

FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS AGROECOLÓGICOS NO CERRADO BRASILEIRO. FERTILIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS AGROFORESTALES AGROECOLÓGICOS EN LA SABANA BRASILEÑA

Alcântara A*, Stone F, Didonet D

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás (GO), Brasil

flavia.alcantara@embrapa.br; alcantarafade@yahoo.com.br

RESUMEN:

Dentre os sistemas produtivos que mais se adequam a aplicação dos princípios agroecológicos estão os sistemas agroflorestais (SAF's), que apresentam um componente arbóreo ou lenhoso e permitem o cultivo de plantas alimentícias ou para produção de energia em suas entrelinhas. O manejo do solo nesses sistemas pode ser feito com o plantio de adubos verdes, especialmente leguminosas, para suprir os nutrientes necessários às culturas, seja pela fixação biológica de nitrogênio, seja pela reciclagem de nutrientes presentes nas camadas mais profundas do solo. Este trabalho objetivou avaliar a fertilidade de um solo tropical e altamente intemperizado durante seis anos de condução de dois SAF's, sendo um para segurança alimentar, em que foram cultivados feijão e milho, e outro para produção energética, onde foram cultivados girassol, gergelim e amendoim. Amostras de solo (0-0,20 m) coletadas no primeiro (condição inicial), no terceiro e no sexto anos foram analisadas para atributos químicos. Nos dois SAF's, as combinações de adubos verdes e culturas principais e os arranjos arbóreos elevaram o teor de matéria orgânica e reduziram a acidez potencial em relação à condição inicial. No entanto, a reciclagem feita pelos adubos verdes não foi suficiente para a manutenção do teor dos macro e micronutrientes do solo, com exceção de Mg e K, demonstrando a necessidade de se associar a adubação verde com a aplicação de fertilizantes orgânicos ou organominerais, de forma a repor nutrientes ao solo, exportados pela colheita dos grãos das diferentes culturas.

Palabras clave: adubos verdes, fertilidade, reciclagem de nutrientes, sistemas agroflorestais.

INTRODUÇÃO

A agroecologia é uma ciência emergente que estuda os agroecossistemas, integrando conhecimentos de agronomia, ecologia, economia e sociologia (Altieri, 1989). Dentre seus princípios estão: biodiversidade, reciclagem de nutrientes, sinergia entre agricultura e criação de animais, construção da imundade dos sistemas e regeneração/conservação do solo e da água (Altieri, 1989; Altieri, 2000; Gliessman, 2001).

Os sistemas agroflorestais (SAF's) são sistemas agropecuários que apresentam um componente arbóreo ou lenhoso, que tem um papel fundamental em sua estrutura e função (Engel, 1999). Os SAF's podem ter alto grau de sustentabilidade porque propiciam serviços ecossistêmicos, como a provisão de alimentos, fibras e energia; a manutenção da biodiversidade; a provisão de madeiras; a estabilização do clima; a minimização de pragas e doenças; a purificação do ar e da água; a regulação do fluxo e da qualidade dos recursos hídricos; o controle da sedimentação; a manutenção da fertilidade do solo e da ciclagem de nutrientes; a decomposição de material orgânico; além de benefícios estéticos e culturais e possibilidades de lazer (May & Trovatto, 2008). Esses sistemas podem ser uma alternativa econômica viável para os agricultores familiares, pois permitem que alimentos, madeira e energia sejam produzidos no mesmo espaço, ao mesmo tempo em que se mantém a biodiversidade local.

A região da savana brasileira (Cerrado) constitui o segundo maior bioma com domínio morfoclimático do Brasil (Dias, 1992), sendo superada em área apenas pela Amazônia. De acordo com Eiten (1994), a região é detentora de grande diversidade biológica, sendo a formação savânica com maior diversidade vegetal do

mundo, especialmente no caso das espécies lenhosas. Infelizmente, este bioma foi bastante devastado nas últimas décadas: 45,5% de sua vegetação natural já não existem (Portal Brasil, 2016).

Grande parte dos solos da região é caracterizada por alta acidez (valores de pH entre 4,0 e 5,5); baixos valores de Capacidade de Troca de Cátions (CTC); teores de fósforo (P) extremamente baixos e mineralogia predominada por argilominerais de baixa atividade, como caulinita e gibbsita (Macedo, 1999). As espécies vegetais nativas presentes na região são adaptadas às condições de acidez e baixa fertilidade natural dos solos, nos quais a matéria orgânica é fundamental para a ciclagem de nutrientes e a elevação da CTC. Sabe-se que a matéria orgânica é componente chave da qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994), afetando positivamente seus atributos químicos, físicos e biológicos. Sem sua manutenção e adição constante, o uso dos solos do Cerrado se torna insustentável do ponto de vista ambiental. Assim, sistemas como os SAF's desempenham um importante papel na busca de sistemas agrícolas/agropecuários que permitam a produção de alimentos, sem degradar o solo; ao contrário, adicionando matéria orgânica e reciclando nutrientes.

Para manter a fertilidade do solo, reciclando e fornecendo nutrientes para as culturas, os adubos verdes, principalmente leguminosas, podem ser utilizados nas entrelinhas em pré-cultivo, antes do plantio das culturas econômicas. Crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC), mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* (Piper e Tracy) Merr.) e guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) são algumas das leguminosas mais utilizadas como adubo verde na região do Cerrado e, além de fixarem o nitrogênio atmosférico, são excelentes recicladoras e condicionadoras de solo.

Culturas anuais alimentares como o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e o milho (*Zea mays* L.), bem como culturas produtoras de energia, como o girassol (*Helianthus annuus* L.), o gergelim (*Sesamum indicum* L.) e o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) são promissoras para plantio das entrelinhas das árvores dos SAF's e podem ser cultivadas durante alguns anos, enquanto o sombreamento pela copa das árvores não for excessivo.

Este trabalho teve como objetivo acompanhar a fertilidade do solo em dois sistemas agrofloretais agroecológicos, cultivados com a sucessão de adubos verdes leguminosas e culturas alimentares (feijão e milho) ou leguminosas adubos verdes e culturas energéticas (girassol, gergelim e amendoim) no Estado de Goiás, região do Cerrado brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram estudados dois sistemas agrofloretais, um voltado para a segurança alimentar (SSA), em que foram cultivados feijão e milho nas entrelinhas das árvores, e outro voltado para a produção de energia (SPE), em que foram cultivados girassol, gergelim e amendoim nas entrelinhas das árvores. Os dois sistemas foram implantados em 2009 na Estação Experimental em Agroecologia (Fazendinha Agroecológica), área do Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão da EMBRAPA, situado na cidade Santo Antônio de Goiás (Estado de Goiás (GO), região Centro-oeste do Brasil), cujas coordenadas geográficas são: latitude 16° 28' 00" S, longitude 49° 17' 00" W e altitude de 823 m. O clima é Aw, tropical de savana, megatérmico, conforme classificação de Köppen. O regime pluvial é bem definido, com período chuvoso de outubro a abril e seco de maio a setembro, com precipitação média anual de 1485 mm. O solo é um Latossolo Vermelho, conforme a classificação Brasileira (EMBRAPA, 1999) e Rhodic Ferralssol, conforme classificação internacional (FAO, 1974). Trata-se de um solo altamente intemperizado, ácrico, de textura argilosa, com teores médios de 307 g kg⁻¹ de areia, 153 g kg⁻¹ de silte e 540 g kg⁻¹ de argila, na camada de 0,00-0,20 m. Antes da implantação dos experimentos foram aplicados 1620 kg ha⁻¹ de fosfato natural Arad (33% de P₂O₅) e 2000 kg ha⁻¹ de calcário em toda a área e incorporados com grade aradora.

Os dois sistemas agrofloretais, conduzidos em semeadura direta, foram compostos pelas seguintes espécies arbóreas, típicas do Cerrado Brasileiro, plantadas no espaçamento de 6 x 6 m: angico (*Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.), baru (*Dipteryx alata* Vog.), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), angelim (*Vatairea macrocarpa* (Benth) Ducke), pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), farinha seca (*Albizia hasslerii* (Chod.) Burkart.) e ingá (*Inga cylindrica* (Vell.) Mart).

O manejo das áreas em todos os anos de estudo seguiu a sucessão adubos verdes/culturas. No SAF SSA, entre as linhas de árvores eram semeadas em outubro cinco espécies de adubos verdes, a saber: crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), guandu gigante (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e mucuna preta (*Estilozobium aterrimum* Piper & Tracy) e uma parcela permanecia apenas com a vegetação espontânea, prática denominada "pousio". Em janeiro, após manejo das coberturas com rolo-faca, semeavam-se feijão e milho. No SAF SPE eram semeados em outubro os adubos verdes crotalária juncea e sorgo forrageiro e uma parcela permanecia apenas com a vegetação espontânea. Em janeiro eram semeadas as culturas gergelim, girassol e amendoim.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Nas entrelinhas das árvores, os tratamentos consistiram das combinações de adubos verdes mais pousio com as culturas principais e, nas linhas, consistiram das espécies arbóreas (Quadro 1).

Tratamento	SSA	SPE
Entrelinhas das árvores		
1	Crotalária/Milho	Sorgo/Gergelim
2	Feijão de porco/Feijão	Pousio/Girassol/Amendoim
3	Guandu/Milho	Pousio/Girassol/Amendoim
4	Sorgo/Feijão	Crotalária/Gergelim
5	Feijão de porco/Milho	Crotalária/Gergelim
6	Guandu/Feijão	Sorgo/Girassol/Amendoim
7	Crotalária/Feijão	Sorgo/Girassol/Amendoim
8	Pousio/Milho	Crotalária/Girassol/Amendoim
9	Sorgo/Milho	Pousio/Gergelim
10	Mucuna preta/Milho	Sorgo/Gergelim
11	Pousio/Feijão	Crotalária/Girassol/Amendoim
12	Mucuna preta/Feijão	Pousio/Gergelim
Linhas das árvores		
1	Angico/Baru	Angico/Baru
2	Aroeira/Baru	Aroeira/Baru
3	Aroeira/Cagaita	Aroeira/Cagaita
4	Cagaita/Angelim	Cagaita/Angelim
5	Angelim/Pequi	Angelim/Pequi
6	Pequi/Farinha seca	Pequi/Farinha seca
7	Ingá	Ingá

Quadro 1. Tratamentos avaliados nos sistemas agroflorestais voltados para a segurança alimentar (SSA) e para a produção de energia (SPE), em Santo Antônio de Goiás, GO.

As amostras de solo foram retiradas na profundidade de 0,0-0,20 m, em todos os tratamentos, entre e nas linhas de árvores, em todas as repetições, em outubro de 2009 (análise inicial utilizada como referência), novembro de 2012 e abril de 2015, no SSA, e em 2009 e 2015 no SPE. Os atributos químicos avaliados foram o pH do solo e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, P, K, Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} e matéria orgânica. Todas as análises foram realizadas segundo EMBRAPA (1997). O pH foi determinado em água. O Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos em solução de KCl a 1 mol L⁻¹, sendo os dois primeiros determinados por espectroscopia de absorção atômica e o último por titulometria. A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) também foi determinada por titulometria, usando solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ para sua extração. O potássio, o fósforo e os micronutrientes foram extraídos com a solução de Mehlich 1 e determinados por espectroscopia de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente. A matéria orgânica foi determinada por oxidação por solução sulfocrômica seguida de determinação por espectrofotometria. A classificação dos teores de nutrientes no

solo, bem como do pH e acidez potencial, foi feita com base nos trabalhos de Souza *et al.* (2008) e Freire (2003).

Para cada ano de amostragem, os dados relativos aos tratamentos, entre e nas linhas de árvores, foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Os tratamentos, em cada ano de amostragem, foram também comparados com a análise inicial do solo (2009), utilizada como referência, pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade. Além disso, no SSA realizou-se análise de componentes principais, para cada uma das posições de amostragem, envolvendo todos os anos e atributos em estudo, a partir da qual foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando escores dos componentes principais que explicam em torno de 80% da variação total, conforme recomendado por Cruz & Regazzi (1994). Adicionalmente, efetuou-se a análise de agrupamento pelo método de Ward, utilizando como medida de dissimilaridade a distância euclidiana média. As análises foram feitas com o auxílio do Programa R versão 3.0.2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sistema agroflorestal voltado para a segurança alimentar

- Entrelinhas das árvores

Os tratamentos não diferiram entre si quanto aos atributos químicos do solo nas amostragens feitas em 2012 e 2015, com exceção do teor de potássio na amostragem de 2012, em que o solo sob o tratamento pousio/feijão apresentou maior teor que o sob crotalária/milho (Quadro 2).

Com relação à análise inicial do solo (2009), em 2015 todos os tratamentos condicionaram menores teores de acidez potencial e cobre e maiores teores de matéria orgânica. Em alguns tratamentos verificaram-se maiores valores de pH e de magnésio e menores teores de ferro e manganês. Em 2012, todos os tratamentos também condicionaram maiores teores de matéria orgânica e, a maioria deles, condicionou maiores valores de pH. Em alguns tratamentos verificaram-se maiores teores de magnésio, potássio, ferro e manganês e menores teores de acidez potencial.

O aumento do valor do pH e do teor de magnésio, bem como a redução da acidez potencial são, possivelmente, resultados da aplicação de calcário após a análise inicial do solo e da complexação do alumínio pela matéria orgânica. Nas entrelinhas das árvores, o aumento dos teores de matéria orgânica está associado à deposição de resíduos vegetais sobre o solo, provenientes principalmente da fitomassa dos adubos verdes cultivados antes das culturas alimentares. Nos solos do Cerrado, os adubos verdes são uma importante fonte de adição de matéria orgânica ao solo (Alcântara *et al.*, 2000). Apesar de o teor de matéria orgânica, principal fonte de micronutrientes nos sistemas estudados ter aumentado, houve redução nos teores de cobre, ferro e manganês com o tempo. Possivelmente, isso ocorreu pelo fato de a liberação de micronutrientes pela mineralização da matéria orgânica ter ficado aquém da exportação dos mesmos pelas culturas do feijoeiro e do milho. De toda forma, os teores dos micronutrientes podem ser classificados como médio (Fe), médio a alto (Cu) e alto (Zn e Mn).

O teor de fósforo no solo em todos os tratamentos, após seis anos, não diferiu do teor inicial, mas vem diminuindo em valor absoluto e se encontra nas faixas "muito baixa" e "baixa". Segundo Sanches (1995), a habilidade para suprimento de P nos SAF's é muito limitada. Soma-se a isso o fato de que os solos altamente intemperizados da região do Cerrado apresentam, normalmente, teores muito baixos desse nutriente na solução do solo, bem como alta capacidade de retenção do P na fase sólida (Sousa & Lobato, 2003). O cálcio se encontra na faixa "média", o magnésio nas faixas "média" e "alta" e o potássio na faixa "alta", provavelmente, no caso de Ca e Mg, ainda como efeito da calagem realizada em 2009.

As diferenças entre os anos de amostragem e a análise inicial podem ser visualizadas de maneira global na Figura 1. Pela análise do dendrograma, observa-se a formação de dois grupos: um formado por todos os tratamentos na data de amostragem de 2015 (números 1 a 12) e outro formado por todos os tratamentos na data de amostragem de 2012 (números 13 e 24) mais a referência de 2009 (número 25). Constata-se, assim,

que após seis anos, todas as combinações de adubos verdes e culturas principais afetaram os atributos químicos em relação à análise inicial, de forma mais evidenciada pelo aumento do teor de matéria orgânica e pela diminuição da acidez potencial e do teor de cobre.

Tratamento	pH ¹	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	MO
Entrelinhas das árvores												
2015												
Crotalária/Milho	5,7	12,2	7,7	0,8	31,8*	3,0	109,5	0,9*	4,9	23,3	24,2	35,1*
Feijão de porco/Feijão	5,7	12,2	7,0	0,0	27,8*	5,3	104,3	1,0*	3,6	22,1	22,5	32,2*
Guandu/Milho	5,7	11,7	7,3	0,5	29,0*	3,2	100,0	0,8*	3,3	17,0*	19,5*	31,2*
Sorgo/Feijão	5,7	12,3	7,3	0,8	32,5*	3,2	114,5	0,8*	2,9	19,0*	19,7*	31,9*
Feijão de porco/Milho	5,7	12,5	8,2	0,5	32,8*	4,5	104,0	0,9*	4,0	22,9	20,7	34,0*
Guandu/Feijão	5,8*	12,9	8,8	0,3	26,8*	4,5	120,0	0,8*	3,1	21,1	20,1*	32,3*
Crotalária/Feijão	5,7	12,3	8,1	0,5	35,5	4,1	110,3	0,8*	3,4	19,9*	19,6*	33,8*
Pousio/Milho	5,9*	13,9	9,8*	0,0	26,3*	5,0	138,0	0,9*	4,8	24,3	22,4	33,6*
Sorgo/Milho	5,8*	14,9	9,7*	0,3	30,5*	2,9	123,8	0,8*	3,4	22,2	21,7	35,8*
Mucuna preta/Milho	5,7	14,4	8,7	0,3	30,8*	2,6	108,0	0,8*	4,0	22,7	22,1	35,1*
Pousio/Feijão	5,7	14,1	8,0	0,3	32,5*	2,4	133,8	0,7*	3,0	20,9	20,2*	36,0*
Mucuna preta/Feijão	5,7	14,1	7,5	0,5	34,8*	3,3	101,8	0,7*	3,9	20,2*	20,1*	33,5*
Média	5,7	13,1	8,2	0,4	30,9	3,7	114,0	0,8	3,7	21,3	21,0	33,7
2012												
Crotalária/Milho	5,6	12,9	6,5	0,5	46,5	4,6	84,0b*	1,9	4,3	33,3*	27,2*	27,1*
Feijão de porco/Feijão	5,8*	12,7	6,6	0,0	38,5	3,9	145,0ab	2,0	3,7	28,5	23,8	24,6*
Guandu/Milho	5,9*	14,2	7,6	0,3	32,8*	4,1	113,8b	1,8	3,7	27,6	26,0*	26,2*
Sorgo/Feijão	5,9*	14,4	7,8	0,0	37,8	4,1	137,3ab	1,8	3,7	27,4	25,4	24,5*
Feijão de porco/Milho	6,0*	12,7	7,1	0,0	34,8*	4,6	122,5b	1,8	3,8	29,4	23,1	24,4*
Guandu/Feijão	5,8*	12,8	7,5	0,5	40,0	4,2	125,3b	1,7	3,3	26,7	20,5	25,6*
Crotalária/Feijão	5,7	13,3	7,5	0,5	41,0	4,7	158,8ab*	1,7	3,9	26,3	23,7	27,0*
Pousio/Milho	6,0*	14,9	8,6*	0,3	39,5	4,9	116,5b	1,8	5,0	29,2	23,9	27,2*
Sorgo/Milho	6,0*	16,5	9,5*	0,0	36,3*	4,4	130,8ab	1,7	3,8	32,4	24,8	28,9*
Mucuna preta/Milho	6,0*	16,7	8,9*	0,0	37,5*	4,7	150,5ab*	1,9	5,1	29,7	23,9	28,7*
Pousio/Feijão	6,1*	14,3	8,4*	0,0	35,5*	3,0	226,3a*	1,6	4,3	24,5	21,1	26,1*
Mucuna preta/Feijão	5,8*	16,5	7,8	0,0	41,8	3,5	149,0ab	1,7	5,4	28,9	24,9	28,0*
Média	5,9	14,3	7,8	0,2	38,5	4,2	138,3	1,8	4,1	28,5	24,0	26,5
Linhas das árvores												
2015												
Angico/Baru	5,4	12,1	8,7*	1,0*	28,5*	3,2	144,0	1,1*	3,8	25,6	25,8	34,0*
Aroeira/Baru	5,5	13,2	9,2*	1,0*	24,5*	3,0	161,0	1,1*	4,4	24,6	24,5	33,8*
Aroeira/Cagaita	5,7	14,9	10,3*	0,5	26,5*	4,0	178,0	1,2*	3,9	27,7	25,7	35,9*
Cagaita/Angelim	5,6	13,3	9,0*	1,0*	25,8*	3,3	121,5	1,2*	3,3	28,5	22,7	35,9*
Angelim/Pequi	5,7	15,1	10,7*	0,5	24,5*	3,9	166,3	1,2*	4,0	27,8	25,4	35,0*
Pequi/Farinha seca	5,6	16,0	10,9*	0,8	27,5*	2,7	143,5	1,0*	3,7	24,0	24,0	41,9*
Ingá	5,5	17,2	11,1*	1,0*	27,5*	3,1	127,5	1,0*	5,0*	23,9*	27,6	39,2*
Média	5,6	14,5	10,0	0,8	26,4	3,3	148,8	1,1	4,0	25,7	25,1	36,5
2012												
Angico/Baru	5,7	11,3	6,5	0,4	44,0	4,2	87,9	1,9	3,4	27,7	27,1*	27,2*
Aroeira/Baru	5,9	12,9	7,8	0,5	37,8	4,4	91,0	2,0	3,6	27,0	25,3	26,5*
Aroeira/Cagaita	5,8	12,7	6,9	0,5	41,1	4,7	78,5	1,8	3,3	26,8	24,7	30,0*
Cagaita/Angelim	5,8	11,6	6,3	0,4	43,3	4,7	101,1	1,8	3,1	26,7	23,3	28,8*
Angelim/Pequi	6,0*	15,0	9,0*	0,3	41,3	5,5	127,8	1,7	4,3	27,0	26,9	30,2*
Pequi/Farinha seca	5,8	14,4	8,2	0,3	42,3	4,1	116,3	1,7	3,8	26,2	25,7	30,3*
Ingá	5,7	15,9	7,5	0,3	50,8	5,0	99,5	1,6	6,0	25,4	31,3*	25,8*
Média	5,8	13,4	7,5	0,4	42,9	4,6	100,3	1,8	3,9	26,7	26,3	28,4
2009												
Análise inicial	5,5	15,5	6,3	0,3	43,5	5,2	120,5	2,0	3,4	26,5	23,3	17,0

Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade e as médias seguidas de * diferem significativamente da referência (análise inicial), pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade.

¹pH: potencial hidrogeniônico; Ca, Mg, Al e H+Al: cálcio, magnésio, alumínio e acidez potencial, em mmol dm⁻³; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn: fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro e manganês, em mg dm⁻³, MO: matéria orgânica, em g kg⁻¹.

Quadro 2. Média dos atributos químicos na camada de 0-0,20 m do Latossolo Vermelho ácrico submetido a diferentes usos no sistema agroflorestal voltado para a segurança alimentar.

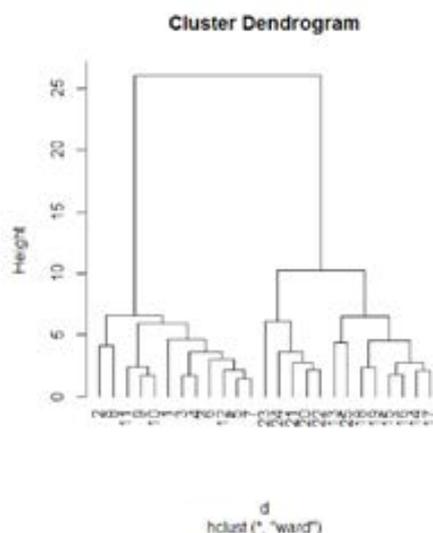


Figura 1. Dendrograma de agrupamento dos tratamentos. 1 a 12: Crotalária/Milho, Feijão de porco/Feijão, Guandu/Milho, Sorgo/Feijão, Feijão de porco/Milho, Guandu/Feijão, Crotalária/Feijão, Pousio/Milho, Sorgo/Milho, Mucuna preta/Milho, Pousio/Feijão, Mucuna preta/Feijão, amostras coletadas nas entrelinhas das árvores no sistema voltado para a segurança alimentar, em 2015; 13 a 24: mesmos tratamentos, amostras coletadas em 2012; 25: referência, coleta em 2009.

As produtividades de grãos de feijão e milho, cultivados nas entrelinhas das árvores após os diferentes adubos verdes e considerando todos os anos de experimento, foram, em média, 1.040 t/ha e 5.555 t/ha, respectivamente, o que representa bons rendimentos em sistemas agroecológicos no Cerrado.

- Linhas de árvores

Os tratamentos não diferiram entre si quanto aos atributos químicos nas amostragens feitas em 2012 e 2015 (Quadro 2). Com relação à referência (2009), em 2015 todos os tratamentos condicionaram menores teores de acidez potencial e cobre e maiores teores de magnésio e matéria orgânica. Em 2012, todos os tratamentos também condicionaram maiores teores de matéria orgânica.

Como discutido anteriormente, o aumento do pH e do teor de magnésio e a redução da acidez potencial são possíveis resultados da aplicação de calcário após a amostragem inicial e da complexação do alumínio pela matéria orgânica.

O aumento da matéria orgânica está associado aos resíduos vegetais adicionados ao solo, principalmente pela deposição de folhas e galhos das árvores. A formação dessa camada de restos vegetais, a serapilheira, e sua decomposição, são responsáveis pela transferência dos nutrientes para o solo, possibilitando sua reciclagem e retorno ao sistema (Schumacher *et al.*, 2004). A redução do teor de cobre com o passar dos anos, possivelmente foi consequência de a liberação desse micronutriente pela mineralização da matéria orgânica estar aquém de sua absorção pelas árvores.

As diferenças entre os anos de amostragem e a análise inicial do solo podem ser visualizadas de maneira global na Figura 2. Pela análise do dendrograma observa-se a formação de dois grupos, um formado por todos os tratamentos na data de amostragem de 2015 (números 1 a 7) e outro formado por todos os tratamentos na data de amostragem de 2012 (números 8 a 14) e mais a referência (número 15), constatando-se que, após seis anos, todos os arranjos arbóreos proporcionaram modificações nos atributos químicos do solo em relação à análise inicial. Os atributos mais diretamente responsáveis por esse agrupamento foram os teores de magnésio, acidez potencial, cobre e matéria orgânica.

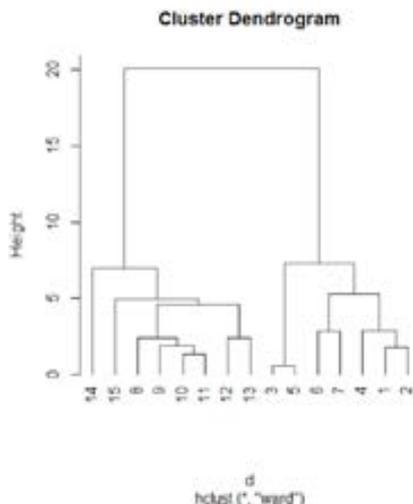


Figura 2. Dendrograma de agrupamento dos tratamentos. 1 a 7: Angico/Baru, Aroeira/Baru, Aroeira/Cagaita, Cagaita/Angelim, Angelim/Pequi, Pequi/Farinha seca, Ingá, amostras coletadas nas linhas das árvores no sistema voltado para a segurança alimentar, em 2015; 8 a 14: mesmos tratamentos, amostras coletadas em 2012; 15: referência, coleta em 2009.

Sistema agroflorestal voltado para a produção de agroenergia

- Entrelinhas das árvores

Os tratamentos não diferiram entre si quanto aos atributos químicos do solo, com exceção do teor de manganês, em que as amostras sob o tratamento sorgo/gergelim apresentaram maior teor do que aquelas sob crotalária/girassol/amendoim (Quadro 3).

Tratamento	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	MO
Entrelinhas das árvores												
2015												
Sorgo/Gergelim	5.6	11.4	7.2	0.5	27.8*	3.5*	117.0*	1.2*	4.0	19.6*	26.7a	35.8*
Pousio/Girassol/Amendoim	5.6	11.4	7.1	0.5	25.5*	3.1*	89.5	1.4*	4.0	17.3*	24.4ab	35.0*
Pousio/Girassol/Amendoim	5.6	10.6	6.5	0.8	27.0*	2.7*	80.0	1.5*	3.4	17.2*	24.0ab	32.0*
Crotalária/Gergelim	5.6	11.5	7.7	0.5	27.8*	3.1*	98.0	1.3*	3.6	17.6*	25.3ab	36.1*
Crotalária/Gergelim	5.6	10.9	7.2	0.5	30.3*	2.8*	87.0	1.2*	3.3*	17.7*	25.1ab	34.2*
Sorgo/Girassol/Amendoim	5.7*	10.2	6.6	0.5	29.3*	2.1*	84.5	1.6*	3.0*	18.7*	22.7ab	32.1*
Sorgo/Girassol/Amendoim	5.5	9.1*	5.8	0.8	30.5*	2.3*	86.0	1.6*	2.6*	17.1*	22.4ab	33.8*
Crotalária/Girassol/Amendoim	5.4	7.1*	4.8*	1.0	25.0*	2.2*	91.0	1.7*	2.5*	16.9*	18.9b*	32.2*
Pousio/Girassol/Amendoim	5.4	8.3*	5.7	1.0	28.3*	2.7*	86.0	1.3*	3.2*	18.3*	23.4ab	34.8*
Sorgo/Gergelim	5.4	9.2*	5.9	1.0	26.5*	3.0*	103.0	1.3*	3.7	19.2*	22.9ab	35.0*
Crotalária/Girassol/Amendoim	5.5	9.6*	6.1	1.0	25.0*	2.4*	106.6	1.3*	3.6	12.6*	21.4ab	34.3*
Pousio/Girassol/Amendoim	5.5	11.4	6.8	0.5	31.0*	3.1*	101.0	1.1*	4.0	16.7*	25.1ab	36.2*
Média	5.5	10.1	6.4	0.7	27.8	2.7	94.1	1.4	3.4	17.4	23.5	34.3
Linhas das árvores												
2015												
Angico/Baru	5.4	9.7*	7.0	1.0	29.5*	2.9*	108.8	1.3*	3.8	18.7*	29.1*	31.3*
Aroeira/Baru	5.6	12.0	8.8	0.3	25.3*	2.9*	164.3*	1.2*	3.4*	16.3*	26.0	31.4*
Aroeira/Cagaita	5.7*	13.5	9.1*	0.3	25.3*	2.4*	128.0	1.2*	3.5	17.3*	29.1*	33.3*
Cagaita/Angelim	5.7*	10.5	7.1	0.3	31.3*	2.1*	146.5*	1.2*	2.7*	18.9*	25.0	30.3*
Angelim/Pequi	5.6	10.2*	7.6	0.8	28.5*	3.0*	144.0*	1.2*	3.3*	19.6*	25.2	33.4*
Pequi/Farinha seca	5.4	10.9	7.4	0.8	24.5*	2.8*	123.0	1.1*	3.6	17.2*	25.6	33.2*
Ingá	5.6	11.9	8.1	0.8	32.8*	3.4*	164.0*	1.2*	4.2	18.1*	25.7	33.6*
Média	5.6	11.2	7.9	0.6	28.1	2.8	139.8	1.2	3.5	18.0	26.5	32.4
2009												
Análise inicial	5.4	13.3	6.3	0.5	44.0	5.2	85.5	2.3	4.2	28.3	23.3	16.5

Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade e as médias seguidas de * diferem significativamente da referência (análise inicial), pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade.
 *pH: potencial hidrogeniônico; Ca, Mg, Al e H+Al: cálcio, magnésio, alumínio e acidez potencial, em mmol dm⁻³; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn: fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro e manganês, em mg dm⁻³; MO: matéria orgânica, em g kg⁻¹.

Quadro 3. Média dos atributos químicos na camada de 0-0,20 m do Latossolo Vermelho ácrico submetido a diferentes usos no sistema agroflorestal voltado para a produção de energia.

Com relação à análise inicial do solo (2009), todos os tratamentos condicionaram menores teores de acidez potencial, fósforo, cobre e ferro, e maiores teores de matéria orgânica. Em alguns tratamentos, verificaram-se maiores valores de pH e potássio e menores teores de cálcio, magnésio, zinco e manganês.

O aumento do valor do pH e a redução da acidez potencial possivelmente são decorrentes da aplicação de calcário após a análise inicial do solo e da complexação do alumínio pela matéria orgânica. O aumento da matéria orgânica está associado aos resíduos dos adubos verdes adicionados ao solo. A redução no teor de fósforo é consequência da não reposição do fósforo retirado pelas culturas nos experimentos ao longo dos anos, visto que não houve aplicação de nenhum fertilizante orgânico ou organomineral durante o período do estudo. Infere-se que a ciclagem de nutrientes realizada pelos adubos verdes não foi suficiente para compensar a exportação do fósforo pelos grãos das culturas e sua adsorção ao solo. Da mesma forma, a redução dos teores de cálcio e magnésio em alguns tratamentos se deve, provavelmente, ao desequilíbrio entre sua ciclagem pelos adubos verdes e sua exportação pelos grãos das culturas.

Após seis anos, o teor de fósforo no solo se encontra nas faixas "muito baixa" e "baixa", o cálcio se encontra na faixa "baixa", o magnésio na faixa "média" e o potássio na faixa "alta".

A redução nos teores dos micronutrientes possivelmente foi consequência de sua liberação pela mineralização da matéria orgânica ter permanecido aquém de sua exportação pelas culturas girassol, gergelim e amendoim, apesar de o teor de matéria orgânica, principal fonte desses micronutrientes, ter aumentado. O teor dos micronutrientes pode ser classificado como baixo a médio (Fe) e alto (Cu, Zn e Mn).

Nos sistemas agroecológicos, o manejo do solo prioriza práticas de rotação, sucessão e consórcio de culturas que adicionem matéria orgânica ao solo, por meio do uso de plantas de cobertura ou adubos verdes, associando-se essas práticas ao uso de fertilizantes orgânicos, ou mesmo organominerais, que forneçam nutrientes de forma adequada aos cultivos (Alcântara & Madeira, 2007). Exatamente essa associação de práticas, a adubação verde com a adubação orgânica, por meio de estercos, compostos ou biofertilizantes, é que deve ser feita nos SAFs, tanto para segurança alimentar quanto para culturas produtoras de energia, a fim de garantir a reposição dos nutrientes exportados pelas colheitas de grãos. No presente estudo, detectou-se a necessidade de proceder a essa associação nos anos vindouros.

Apenas a título de informação, as produtividades de grãos de gergelim, girassol e amendoim, cultivados nas entrelinhas das árvores após os diferentes adubos verdes e considerando todos os anos de experimento, foram, em média, 1.071 t/ha, 1.065 t/ha e 888 t/ha, respectivamente, o que respresenta bons rendimentos em sistemas agroecológicos.

- Linhas de árvores

Os tratamentos não diferiram entre si quanto aos atributos químicos (Quadro 3). Com relação à análise inicial do solo, todos os tratamentos condicionaram menores teores de acidez potencial, fósforo, cobre e ferro, e maiores teores de matéria orgânica. Em alguns tratamentos verificaram-se maiores valores de pH, magnésio, potássio e manganês e menores teores de cálcio e zinco.

O aumento do valor do pH e do teor de magnésio e a redução da acidez potencial são, como dito anteriormente, possíveis efeitos da aplicação de calcário após a análise inicial do solo e da complexação do alumínio pela matéria orgânica. A deposição de resíduos vegetais ao solo está associada ao aumento do teor de matéria orgânica. A redução no teor de fósforo é consequência da não adubação dos experimentos ao longo dos anos, inferindo-se que a ciclagem pelas plantas espontâneas e serapilheira nas linhas não foi suficiente para compensar a absorção do fósforo pelas árvores e sua adsorção ao solo. Como dito anteriormente, o P é um nutriente que apresenta baixos teores e baixa disponibilidade nos solos intemperizados do Cerrado. A redução nos teores de cálcio em alguns tratamentos provavelmente deve-se ao desequilíbrio entre sua ciclagem pelas plantas espontâneas e pela serapilheira e sua absorção pelas árvores. As árvores nativas do Cerrado são adaptadas à baixa fertilidade dos solos da região. No entanto, a ciclagem via serapilheira, dependendo das condições do solo, pode não ser suficiente para garantir o máximo potencial de desenvolvimento das árvores (Haridasan, 2000).

A redução nos teores dos micronutrientes possivelmente foi consequência de uma liberação pela mineralização da matéria orgânica aquém da absorção pelas árvores, apesar de o teor de matéria orgânica, principal fonte desses micronutrientes, ter aumentado.

CONCLUSÕES

1. De maneira geral, após seis anos de cultivo, as diversas combinações de adubos verdes e culturas principais, bem como os diversos arranjos arbóreos, não diferiram entre si quanto aos seus efeitos nos atributos químicos do solo, tanto no sistema agroflorestal voltado para a segurança alimentar, quanto no sistema voltado para a produção de energia.

2. As diversas combinações de adubos verdes e culturas principais e os arranjos arbóreos elevaram o teor de matéria orgânica em relação à condição inicial, nos dois sistemas agroflorestais estudados.

3. Em geral, a ciclagem dos nutrientes pelos adubos verdes não foi suficiente para a manutenção do teor dos macro e micronutrientes do solo, com exceção do magnésio e do potássio. Isto demonstra a necessidade de associar a adubação verde com a aplicação de fertilizantes orgânicos ou organominerais, de forma a repor nutrientes ao solo, exportados pela colheita dos grãos das diferentes culturas estudadas.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela concessão de auxílio financeiro para participação no "XII Congresso SEAE - Sociedad Española de Agricultura Ecológica/ Agroecología".

REFERÊNCIAS

- Alcântara FA, Furtini Neto AE, Paula M, Mesquita H, Muniz JA. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35, 277-288.
- Alcântara FA, Madeira NR. 2007. Manejo do Solo. In: GP Henz, FA Alcântara, FV Resende (Eds). *Produção orgânica de hortaliças: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 99-112.
- Altieri MA. 1989. *Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa*. 2. ed. Rio de Janeiro: PTA- FASE. 240 p.
- Altieri MA. 2000. *Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 114 p. (Síntese universitária, 54).
- Cruz CD, Regazzi AJ. 1994. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. 390p.
- Dias BFS. 1992. Cerrados: uma caracterização. In: BFS Dias (Ed). *Alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis*. Brasília: FUNATURA/IBAMA, 11-25.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality. In: JW Doran, DC Coleman, DF Bezdicek, BA Stewart (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 3-22. (Publication Number, 35)
- Eiten G. 1994. Vegetação do cerrado. In: MN Pinto (Org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2.ed.rev. ampl. Brasília: Universidade de Brasília/SEMATEC, 17-73.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1997. *Manual e métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 212p.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: EMBRAPA. 412p.
- Engel VL. 1999. *Introdução aos sistemas agroflorestais*. Botucatu: FEPAF. 70p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1974. *Soil map of the world: 1:5.000.00 legend*. Paris: UNESCO. v1. 59p.
- Freire FM. 2003. *Interpretação de resultados de análise de solo*. Sete Lagoas: EMBRAPA. 4p. (Comunicado Técnico, 82).
- Gliessmann SR. 2001. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 658 p.
- Haridasan M. 2000. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12, 54-64.
- Macedo J. 1996. Os Solos da Região dos Cerrados. In: VH Alvarez, LE Fontes, MP Fontes (Eds.) *O Solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS; UFV, 135-156p.
- May PH, Trovatto CMM. 2008. *Manual agroflorestal para a Mata Atlântica*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário. 196p.

- Portal Brasil. Governo Brasileiro. Publicado em 25/11/2015. <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/cerrado-brasileiro-tem-54-5-da-vegetacao-preservada>. Acesso em 09/06/2016.
- Sanches PA. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry System* 30, 5-55.
- Schumacher MV, Brun EJ, Hernandes JI, König FG. 2004. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. *Revista Árvore* 28, 29-37.
- Sousa DMG, Lobato E. 2003. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba: POTAFOS. 16p. (Informações agronômicas, 102)
- Sousa DMG, Lobato E, Goedert WJ. 2008. Manejo da fertilidade do solo no cerrado. In: ACS Albuquerque, AG Silva. *Agricultura Tropical*, vol. 2. Utilização Sustentável dos recursos naturais. Brasília: EMBRAPA. 203-206p.