008), igualando o pH do solo de todos os tratamentos e correspondendo aos maiores valores observados em cada intensidade de pastejo. Assim, os menores valores de pH foram observados em 2002 (um ano após, devido à acidez

do solo que já existia no estabelecimento do experimento) e em 2012 (onze anos após, devido ao processo de reacidificação do solo após a calagem superficial). O PI e o PM apresentaram o maior e o menor valor na primeira avaliação, respectivamente. Entretanto, o efeito de longo prazo demonstrou que o pastejo durante o período de inverno (adoção do SIPA) contribuiu para manter maiores valores de pH no solo, independentemente da intensidade de pastejo utilizadas (Figura 1).

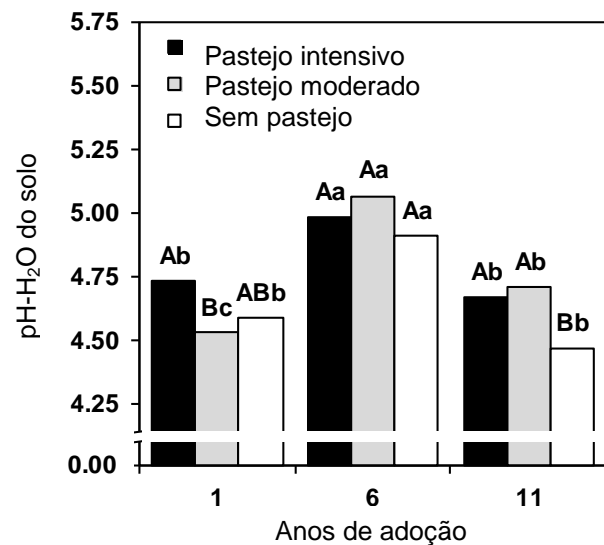


Figura 1 – Valores médios de pH-H₂O nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm após um, seis e onze anos após a adoção de um sistema integrado de produção agropecuária (soja e bovinos de corte) com diferentes intensidades de pastejo em um Latosolo do Sul do Brasil. Letras minúsculas distinguem os anos em cada intensidade de pastejo e letras maiúsculas distinguem as intensidades de pastejo em cada ano (Teste de Tukey, p<0,05).

Para a saturação por alumínio do solo (Figura 2), a interação entre as fontes de variação *intensidade de pastejo x data de avaliação* (Figura 2A) e *intensidade de pastejo x camada de solo* (Figura 2B) foi significativa. No primeiro caso (Figura 2A), o comportamento foi similar ao observado para o pH (Figura 1): o PI apresentou os menores valores de saturação por alumínio na primeira avaliação; não houve diferenças entre as intensidades de pastejo no sexto ano; e o SP apresentou a condição mais ácida após onze anos. Entretanto, é importante salientar que não houve diferenças significativas entre as datas de avaliação para os tratamentos com pastejo (PI e PM), demonstrando que a saturação por alumínio média no perfil do solo foi a mesma nesses tratamentos ao longo dos anos. Para a área SP, menores e maiores valores foram observados após seis e onze anos, respectivamente (Figura 2A). A maior acidez do solo nesse tratamento foi confirmada com a análise dos dados



apresentados na **Figura 2B**, e as camadas intermediárias (5-10 e 10-20 cm) foram as principais responsáveis por este comportamento.

No balanço de cálcio e magnésio (**Tabela 1**), os teores iniciais desses cátions básicos foram similares entre os tratamentos. Entretanto, as saídas improdutivoas foram e isso influenciou diretamente os teores finais (após onze anos da adoção do SIPA) e o balanço final. Para o cálcio, independentemente do PI e do PM terem apresentado maior e similar teor final, as saídas improdutivoas e o balanço final do PI foram maiores e mais negativo, respectivamente, sendo similar ao SP (que apresentou a maior saída improdutivoa) e balanço final mais negativo (**Tabela 1**). Para o magnésio, os tratamentos pastejados (PI e PM) apresentaram o mesmo padrão: menor saída improdutivoa, maior teores finais e balanço final menos negativo, quando comparados ao SP (**Tabela 1**).

Esses resultados corroboraram os encontrados por Martins et al. (2014) que analisaram o mesmo experimento após nove anos da adoção. Entretanto, esses autores não encontraram diferença de pH entre os tratamentos, como observado no presente estudo (**Figura 1**). Isso ocorreu provavelmente porque o pH é um atributo de solo afetado por muitos processos, como os ciclos do carbono e do nitrogênio que são muito dinâmicos e variáveis (Bolan & Hedley, 2003).

Através do pastejo, os animais agem como catalisadores que modificam e aceleram os fluxos de nutrientes, ingerindo a biomassa vegetal e retornando 70 a 95% dos nutrientes ao solo na forma de urina e esterco (Haynes & Williams, 1993). O contínuo crescimento da planta devido ao pastejo resulta em uma maior produção total de matéria seca (Moraes et al., 2014), provavelmente agindo como uma “bomba de nutrientes” no solo, que absorve nutrientes das camadas mais profundas e os deposita nas camadas superficiais. Esse fenômeno é bem conhecido em sistemas conservacionistas, sendo parte de um processo conhecido como *mining* (Zibilske et al., 2002) e o pastejo parece que contribui com isso (Costa et al., 2014; Martins et al., 2014). Assim, menores valores de saturação por alumínio (**Figura 2**) e balanços menos negativos de cálcio e magnésio são observados (**Tabela 1**), devido às menores saídas improdutivoas do SIPA, independentemente da intensidade de pastejo utilizada (**Tabela 1**). Além disso, o retorno desses elementos (cálcio e magnésio) no resíduo bovino ocorre principalmente via esterco (Haynes & Williams, 1993), que apresenta uma baixa taxa de liberação [como relatado por Assmann (2013)], auxiliando a diminuir as saídas improdutivoas.

CONCLUSÕES

A intensidade de pastejo utilizado em um sistema integrado de produção de soja e bovinos de corte,

com pastagem de aveia preta e azevém no inverno, não afeta a dinâmica da acidez do solo.

A adoção do sistema integrado favorece uma menor acidificação do solo após onze anos, quando comparado a áreas sem pastejo (sistema plantio direto com plantas de cobertura no inverno). Isso ocorre principalmente por causa das menores saídas improdutivoas (perdas) de cátions básicos que são observadas no sistema integrado.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Adão Luís Santos, Fabrício Balerini, Sérgio Ely Costa e Taise Kunrath pela ajuda nas análises laboratoriais e atividades de campo; e a Luís César Cassol, João Paulo Flores, Edicarlos Souza e Eric Victor Ferreira pela realização das amostragens de solo de 2001, 2002 e 2007. Nós também agradecemos ao CNPq, à CAPES e à Fundação AGRISUS pelo suporte financeiro ao longo dos quinze anos do experimento utilizado neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ASSMANN, J.M. Ciclagem e estoque de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte sob plantio direto. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. (Tese de doutorado – em preparação)
- BOLAN, N.S. & HEDLEY, M.J. Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification. In: RENGEL, Z. (Ed.). Handbook of soil acidity. New York: Marcel Dekker Inc., 2003. p. 29-56.
- CQFS – RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: 10 ed. 2004. 400p.
- COSTA, S. E. V. G. A. et al. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. Agric. Ecosyst. Environ., 190:43-51, 2014.
- COVENTRY, D.R. et al. Management Soil Acidification Through Crop Rotations in Southern Australia. In: RENGEL, Z. ed. Handbook of Soil Acidity. New York, Marcel Dekker Inc., 2003. p. 407-429.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 32:2385-2396, 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. Integrated Crop Management, 2010. 64p.
- HAYNES, R.J. & WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. Adv. Agron., 49:119-199, 1993.

LYONS, R. & HANSELKA, C. W. Grazing and browsing: how plants are affected. Texas: Agrilife Extension. Disponível em: <http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87088/pdf_1523.pdf?sequence=1>. Acesso em 3 jun. 2013.

MARTINS, A. P. et al. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different grazing intensities. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 195:18-28, 2014.

OLIVEIRA, C. A. O. et al. Comparison of an integrated crop-livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. *Renew. Agr. Food Syst.*, 29:230-238, 2014.

ORR, R. J. et al. Ingestion and excretion of nitrogen and phosphorus by beef cattle under contrasting grazing intensities. *Grass Forage Sci.*, 67:111-118, 2011.

MORAES, A. et al. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *Eur. J. Agron.*, 57:4-9, 2014.

RYSCHAWY, J. et al. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. *Animal*, 7:673-681, 2013.

TEDESCO, M. J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: 2.ed. 1995. 174p.

UNKOVICH, M. et al. Effects of grazing on plant and soil nitrogen relations of pasture-crop rotations. *Aust. J. Agric. Res.*, 49:475-485, 1998.

WHITEHEAD, D. 2000. Nutrient Elements in Grassland: Soil-plant-animal Relationships. Wallingford: CAB International, 2000. 369p.

ZIBILSKA, L. M. et al. Conservation tillage induced changes in soil organic carbon, total nitrogen and available phosphorus in a semi-arid alkaline subtropical soil. *Soil Till. Res.*, 66:153-163, 2002.

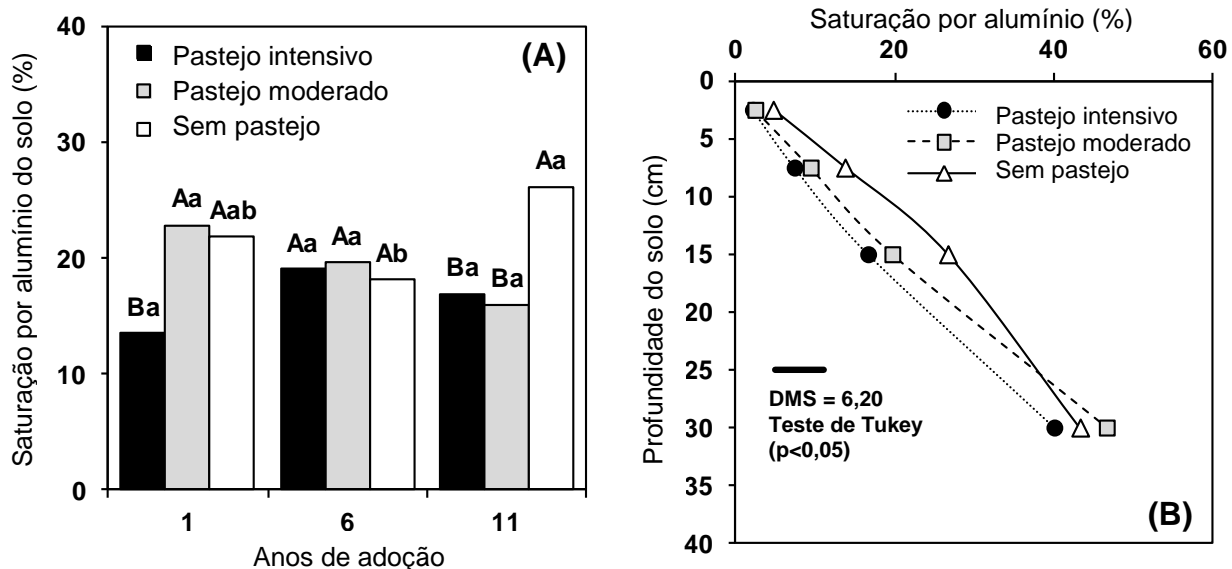


Figura 2 – Saturação por alumínio na média das camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm (A) e dos anos avaliados (B) em um sistema integrado de produção agropecuária (soja e bovinos de corte) com diferentes intensidades de pastejo em um Latossolo do Sul do Brasil. A: Letras minúsculas distinguem os anos em cada intensidade de pastejo e letras maiúsculas distinguem as intensidades de pastejo em cada ano (Teste de Tukey, $p < 0,05$). B: Barra representa a diferença mínima significativa (entre profundidades e entre tratamentos).

Tabela 1 – Balanço de cálcio e magnésio no perfil do solo (0 a 40 cm) onze anos após a adoção de um sistema integrado de produção agropecuária (soja e bovinos de corte) com diferentes intensidades de pastejo em um Latossolo do Sul do Brasil

Intensidade de pastejo	Teor inicial (solo+resíduo)	Acumulado de 2001 a 2012			Teor final (solo+resíduo)	Balanço final
		Entradas ¹	Saídas produtivas ²	Saídas improdutivas		
----- Cálcio trocável (ou equivalente), $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----						
Pastejo intenso	5,1 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}	4,5 ab	2,0 a	- 3,0 ab
Pastejo moderado	4,1	1,5	0,1	3,8 b	1,7 a	- 2,4 a
Sem pastejo	5,2	1,5	0,1	5,5 a	1,1 b	- 4,1 b
----- Magnésio trocável (ou equivalente), $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----						
Pastejo intenso	2,6 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,2 ^{ns}	2,5 b	1,7 a	- 0,9 a
Pastejo moderado	2,2	1,8	0,2	2,3 b	1,5 a	- 0,7 a
Sem pastejo	2,6	1,8	0,2	3,1 a	1,1 b	-1,5 b

¹ Pela calagem e adubação. ² Pelos grãos de soja e carne bovina.

Letras minúsculas distinguem as intensidades de pastejo em cada parâmetro do balanço (Teste de Tukey, $p < 0,05$).