

# As coberturas florestais e a recuperação da fertilidade de Solos Ferralíticos de Angola

## Forestry covers and fertility recover in Ferrallitic Soils from Angola

Manuel Madeira<sup>1\*</sup>, Rui Pinto Ricardo<sup>2</sup> e António Gonçalves Neto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 1349-017, Lisboa, e-mail: \*mavmadeira@isa.ulisboa.pt, autor para correspondência

<sup>2</sup>Professor Catedrático Jubilado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

<sup>3</sup>Estação Experimental Agrícola de Malange, Instituto de Investigação Agronómica, Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural, Angola, e-mail: agneto6@hotmail.com

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15142>

Recebido/Received: 2015.06.15

Aceite/Accepted: 2015.09.15

### RESUMO

Estudaram-se os efeitos de diferentes sistemas florestais “mata de panda” (MP), *Pinus patula* (PP), *Eucalyptus grandis* (EG) e *Grevillea robusta* (GR) instalados entre 1965 e 1968 na Estação Experimental Agrícola da Chianga (Huambo, Angola), em características químicas de Solos Ferralíticos até à profundidade de 30 cm, relativamente a áreas ocupadas por cultura agrícola tradicional. Apenas as áreas com EG e GR determinaram melhorias apreciáveis na reacção, no teor de carbono orgânico, na concentração de catiões de troca não ácidos extraíveis e na capacidade de troca catiónica efectiva do solo, geralmente até 10 cm de profundidade. A “mata de panda” mostrou influência muito menos acentuada e o efeito das formações de PP foi reduzida. A capacidade de recuperação da fertilidade dos solos mostrou-se associada à natureza da cobertura florestal, mas também à natureza dos próprios solos. Os resultados também indicam que a baixa capacidade de retenção de catiões dos solos no Planalto Central de Angola pode ser aumentada pela correcção da acidez e pelo acréscimo do teor de matéria orgânica.

**Palavras-chave:** alumínio, cálcio, capacidade de troca catiónica efectiva, carbono orgânico, reacção do solo

### ABSTRACT

Effects of different forestry covers - “mata de panda” (MP), *Pinus patula* (PP) *Eucalyptus grandis* (EG) and *Grevillea robusta* (GR) - installed between 1965 and 1968 in the Estação Experimental Agrícola da Chianga (Huambo, Angola), on chemical properties of Ferrallitic Soils were assessed up to 30 cm depth, as compared to those observed in nearby conventional agricultural fields. Only the soils of the areas with EG and GR showed a clear improvement in their reaction, content of organic carbon and of extractable non-acid cations and effective cation exchange capacity, usually up to 10 cm depth. The improvement associated with “mata de panda” was less pronounced and that of PP plantations was negligible or nil. The recover capacity of soil fertility may depend on the nature of tree cover as well as on the soil characteristics itself. Results also indicate that the low soil capacity to retain cations exhibited by soils of the Planalto Central of Angola can be increased through both acidity correction and increasing the content of soil organic matter.

**Key-words:** aluminium, calcium, effective cation exchange capacity, organic carbon, soil reaction

### Introdução

Os solos predominantes no Planalto Central de Angola correspondem genericamente aos Solos Ferralíticos vermelhos e amarelos (MPA, 1961), cujas características correspondem genericamente à Ordem dos Oxissolos (SSS, 2010) ou ao Grupo Principal dos Ferralsolos (WRB, 2006). Os Solos Ferralíticos

caracterizam-se por uma baixa reserva mineral (CEP, 1995), mas que, ainda assim, pode apresentar alguma variabilidade (Teixeira *et al.*, 2006), correspondendo a teores muito baixos de Ca e de Mg de troca (Sertoli, 2009; Madeira e Ricardo, 2015). De facto, vários estudos relatam que os Solos Ferralí-

*ticos* apresentam fortes deficiências de nutrientes (Dias, 1962; Xabregas, 1966; Asanzi *et al.*, 2006; Dias *et al.*, 2006; Ucuassapi, 2006), como aliás é considerado para a generalidade dos *Oxissolos* ou *Ferralsolos* (Van Wambeke, 1992; Sanchez e Logan, 1997; Anda *et al.*, 2013) das regiões tropicais húmidas. O sistema tradicional de agricultura (“shifting cultivation” - sistema “slash and burn”), implicando o abate da floresta ou da savana e o subsequente aproveitamento agrícola, intercalado por longos períodos de pousio, é considerado o sistema adaptado a tais solos (Nye e Greenland, 1960; Smaling *et al.*, 1997). Porém, o encurtamento e, nomeadamente, a eliminação do pousio são consideradas causas determinantes do agravamento da degradação dos solos das áreas tropicais húmidas, principalmente no que respeita ao decréscimo do teor de matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes (Nye e Greenland, 1960; Alegre *et al.*, 1986; Sanchez *et al.*, 1997). Tal circunstância está intimamente associada à pressão sobre o uso terra, por sua vez determinada pela degradação da fertilidade do solo e pelo crescimento demográfico (Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992).

Considera-se que a qualidade do solo das áreas afectadas pelo sistema de agricultura tradicional poderá ser parcialmente recuperada pela facilitação do desenvolvimento da mata secundária (sistema “shifting cultivation”), desde que tal decorra durante um período suficientemente longo (Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992), ou por sistemas agroflorestais que tendam a melhorar o ciclo de nutrientes (Kang *et al.*, 1990; Brady e Weil, 2008), incluindo o sistema “alley cropping” (Muondo, 2013) e ainda a aplicação de resíduos orgânicos (Kimetu *et al.*, 2008). A reinstalação da floresta ou da savana durante o período de pousio permite que a vegetação natural recupere, pelo menos parcialmente, a qualidade do solo pela adição de resíduos orgânicos, pela transferência de nutrientes das camadas profundas para a superfície do solo e pela fixação simbiótica de azoto atmosférico (Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992; Brady e Weil, 2008). As modificações no horizonte superficial do solo e a acumulação de nutrientes na biomassa da vegetação arbórea e arbustiva permitem que o solo possa ser cultivado durante um curto período, a que se segue um novo período de pousio (Nye e Greenland, 1960; Van Wambeke, 1992). Neste contexto afigura-se de grande importância o conhecimento da capacidade de recuperação da fertilidade dos *Solos Ferralíticos* com cobertura florestal natural.

Neste âmbito, na sequência do desenvolvimento de uma dissertação de doutoramento, enquadrada num programa de formação avançada entre o Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Angola e o Instituto Superior de Agronomia, foi desenvolvido um estudo que visou a avaliação da capacidade de recuperação de algumas características de *Solos Ferralíticos* (vermelhos e amarelos) – os solos predominantes na Estação Experimental Agrícola da Chianga (Huambo) –, após um longo período (mais de 40 anos) de cobertura por várias espécies florestais (nativas e exóticas), considerando como referência as respectivas áreas adjacentes, desde há muito utilizadas com culturas agrícolas tradicionais (nomeadamente o milho) ou abandonadas devido à baixíssima produtividade. Para o efeito consideraram-se algumas características químicas do solo, nomeadamente a reacção do solo, o teor de carbono orgânico, as características do complexo de troca (catiões não ácidos e alumínio extraíveis) e o teor de fósforo e potássio extraíveis.

Considerou-se a hipótese de que as várias formações florestais naturais ou exóticas instaladas na aludida Estação da Chianga, desde meados dos anos sessenta, poderão ter tido um efeito positivo nas características de *Solos Ferralíticos* degradados pelo sistema de uso agrícola - redução e eliminação do período de pousio e reduzida ou nula aplicação de fertilizantes -, nomeadamente no que respeita ao teor de matéria orgânica e à disponibilidade de nutrientes. Também se considerou a hipótese de que o grau dessa recuperação poderá depender da natureza das espécies arbóreas consideradas. Os resultados do presente estudo consideram-se de grande alcance para a avaliação do período de retorno necessário para a recuperação de algumas características do solo, bem como para o delineamento de estratégias de utilização sustentada dos *Solos Ferralíticos* do Planalto Central de Angola.

## **Materiais e métodos**

### **Área de estudo**

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental Agrícola da Chianga (EEAC), do Instituto de Investigação Agronómica (IIA), localizada no Planalto Central de Angola, Província do Huambo, a uma altitude média de 1700 m (12°14' e 12°16' S; 15°48 e 15° 52' E), com uma área de 2550 ha. A precipitação média anual na área da Chianga é de cerca de 1400

mm; o período das chuvas ocorre entre os meses de Setembro e de Maio, sendo o de Março geralmente o mais chuvoso (238 mm). A temperatura média anual do ar é de 19°C e os valores médios mensais variam entre 16,7°C em Junho e 21,1°C em Setembro. A humidade relativa média anual varia entre 60 e 70%, assinalando-se os máximos em Janeiro (75 a 80%). Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo Cwb, isto é, clima temperado com inverno seco e verão quente (Manuel, 2013).

O relevo é plano a aplanado e os solos predominantes foram classificados como *Solos Ferralíticos* amarelos e vermelhos (MPA, 1961). Os dois tipos de solos apresentam algumas diferenças devidas ao facto dos *Solos Ferralíticos* vermelhos se desenvolverem primordialmente sobre rochas não quartzíferas correspondentes a sienitos nefelínicos e a rochas piroclásticas (brechas e tufos vulcânicos), ao passo que os *Solos Ferralíticos* amarelos se desenvolvem genericamente sobre rochas ácidas eruptivas ou cristalofílicas quartzíferas (Nogueira, 1970).

Consideraram-se diferentes ecossistemas florestais: plantações de *Pinus patula* Schiedle ex Schldl. & Cham., de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. (associada anteriormente a cafeeiros), de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e formações de espécies representativas da “mata de panda” (para simular o efeito da regeneração da mesma), incluindo entre outras as espécies *Brachystegia spiciformis* Benth., *Brachystegia tamarindoides* Benth. sbsp. *microphylla* (Harms), *Julbernardia paniculata* (Benth.) Troupin e *Isoberlinia angolensis* (Benth.) Hoyle & Brenan; qualquer destes ecossistemas foi comparado com as respectivas áreas agrícolas adjacentes, correspondendo maioritariamente à cultura do milho.

A plantação de *Pinus patula* (PP) – localizada numa área de *Solos Ferralíticos* amarelos - foi instalada em 1965 num compasso muito apertado (2 m x 3 m). Embora bastantes árvores tenham sido abatidas, aquando da amostragem, na maior parte da área não ocorria vegetação herbácea e arbustiva e o solo estava totalmente coberto por camadas orgânicas (1-2 cm de espessura) devido à acumulação de resíduos da parte aérea das árvores. A área com a cultura de milho adjacente encontrava-se abandonada há dois anos devido à baixa produtividade que localmente é atribuída à reacção ácida do solo.

A instalação da “mata de panda” (MP) – também numa área de *Solos Ferralíticos* amarelos - remonta

a 1968 e a formação (bastante próxima das formações naturais) apresentava espécies de porte arbóreo e arbustivo; o estrato herbáceo era reduzido e a camada orgânica era insignificante. A área agrícola limítrofe foi utilizada para a cultura de amendoim até 1973, sendo posteriormente objecto de cultura de milho a partir de 2007; esta cultura também foi abandonada devido à baixa produtividade que também é atribuída à reacção ácida do solo.

A plantação de *Eucalyptus grandis* (EG) – em área de *Solos Ferralíticos* vermelhos - foi também instalada em 1968 e já se apresentava bastante aberta e invadida por gramíneas; a camada orgânica também mostrava uma expressão mínima. Na área confinante à plantação, a cultura de milho (praticada intermitentemente desde os anos sessenta) consociada com mandioca e feijão, estava em fim de lavra (quatro anos); têm sido aplicados fertilizantes (em geral 12-24-12), em dose desconhecida.

O coberto de *Grevillea robusta* (GR) – em *Solos Ferralíticos* vermelhos -, igualmente instalada em 1968, apresentava-se bastante denso e o sob coberto era composto por vegetação herbácea e arbustiva; a acumulação de resíduos orgânicos na superfície do solo era pouco expressa. A área de cultura de milho confinante (desde 1980), não obstante a aplicação de fertilizantes 12-24-12 e 17-17-17 (em geral 250 kg/ha) e de cobertura primeiramente com sulfato de amónio (1980) e ultimamente com ureia (1982) apresentava um fraco desenvolvimento e estava dominada por infestantes, cujo controlo tem sido feito irregularmente por sachas ao longo do ciclo vegetativo.

### Amostragens

O estudo iniciou-se em Setembro de 2009 através de uma amostragem retrospectiva (por sondagem) ao longo de linhas paralelas nas áreas limítrofes dos pares de sistemas objecto de estudo. As amostragens em cada área de estudo efectuaram-se ao longo de duas linhas paralelas ao limite dos ecossistemas (florestal e agrícola), distanciadas aproximadamente 40 metros; e em cada um dos locais de amostragem nessas linhas, delimitou-se uma área de 1 m<sup>2</sup>, onde se colheram cinco amostras (em cada um dos vértices e no centro do quadrado) para cada nível de profundidade considerado (0-10, 10-20 e 20-30 cm), as quais foram misturadas, originando uma amostra composta.

Na área da plantação de PP colheram-se amostras em onze locais de cada um dos sistemas; na área

da MP amostraram-se catorze locais em cada um dos sistemas; na área de GR amostraram-se nove locais em cada um dos sistemas; na área da plantação de EG amostraram-se doze locais em cada um dos sistemas.

Em qualquer dos casos as amostras do solo foram secas ao ar e crivadas por um crivo de 2 mm (no Laboratório de Solos da EEAC, do IIA). As amostras foram colocadas em sacos devidamente etiquetados para o posterior processamento analítico no Instituto Superior de Agronomia.

### Métodos analíticos

O pH foi determinado com um potenciómetro Metrohm 632 em H<sub>2</sub>O e em KCl 1M, em suspensões com razão solo: solução de 1:2,5. As suspensões foram agitadas manual e intermitentemente durante uma hora.

O carbono orgânico foi determinado por via húmida pelo método descrito por De Leenheer e Van Hove (1958).

Os catiões de troca não ácidos (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>) dos solos em estudo foram extraídos com uma solução de acetato de amónio 1M ajustada a pH 7 (100 mL/10 g), seguindo a metodologia descrita por Póvoas e Barral (1992). Esses catiões de troca foram doseados por espectrofotometria de absorção atómica (EAA, espectrofotómetro Perkin Elmer Analyst 300).

A acidez extraível e o alumínio extraível obtiveram-se por agitação de 10 g de solo em 100 mL de KCl 1 M durante 1 hora, em agitador rotativo. A acidez extraível determinou-se por titulação com NaOH 1M. O Al foi doseado por EAA num espectrofotómetro Perkin Elmer Analyst 300, e o hidrogénio por titulação. O grau de saturação em alumínio (*sensu* Sanchez, 1976) foi determinado pelo cociente entre a concentração de Al<sup>3+</sup> extraível e a soma deste com a dos catiões de troca não ácidos. A capacidade de troca catiónica efectiva foi determinada de modo aproximado pela soma das concentrações dos catiões de troca não ácidos com a do alumínio extraível.

O fósforo extraível pelo teste de Olsen obteve-se a partir de 2,5 g de solo e 50 mL de uma solução de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 M (pH aproximadamente de 8,5), após agitação durante 1 hora em agitador rotativo (Olsen e Sommers, 1992). O fósforo e potássio ex-

traíveis pelo teste de Egnér-Riehm foram obtidos a partir de 2,5 g de solo e 50 mL de uma solução de lactato de amónio e ácido acético por agitação durante 2 horas num agitador rotativo. O fósforo foi determinado por colorimetria segundo o método de Murphy e Riley adaptado por Watanabe e Olsen (1965) por espectrofotometria num espectrofotómetro de U.V./visível, num comprimento de onda de 882 nm; o potássio foi determinado por EAA (espectrofotómetro Perkin Elmer Analyst 300).

### Métodos estatísticos

Para a organização geral dos dados e elaboração das figuras utilizou-se o programa *Microsoft Excel*, versão 7.0. O tratamento estatístico, bem como as correlações entre os diferentes parâmetros considerados, foram efectuadas com recurso ao *Package Statistica for Windows version 6.0*.

## Resultados

### Reacção do solo

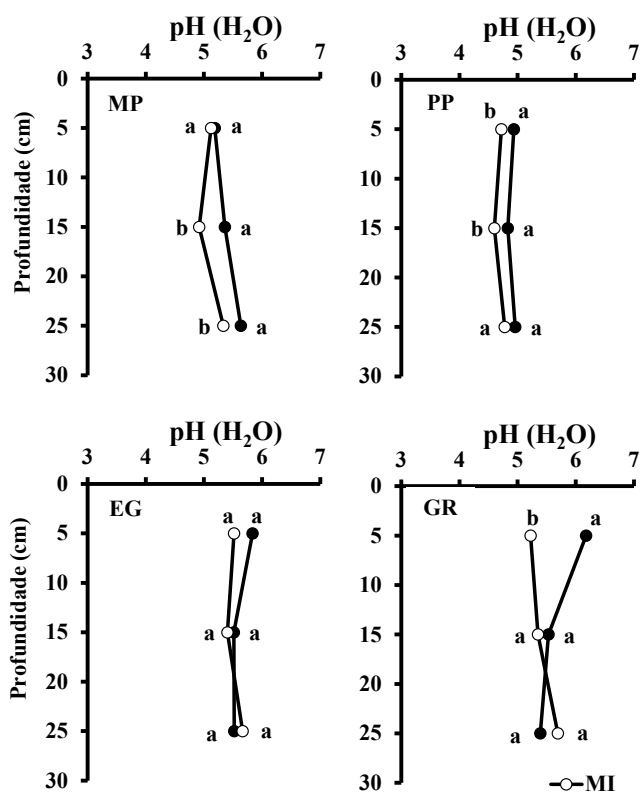
Os valores de pH em H<sub>2</sub>O no solo da MP foram superiores aos observados na cultura de milho, mas apenas nas camadas 10-20 e 20-30 cm foram significativamente diferentes (Figura 1). Padrão semelhante foi observado entre o solo com PP e o solo da cultura agrícola adjacente, ocorrendo as diferenças significativas até 20 cm de profundidade; a reacção do solo desta área era ligeiramente mais ácida do que na área anterior.

A reacção do solo da plantação de EG era menos ácida do que nas duas áreas anteriores. Até à profundidade de 20 cm, os valores de pH foram superiores (5,51-5,88) aos observados no solo com milho (5,41-5,52); pelo contrário, na camada de 20-30 cm foram mais elevados na área da cultura de milho do que na de EG. Os valores de pH na camada de 0-10 cm foram significativamente superiores na área de GR (6,18) do que na de milho (5,44); na camada de 10-20 cm a diferença foi muito atenuada e no caso da camada 20-30 cm os valores foram mais baixos no solo da plantação de GR do que no da cultura de milho.

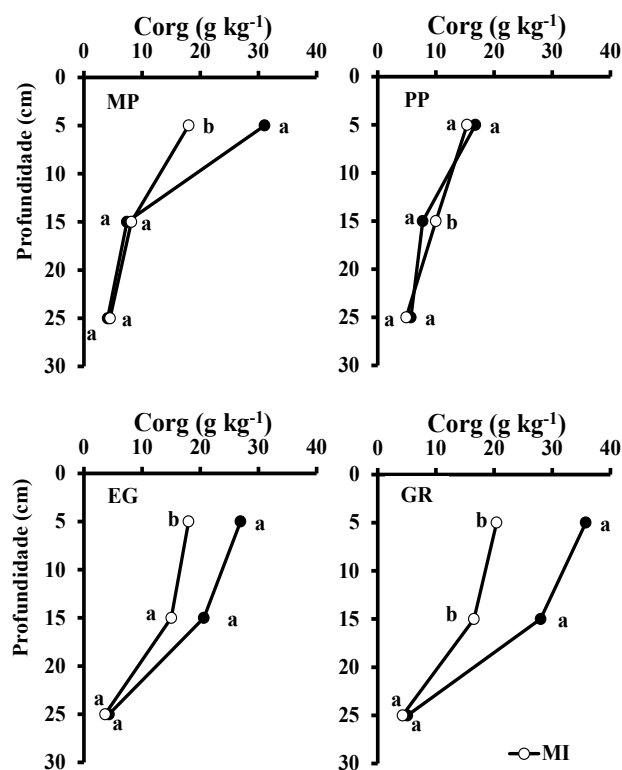
Os valores de pH em KCl (Quadro 1), fora pequenas diferenças, apresentaram diferenciação semelhante à observada para os determinados em água.

### Carbono orgânico

A concentração de C orgânico no solo com PP era da ordem de grandeza da determinada na área de



**Figura 1** - Valores de pH em H<sub>2</sub>O nos solos de “mata de panda” (MP) e de plantações de *P. patula* (PP), *E. grandis* (EG) e *G. robusta* (GR) e nos da cultura de milho (MI) adjacente. Letras diferentes para cada profundidade indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.



**Figura 2** - Teor de C orgânico (Corg) nos solos de “mata de panda” (MP) e de plantações de *P. patula* (PP), *E. grandis* (EG) e *G. robusta* (GR) e nos da cultura de milho (MI) adjacente. Letras diferentes em cada profundidade indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

milho (Figura 2); na profundidade de 10-20 cm era inclusivamente significativamente mais baixa do que no solo da cultura agrícola. Pelo contrário, nos outros sistemas florestais a concentração de C orgânico na camada de 0-10 cm do solo era significativamente mais elevada do que nas áreas agrícolas adjacentes; ressalta-se ainda o facto da área de GR apresentar o valor mais elevado dessa concentração nas camadas de 0-10 (35,8 g kg<sup>-1</sup>) e de 10-20 cm (28,0 g kg<sup>-1</sup>), sendo na segunda também significativamente mais elevada do que na área agrícola. Nas áreas de EG e GR, a concentração na camada 10-20 cm era superior (15,0 e 28,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente) à observada nos outros sistemas florestais (7,39-9,98 g kg<sup>-1</sup>). Na camada de 20-30 cm, os teores de C orgânico foram muito menores do que nas anteriores e da mesma ordem de grandeza nos diferentes sistemas.

#### Catiões de troca não ácidos

A concentração de Ca<sup>2+</sup> de troca na camada de 0-10 cm do solo da MP foi inferior à observada na área agrícola, mas a diferença não era significativa

(Quadro 1); na área de EG a diferença também não era significativa, mas a concentração era maior na área florestal do que na agrícola. Essa concentração foi significativamente maior no solo da área de GR (7,82 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) do que no da cultura de milho (1,84 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Embora o mesmo padrão se tenha verificado na área de PP, as concentrações eram muito menores: 0,32 e 0,09 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente na área florestal e na área agrícola. Nas camadas inferiores não se observaram diferenças significativas, excepto na área de GR, onde a concentração de Ca<sup>2+</sup> foi significativamente menor do que na área agrícola adjacente.

As concentrações de Mg<sup>2+</sup> de troca na camada de 0-10 cm foram significativamente mais elevadas nas áreas florestais do que nas respectivas áreas agrícolas adjacentes, mormente nas áreas com plantações de EG e de GR. Além disso, as concentrações diferenciavam-se fortemente entre as diversas áreas, atingindo o valor mais baixo na área de PP e o mais elevado na de GR; aliás, nas áreas de EG e GR as concentrações para além de 10 cm



**Quadro 1** - Valores de pH em KCl e teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e respectiva soma (SB) nos solos de “mata de panda” (MP) e de plantações de *P. patula* (PP), *E. grandis* (EG) e *G. robusta* (GR) e da cultura de milho (MI) adjacente. Letras diferentes para cada profundidade indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey

Prof (cm)	MP	MI	PP	MI	EG	MI	GR	MI
<b>pH (KCl)</b>								
0-10	3,91 <sup>a</sup>	4,07 <sup>b</sup>	3,97 <sup>a</sup>	3,95 <sup>a</sup>	4,43 <sup>a</sup>	4,27 <sup>a</sup>	5,09 <sup>a</sup>	4,16 <sup>b</sup>
10-20	4,22 <sup>a</sup>	4,14 <sup>a</sup>	4,08 <sup>a</sup>	3,97 <sup>b</sup>	4,15 <sup>a</sup>	4,27 <sup>a</sup>	4,19 <sup>a</sup>	4,23 <sup>a</sup>
20-30	4,68 <sup>a</sup>	4,60 <sup>a</sup>	4,48 <sup>a</sup>	4,35 <sup>b</sup>	4,25 <sup>a</sup>	4,46 <sup>a</sup>	4,41 <sup>a</sup>	4,91 <sup>b</sup>
<b><math>\text{Ca}^{2+}</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	0,46 <sup>a</sup>	0,52 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,09 <sup>b</sup>	1,27 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	7,82 <sup>a</sup>	1,27 <sup>b</sup>
10-20	0,04 <sup>a</sup>	0,04 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>
20-30	0,03 <sup>a</sup>	0,04 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	0,88 <sup>b</sup>
<b><math>\text{Mg}^{2+}</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	0,38 <sup>a</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,96 <sup>a</sup>	0,52 <sup>b</sup>	1,72 <sup>a</sup>	0,56 <sup>b</sup>
10-20	0,05 <sup>a</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>
20-30	0,03 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,04 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,26 <sup>b</sup>
<b><math>\text{K}^+</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	0,20 <sup>a</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,49 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>
10-20	0,11 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,18 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,28 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>
20-30	0,08 <sup>a</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>
<b><math>\text{Na}^+</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	0,12 <sup>a</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>
10-20	0,10 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,09 <sup>b</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>
20-30	0,09 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>
<b>SB (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	1,17 <sup>a</sup>	0,98 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,30 <sup>b</sup>	3,01 <sup>a</sup>	1,61 <sup>b</sup>	10,13 <sup>a</sup>	2,26 <sup>b</sup>
10-20	0,30 <sup>a</sup>	0,21 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>	1,38 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>
20-30	0,22 <sup>a</sup>	0,18 <sup>b</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,25 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	1,37 <sup>b</sup>

de profundidade eram mais elevadas do que nas outras áreas.

Com exceção da área da plantação de PP, a concentração de  $\text{K}^+$  de troca na camada de 0-10 cm foi significativamente mais elevada sob as coberturas florestais do que nas áreas agrícolas, nomeadamente nas áreas de EG e de GR, onde atingiu 0,64 e 0,49  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente; aliás, nestas áreas as concentrações entre 10 e 30 cm de profundidade eram mais elevadas do que nas outras áreas estudadas.

A soma de catiões não ácidos (SB), na profundidade de 0-10 cm, foi significativamente mais elevada nas áreas florestais do que nas respectivas áreas agrícolas adjacentes, mas no caso da área de MP a diferença não foi significativa. Os valores na área de PP foram muito menores (0,62 e 0,30  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  na área florestal e agrícola, respectivamente) do que nas restantes, ocorrendo os valores mais elevados

na área de GR (10,1 e 4,5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  na área florestal e agrícola, respetivamente). Ao invés do observado na camada superficial, a SB nas camadas de 10 a 30 cm na MP foi significativamente mais elevada do que na área agrícola. Nestas camadas também foram observadas diferenças entre as áreas florestais: nas formações de EG e GR o valor de SB tendeu a ser menor do que nas áreas agrícolas ao contrário do que se verificou para as outras espécies.

#### Alumínio de troca e grau de saturação em alumínio

A concentração de  $\text{Al}^{3+}$  extraível na profundidade de 0-10 cm no solo da MP (1,33  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) e da plantação de PP (1,55  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) foi significativamente maior do que nas respectivas áreas agrícolas adjacentes (0,88 e 1,37  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente) (Figura 3); no segundo caso a concentração também foi significativamente diferente na camada de 10-20 cm. Essa concentração tomou valores mínimos

na camada superficial dos solos com EG e com GR, os quais aumentaram nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, sendo na segunda camada superiores aos determinados nas áreas adjacentes com cultura agrícola; a variação com a profundidade foi inversa no caso da cultura agrícola.

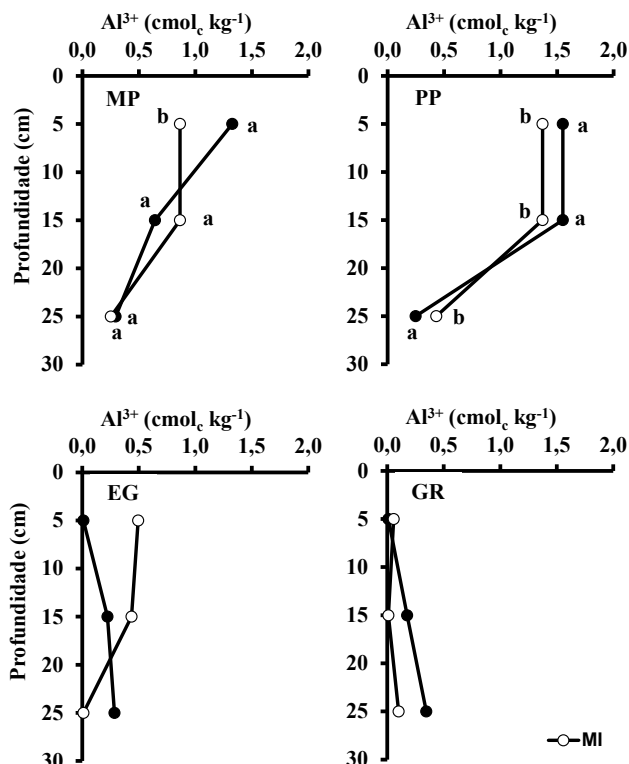
O grau de saturação em alumínio (GSA) foi menor no solo da MP do que no da área agrícola adjacente, mas apenas na camada 10-20 cm (respectivamente 59 e 79%) a diferença foi significativa (Quadro 2). O mesmo padrão foi observado entre camadas 0-10 e 20-30 cm do solo com PP e do solo com cultura agrícola; mas, na camada 10-20 cm o GSA do solo de PP (90%) foi inclusivamente maior do que o determinado no solo da área agrícola (89%) confrontante.

O grau de saturação em Al aumentou com a profundidade no solo de EG e na profundidade de 20-30 cm (cerca de 28%) foi maior do que na área de cultura de milho (cerca de 2%). A mesma tendência foi observada no solo de GR, onde o GSA nas camadas de 10-20 (17%) e 20-30 cm (33%) foi significativamente mais alto do que nas camadas homólogas dos solos com cultura agrícola (respectivamente 1 e 6%).

### Capacidade de troca catiónica efectiva

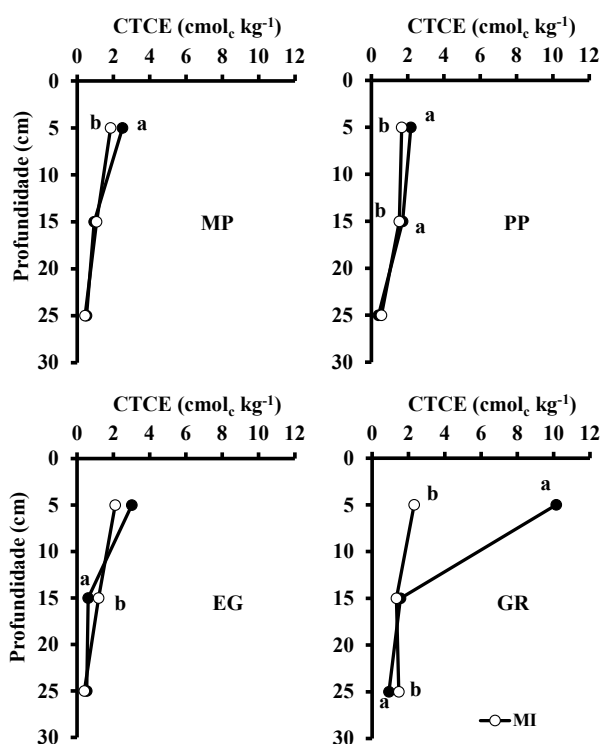
**Quadro 2** - Valores do grau de saturação em alumínio (GSA) e da concentração de P extraível pelos testes de Olsen ( $P_{OL}$ ) e de Egnér-Riehm ( $P_{ER}$ ) e de K pelo teste de Egnér-Riehm ( $K_{ER}$ ) nos solos dos diferentes sistemas florestais e da cultura de milho adjacente. Os símbolos dos sistemas de estudo como no Quadro 1. Letras diferentes para cada profundidade

Prof (cm)	MP	MI	PP	MI	EG	MI	GR	MI
<b>GSA (%)</b>								
0-10	51,76 <sup>a</sup>	47,20 <sup>a</sup>	71,36 <sup>a</sup>	82,36 <sup>b</sup>	0,35 <sup>a</sup>	26,62 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	2,17 <sup>a</sup>
10-20	58,97 <sup>a</sup>	79,09 <sup>b</sup>	90,11 <sup>a</sup>	89,02 <sup>b</sup>	22,00 <sup>a</sup>	44,62 <sup>a</sup>	16,74 <sup>a</sup>	0,82 <sup>b</sup>
20-30	30,22 <sup>a</sup>	47,90 <sup>a</sup>	62,47 <sup>a</sup>	76,24 <sup>b</sup>	27,82 <sup>a</sup>	2,38 <sup>a</sup>	32,77 <sup>a</sup>	6,07 <sup>b</sup>
<b><math>P_{OL}</math> (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	3,59 <sup>a</sup>	0,01 <sup>b</sup>	5,69 <sup>a</sup>	13,40 <sup>b</sup>	16,85 <sup>a</sup>	2,22 <sup>b</sup>	2,10 <sup>a</sup>	2,33 <sup>a</sup>
10-20	6,35 <sup>a</sup>	15,44 <sup>b</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>	4,95 <sup>a</sup>	5,65 <sup>a</sup>
20-30	0,01 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,79 <sup>a</sup>	1,38 <sup>b</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1,50 <sup>a</sup>
<b><math>P_{ER}</math> (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	5,04 <sup>a</sup>	2,52 <sup>b</sup>	6,00 <sup>a</sup>	6,54 <sup>a</sup>	7,37 <sup>a</sup>	3,87 <sup>b</sup>	3,34 <sup>a</sup>	15,36 <sup>b</sup>
10-20	0,91 <sup>a</sup>	0,90 <sup>a</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,45 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,79 <sup>a</sup>	1,42 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>
20-30	0,36 <sup>a</sup>	1,60 <sup>b</sup>	1,75 <sup>a</sup>	1,12 <sup>b</sup>	0,79 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>
<b><math>K_{ER}</math> (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
0-10	74,53 <sup>a</sup>	40,58 <sup>b</sup>	18,66 <sup>a</sup>	30,23 <sup>b</sup>	223,53 <sup>a</sup>	99,24 <sup>b</sup>	208,21 <sup>a</sup>	139,81 <sup>a</sup>
10-20	52,54 <sup>a</sup>	22,48 <sup>b</sup>	23,14 <sup>a</sup>	18,68 <sup>a</sup>	78,92 <sup>a</sup>	63,50 <sup>a</sup>	120,02 <sup>a</sup>	92,11 <sup>a</sup>
20-30	40,41 <sup>a</sup>	23,37 <sup>b</sup>	22,85 <sup>a</sup>	16,77 <sup>b</sup>	56,09 <sup>a</sup>	116,09 <sup>a</sup>	72,55 <sup>a</sup>	69,20 <sup>a</sup>



**Figura 3** - Teor de  $Al^{3+}$  extraível nos solos de mata de panda (MP) e de plantações de *P. patula* (PP), *E. grandis* (EG) e *G. robusta* (GR) e nos da cultura de milho (MI) adjacente. Letras diferentes para cada profundidade indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

A capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE) na camada de 0 - 10 cm era mais elevada nos solos das áreas florestais do que nos das áreas agrícolas (Figura 4), mas a diferença não se manifestou significativa no caso do solo da plantação de EG. A CTCE atingiu os valores mais baixos na camada superficial do solo da área de PP (2,17  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e agrícola adjacente (1,67  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ); os valores mais elevados foram observados na plantação de GR (10,14  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e na área agrícola adjacente (2,32  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Os valores da CTCE decresceram com a profundidade do solo, nomeadamente na camada 20-30 cm, onde as diferenças entre as diferentes áreas eram muito menos



**Figura 4** - Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE) nos solos de mata de panda (MP) e de plantações de *P. patula* (PP), *E. grandis* (EG) e *G. robusta* (GR) e nos da cultura de milho (MI) adjacente. Letras diferentes para cada profundidade indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

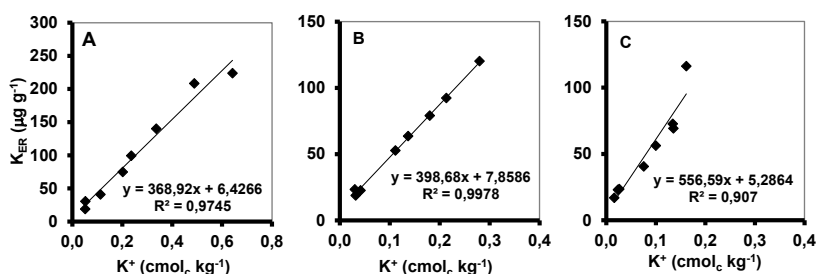
acentuadas; ainda assim, os valores nas áreas de MP, PP e EG (0,39-0,56  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) eram menores do que os observados na área de GR (0,92-1,47  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

#### Fósforo extraível

O teor de P extraível pelo teste de Olsen (Quadro 2) até 20 cm de profundidade foi muito variável (0,01 a 16,85  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e os valores mais elevados ocorreram tanto nas áreas florestais (EG) como nas agrícolas (adjacentes às áreas de MP, PP e GR), podendo as diferenças significativas ocorrer na camada superficial ou na subsuperficial. De qualquer modo observaram-se diferenças acentuadas entre as camadas anteriores e a camada de 20-30 cm, a que apresentava os teores mais baixos (0,01-1,50  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e muito mais baixos nas áreas de MP e PP do que nas outras. O padrão anterior também foi de certo modo observado para o teor de fósforo extraído pelo teste de Egnér-Riehm (0,03-15,65  $\text{mg kg}^{-1}$ ); no entanto, não se observaram correlações significativas ( $p > 0,05$ ) entre os valores obtidos pelos dois testes.

#### Potássio extraível

A concentração de K extraível na área de MP foi significativamente maior do que na área agrícola limítrofe (Quadro 2), atingindo valor mais elevado na camada de 0-10 cm (74,5  $\text{mg kg}^{-1}$ ) do que nas outras (42,5-52,5  $\text{mg kg}^{-1}$ ). Este padrão não se observou na área de PP, onde o teor na camada 0-10 cm do solo (18,7  $\text{mg kg}^{-1}$ ) era significativamente menor do que o determinado na área agrícola (30,2  $\text{mg kg}^{-1}$ ). Nas áreas de EG e GR as concentrações na camada 0-10 cm (respectivamente 233,5 e 208,2  $\text{mg kg}^{-1}$ ) eram muito mais elevadas e significativamente diferentes das observadas nas áreas agrícolas confrontantes (99,2 e 139,8  $\text{mg kg}^{-1}$  respectivamente); nas camadas seguintes não se observaram diferenças significativas, mas os respectivos valores eram mais elevados do que nos outros sistemas. Observou-se uma correlação positiva e significativa ( $p < 0,001$ ) entre o K extraível e o K de troca ( $r = 0,987, 0,999$  e  $0,952$  nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente) (Figura 5).



**Figura 5** - Correlação entre o potássio extraído pelo teste de Egnér-Riehm ( $K_{ER}$ ) e o potássio de troca ( $K^+$ ) nas camadas 0-10 (A), 10-20 (B) e 20-30 (C) cm dos solos estudados.



## Discussão

As diferentes formações florestais consideradas na Estação Experimental Agrícola da Chianga, passados pouco mais de 40 anos após a sua instalação, modificaram as características dos respectivos solos quanto à reacção, ao teor de C orgânico, às características do complexo de troca, comparativamente à cultura agrícola de referência adjacente, seguindo generalizadamente o padrão relatado para o final do período de pousio ou de formações secundárias em áreas de agricultura itinerante (Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992; Smaling *et al.*, 1997). Verificou-se assim a primeira hipótese colocada para a realização do estudo; porém, o período de influência dos sistemas arbóreos foi muito mais longo do que aquele generalizadamente seguido para o pousio nas áreas de agricultura itinerante na África Ocidental (Sanchez, 1976; Temudo *et al.*, 2015).

As várias formações florestais afectaram muito diferentemente as características dos solos, pois a “mata de panda” e a plantação de *P. patula* pouco contribuíram para o acréscimo do pH do solo, a redução da concentração de alumínio de troca e o aumento da concentração dos catiões de troca não ácidos e do valor da capacidade de troca cationica efectiva. Assim, os resultados obtidos no presente estudo indicam que a vegetação natural ou próxima da natural (caso da “mata de panda”), bem como a *P. patula*, ao contrário do observado para as outras espécies, poderão não modificar de modo acentuado as características do solo, mesmo na camada superficial, indicando que a recuperação do solo necessita de períodos extremamente longos; isto é, também se comprova a hipótese de que a recuperação do solo também está associada à natureza da vegetação arbórea. Sublinha-se no entanto que a biomassa das formações florestais consideradas (que é desconhecida) deverá acumular grandes quantidades de nutrientes, as quais deverão ser determinadas para uma análise mais aprofundada do efeito das mesmas. O padrão referido sugere a necessidade, por um lado, de avaliar o efeito das formações florestais em mais áreas, tendo em consideração as características específicas dos solos de cada sítio e, por outro, de quantificar a respectiva biomassa e a quantidade de nutrientes nela acumulada. Considera-se que os locais de instalação das espécies florestais (pelo menos alguns deles) deverão ser representativos dos solos das áreas agrícolas do Planalto Central, dado que, por exemplo, se observou uma correlação positiva e significativa ( $r = 0,9896$ ;  $p < 0,05$ ) entre a soma dos catiões de

troca não ácidos da camada de 20-30 cm dos solos das áreas florestais e das agrícolas.

As camadas superficiais (0-10 cm) dos solos das áreas das formações florestais consideradas apresentaram uma grande amplitude de valores de pH que correspondem a reacção desde fortemente ácida a levemente ácida; a variação nas camadas subsuperficiais (10-30 cm) foi um pouco menos acentuada, correspondendo a reacção muito fortemente ácida a moderadamente ácida. Esta ampla variação da reacção do solo está em conformidade com o padrão geral relatado para os Solos Ferralíticos que ocorrem em Angola (CEP, 1995; Neto *et al.*, 2006). As fortes diferenças dos valores de pH entre os solos das diferentes áreas consideradas (nomeadamente na camada superficial) sugerem que também deverá ocorrer uma grande variabilidade na concentração de alumínio de troca, dado que esta aumenta fortemente quando a reacção do solo passa para fortemente ou muito fortemente ácida (Brady e Weil, 2008; Madeira e Ricardo, 2015). Com efeito, a concentração do alumínio de troca foi muito mais elevada nos solos de “mata de panda” e de *P. patula*, os que apresentavam acidez mais acentuada (pH de 5,19-5,64 e 4,83-4,96, respectivamente), do que naqueles sob *E. grandis* ou *G. robusta*, onde a acidez estava mais atenuada (pH de 5,51-5,88 e 5,39-6,18, respectivamente) e que apresentavam teores de alumínio de troca nulos nas camadas superficiais. Apesar disso, apenas se observou correlação negativa e significativa entre os teores de Al de troca e os valores de pH em água na camada de 0-10 cm ( $r = -0,9678$ ;  $p < 0,05$ ).

Aos solos da “mata de panda” e da plantação de *P. patula* estão associados elevados valores de grau de saturação de Al, nomeadamente na camada entre 10 e 20 cm de profundidade (71,3 e 75,2 %, respectivamente), embora um pouco inferiores aos observados nas respectivas áreas agrícolas (80,4 e 89,0%, respectivamente), ao passo que nos solos sob *G. robusta* e *E. grandis* esses valores eram nulos ou mínimos. A variabilidade dos valores da concentração do alumínio de troca correspondeu naturalmente a uma grande variabilidade do respectivo grau de saturação, determinando consequências muito diferentes quanto a eventuais condições de toxicidade de alumínio para as plantas, como considerado por Sanchez (1976); de facto, no caso das áreas com “mata de panda” ou *P. patula* o grau de saturação em alumínio é bastante superior ao limiar de 60%, valor a partir do qual o crescimento da generalidade das culturas pode ser fortemente afectado.

É evidente que as características das camadas superficiais dos solos das áreas com *G. robusta* e *E. grandis* diferem das demais por apresentarem valores de pH mais elevados (6,18 e 5,84, respectivamente) e associados a uma soma de cátions de troca não ácidos bastante mais elevada (10,13 e 3,01 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente) que deverá ser atribuído à respectiva reciclagem pela decomposição dos resíduos orgânicos. A diferença entre as características do solo dos diferentes sítios poderá atribuir-se genericamente à natureza da vegetação arbórea, através de diferentes fluxos de cátions não ácidos para a superfície do solo. Admite-se tal hipótese na medida em que as espécies *E. grandis* (Zaia e Gama-Rodrigues, 2004) e *G. robusta* (Martins, 2000; Kindu *et al.*, 2006) são conhecidas por transferirem elevadas quantidades de cátions não ácidos para o solo; aliás, a elevada densidade de espécies arbustivas na área da *G. robusta* e de espécies herbáceas na área de *E. grandis* também deverá contribuir para esse efeito. De facto, o efeito da *G. robusta* (em condições de grande espaçamento) na melhoria das características de um *Latossolo* vermelho, num sistema silvo-pastoril com 22 anos no Paraná (Brasil), foi relatado por vários autores (Porfírio da Silva, 1994; Radomski e Ribaski, 2012), tendo observado fortes acréscimos de pH, do teor de C orgânico, dos teores de Ca e de Mg de troca, bem como da capacidade de troca catiónica na camada superficial do solo. Os resíduos de eucalipto, por seu turno, também podem contribuir para o enriquecimento da camada superficial do solo em cátions não ácidos (Madeira e Ribeiro, 1995). Neste âmbito, é de todo necessário conhecer as particularidades das espécies constituintes da “mata de panda” (e da *P. patula*), tanto mais que se considera que longos períodos de pousio nas áreas de agricultura itinerante, permitindo o desenvolvimento de formações secundárias, conduzem à melhoria das características do solo, nomeadamente no que respeita à sua fertilidade (Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992).

Apesar do possível efeito do tipo da vegetação arbórea (e do respectivo sob coberto) na variação das características do solo, também se poderá considerar que as diferenças observadas estejam associadas às características dos próprios solos. Com efeito, as características da camada mais profunda considerada (20-30 cm), como anteriormente se referiu, são semelhantes quando se compara cada uma das áreas das formações florestais e a respectiva área agrícola adjacente; porém, as diferentes áreas apresentavam, ainda assim, va-

riabilidade acentuada quanto à reacção do solo, à concentração de cátions de troca não ácidos e à capacidade de troca catiónica efectiva. As características dos solos (da camada 20-30 cm) das áreas com *G. robusta* e *E. grandis* – as que apresentam as variações mais fortes na camada superficial relativamente à cultura agrícola – diferem das demais por apresentarem valores de pH mais elevados (5,39 e 5,52, respectivamente) e também uma capacidade de troca catiónica efectiva bastante mais elevada (0,52 e 0,92 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), o mesmo acontecendo nas áreas agrícolas adjacentes. Assim, admite-se que a diferença entre as áreas com as diferentes formações arbóreas poderá estar também associada às diferenças iniciais das características dos respectivos solos. Este padrão poderá atribuir-se ao facto dos solos das áreas de *E. grandis* e de *G. robusta* (*Solos Ferralíticos* vermelhos) estarem desenvolvidos sobre rochas não quartzíferas (sienitos nefelínicos e a rochas piroclásticas - brechas e tufos vulcânicos), enquanto os solos das áreas com “mata de panda” e *P. patula* (*Solos Ferralíticos* amarelos) se desenvolveram sobre rochas ácidas eruptivas ou cristalofílicas quartzíferas (Nogueira, 1970). Aliás, uma diferenciação apreciável da reserva total em cátions não ácidos foi relatada por Teixeira *et al.* (2006) para a generalidade dos *Solos Ferralíticos* de Angola. Essa possível influência está em linha com o facto de se observar uma correlação positiva e significativa ( $r = 0,9912$ ;  $p < 0,01$ ) entre a soma dos cátions de troca não ácidos da camada 0-10 cm e a da camada 20-30 cm do solo das áreas florestais, bem como entre a soma dos cátions da camada 0-10 cm destas áreas e a mesma soma da camada 20-30 cm do solo das respectivas áreas agrícolas de referência ( $r = 0,9945$ ;  $p < 0,01$ ).

O teor de C orgânico nas camadas superficiais nos solos das diferentes áreas florestais foi variado (17 a 36 g kg<sup>-1</sup>), atingindo valores da ordem de grandeza dos determinados em áreas de clima temperado (Sanchez e Logan, 1992). Esse teor foi superior ao determinado nas respectivas áreas agrícolas (15,4-20,4 g kg<sup>-1</sup>), o que se pode atribuir a diferenças de produtividade e de remoção da biomassa produzida. Sublinha-se que a diferença acentuada do teor de C orgânico entre as áreas florestais poderá estar relacionada com a natureza e a produtividade das espécies arbóreas; o grau de cobertura com vegetação herbácea e arbustiva poderá também influenciar essa diferença, dado que os solos da área sem esse coberto (área de *P. patula*) foram aqueles em

que o teor de carbono foi mais baixo, ao passo que aqueles com esse coberto muito expresso (área de *G. robusta*) apresentaram o teor mais elevado. A diferença entre o teor de C orgânico poderá explicar pelo menos parcialmente a grande diferença da capacidade de troca catiónica efectiva (e da soma de catiões de troca não ácidos) entre o solo da plantação de *G. robusta* e os das restantes áreas. Esta tendência é suportada pelo facto de se ter observado para o conjunto das áreas de estudo uma correlação positiva e significativa entre a capacidade de troca catiónica efectiva e o teor de C orgânico ( $r=0,56975$ ;  $p<0,01$ ). Aliás, a matéria orgânica do solo é considerada determinante no acréscimo da capacidade de troca catiónica efectiva do solo e, portanto, no aumento da capacidade de retenção de catiões de troca não ácidos de solos fortemente alterados e com fracção argilosa de baixa actividade (Bekunda *et al.*, 1997; Franco e Ricardo, 1998; Kimetu *et al.*, 2008; Anda *et al.*, 2013). Os resultados também indicam que a cobertura com vegetação arbórea não conduz necessariamente ao aumento substancial do teor de matéria orgânica no solo nem da capacidade de retenção de catiões.

Além do efeito do teor de matéria orgânica, o acréscimo do valor da capacidade de troca catiónica efectiva do solo observada nas camadas superficiais dos solos das áreas de *E. grandis* ( $3,01 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e de *G. robusta* ( $10,13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) também deverá estar associado ao aumento dos valores de pH do solo (os quais atingiram valores da ordem de 5,84-6,2), em correspondência com as diferenças significativas observadas no teor de  $\text{Ca}^{2+}$  e com a concomitante redução dos valores do grau de saturação em alumínio. De facto, este aumento deverá determinar o aumento de cargas negativas dos constituintes minerais e orgânicos do solo (Anda *et al.*, 2013) e aumentar a capacidade de retenção de catiões no solo. Este padrão está em correspondência com os acréscimos observados para a soma dos catiões de troca não ácidos, em especial para o teor de  $\text{Ca}^{2+}$ , nas áreas de *E. grandis* e *G. robusta* relativamente às restantes. Aliás, tal influência foi claramente evidenciada por Franco e Póvoas (1995-1996) ao estudar a contribuição da matéria orgânica para as cargas variáveis de *Solos Ferralíticos* de Angola.

O teor de P extraível determinado nos solos das áreas do presente estudo foi muito variável ( $0,0$ - $16,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ); considerando as classes de fertilidade sugeridas por Horta e Torrent (2010) para o P extraído

pelo teste de Olsen poder-se-á afirmar que as mesmas variam de muito baixa a média. Estes teores enquadram-se no intervalo de valores recentemente relatados para diversas regiões de Angola (Auxtero *et al.*, 2013) e para diversas áreas do Planalto Central de Angola (Asanzi *et al.*, 2006), em que os teores de P disponível (pelo teste de Mehlich1) variaram entre 2,6 e  $22,6 \text{ mg kg}^{-1}$  (oscilando os determinados na Chianga entre 6,9 e  $10,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), corroborando a baixa disponibilidade de fósforo atribuída aos *Solos Ferralíticos* (Dias *et al.*, 2006; Ucuassapi, 2006). A variabilidade dos teores de P extraível (teste de Olsen) entre os diversos sistemas florestais e entre estes e as áreas agrícolas e mesmo entre as diversas camadas do solo não permite identificar um padrão de variação coerente. Aliás, o contraste entre os níveis elevados de P disponível em algumas áreas agrícolas e os das áreas florestais sugere um eventual efeito residual devido a eventuais aplicações de fertilizantes; além disso, o P extraível pelo teste de Egnér-Riehm foi consistentemente mais elevado na camada superficial do que nas restantes. Tais factos sugerem que os dados respeitantes ao P extraível sejam considerados com a devida reserva e na expectativa de obtenção de informações mais detalhadas sobre o historial do sistema de uso das áreas estudadas, mostrando-se de grande interesse a realização de estudos comparativos entre os vários testes de avaliação de P disponível no solo (Auxtero *et al.*, 2013). Finalmente sublinha-se que essa disponibilidade nos solos estudados só poderá ser substancialmente aumentada pela aplicação de fertilizantes (Sanchez *et al.*, 1997).

Excepto a área de *P. patula*, o potássio extraível apresentou um grande aumento na camada superficial dos solos das áreas florestais, nomeadamente naquelas com *E. grandis* e com *G. robusta*. Esta tendência atribui-se ao ciclo biogeoquímico do potássio em virtude da rápida transferência deste elemento do solo para a biomassa e desta para o solo a partir do gotejo e da decomposição dos resíduos orgânicos (Binkley e Fisher, 2013). Este padrão releva de modo inequívoco a influência do tipo de cobertura florestal na recuperação de características dos *Solos Ferralíticos*. Entretanto, o acréscimo do rácio entre o K extraível e o K de troca com o aumento da profundidade do solo (ver Figura 5) poderá atribuir-se ao acréscimo do grau de saturação em K (em relação à capacidade de troca catiónica efectiva) da camada superficial (9%) para a camada de 20-30 cm (24%) (ver Quadro 1 e Figura 4).

## Conclusões

A recuperação da fertilidade de Solos Ferralíticos durante um longo período (pouco mais de 40 anos) de pousio variou com o tipo da vegetação arbórea, observando-se que entre as espécies exóticas a *P. patula* teve efeito reduzido nessa recuperação, ao passo que a *E. grandis* e principalmente a *G. robusta* mostraram um efeito muito acentuado; o efeito da vegetação natural (“mata de panda”) aproximou-se mais da *P. patula* do que das outras espécies. Os resultados sugerem que o grau dessa recuperação dependerá também das características dos solos (por exemplo da reserva mineral), apresentando os Solos Ferralíticos amarelos um potencial de recuperação menor do que os vermelhos; contudo são necessários estudos pertinentes para a devida comprovação desta hipótese. Porém, a recuperação do solo circunscreveu-se exclusiva ou majoritariamente à camada superficial do mesmo (0-10 cm), indicando que modificações mais acentuadas e em profundidade apenas ocorrerão durante períodos muito longos. Os resultados sugerem que as estratégias para a recuperação dos Solos Ferralíticos devem incluir o aumento do respetivo pH (aplicação de correctivos) e do teor de matéria orgânica, condição fundamental para diminuir o grau de saturação em alumínio e simultaneamente aumentar a capacidade de retenção de catiões não ácidos e a disponibilidade de nutrientes. Estes efeitos são indissociáveis da aplicação combinada de resíduos orgânicos e fertilizantes e do desenvolvimento de sistemas de agricultura e agroflorestais que otimizem o ciclo de nutrientes e a fixação biológica do azoto atmosférico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao pessoal do Laboratório de Solos do Departamento de Recursos Naturais, Ambiente e Ordenamento do Território, do Instituto Superior de Agronomia, o apoio nos processamentos analíticos. Ao Mestre Paulo Marques agradecem o apoio na organização gráfica do texto.

## Referências bibliográficas

Alegre, J.C.; Cassel, D.K.; Bandy, D. e Sanchez, P.A. (1986) - Effect of land clearing on soil properties of an Ultisol and subsequent crop production in Yurimaguas, Peru. *In*: Lal, R., Sanchez, P.A.

- e Cummings Jr., R.W. (Eds.) - *Land clearing and development in the tropics*. Rotterdam, A.A. Balkema, p. 167-177.
- Anda, M.; Shamshuddin, J. e Fauziah, C.I. (2013) - Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. *Tillage and Soil Research*, vol. 132, p. 1-11.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.04.005>
- Asanzi, C.; Kiala, D.; Cesar, J.; Lyvers, K.; Querido, A.; Smith, C. e Yost, R.S. (2006) - Food production in the planalto of southern Angola. *Soil Science*, vol. 170, n. 10, p. 810-820.  
<http://dx.doi.org/10.1097/01.ss.0000228054.15710.5a>
- Auxtero, E.A.; Madeira, M. V.; Monteiro, F.G. e Horta, M.C. (2013) - Evaluation of different soil tests for phosphate extractability in major soils from Angola. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 44, n. 9, p. 1412-1434.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2012.762014>
- Bekunda, M.A.; Bationo, A. e Ssali, H. (1997) - Soil fertility management in Africa: A review of selected research trials. *In*: Buresh, R.J.; Sanchez, P.A. e Calhoun, F. (Eds.) - *Replenishing soil fertility in Africa*. SSSA e ICRAF, SSSA Special Publication number 51. Madison, Soil Science Society of America, Inc., e American Society of Agronomy, Inc., p. 63-79.
- Binkley, D. e Fisher, R.F. (2013) - *Ecology and management of forest Soils*. 4th edition. Chichester, John Wiley & Sons, 347 p.
- Brady, N.C. e Weil, R.R. (2008) - *The nature and properties of the soils*. Twelfth Edition. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 975 p.
- Centro de Estudos de Pedologia - CEP. (1995) - *Carta geral dos solos de Angola. 8. Província de Malange*. Memórias do Instituto de Investigação Científica Tropical, N.º 71 (Segunda Série). Lisboa, Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, 839 p.
- De Leenheer, L. e Van Hove, J. (1958) - Determination de la teneur en carbone organique des sols. Études critiques des méthodes tritrimétriques. *Pédologie*, vol. 8, p. 39-77.
- Dias, J.C.S. (1962) - *Estudo da fertilidade dos solos de Angola*. Nova Lisboa, Instituto de Investigação Agronómica de Angola.
- Dias, J.S.; Costa, A.V.; Moreira, T. e Ucuassapi, A.P. (2006) - Acerca da fertilidade dos solos de Angola. II. Elementos sobre a fertilidade de importantes agrupamentos de solos das Províncias do Bengo,



- Cuanza Sul, Benguela, Huambo, Bié, Moxico, Huila e Cunene. In: Moreira, I. (Org.) – *Angola: agricultura, recursos naturais, desenvolvimento rural*, Vol. I. Lisboa, ISAPress, p. 479-515.
- Franco, E.P.C. e Póvoas, I.M. (1995-1996) - Efeito do pH sobre a contribuição da fracção orgânica e da fracção mineral para a capacidade de troca catiónica em Solos Tipo Ferrálicos de Angola. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, vol. 45, p. 487-522.
- Franco, E.P.C. e Ricardo, R.P. (1998) - Uma aproximação estatística no estudo da contribuição da matéria orgânica e da argila para a capacidade de troca catiónica dos solos ferralíticos de Angola. *Garcia de Orta, Série Estudos Agronómicos*, vol. 20, n. 1-2, p. 15-30.
- Horta, M.C. e Torrent, J. (2010) - *Dinâmica do fósforo no solo. Perspectiva agronómica e ambiental*. Castelo Branco, Edições IPCB, 97 p.
- Kang, B.T.; Richards, L. e Atta-Krah, A.N. (1990) - Alley farming. *Advances in Agronomy*, vol. 43, p. 315-359.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60481-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60481-2)
- Kimetu, J.M.; Lehmann, J.; Ngoze, S.O.; Mugendi, D.N.; Kinyange, J.M.; Riha, S.; Verchot, L.; Recha, J.W. e Pell, A.N. (2008) - Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, vol. 11, n. 5, p. 726-739.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10021-008-9154-z>
- Kindu, M.; Glatzel, G.; Tadesse, Y. e Yosef, A. (2006) - Tree species screened on Nitosols of Central Ethiopia: biomass production, nutrient contents and effect on soil nitrogen. *Journal of Tropical Forest Science*, vol. 18, n. 3, p. 173-180.
- Madeira, M. e Ribeiro, C. (1995) - Influence of leaf litter type on the chemical evolution of a soil parent material (sandstone). *Biogeochemistry*, vol. 29, n. 1, p. 43-58.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00002593>
- Madeira, M. e Ricardo, R.P. (2015) - Implicações das características do complexo de troca na classificação e gestão de Solos Ferralíticos de Angola. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 38, n. 3, p. 394-410.
- Manuel, M. (2013) - *Necessidades térmicas e hídricas de desenvolvimento de várias cultivares regionais de milho e feijão de Angola, em Solos Ferralíticos*. Tese de Doutoramento em Engenharia Agronómica. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 135 p.
- Martins, E.G. (2000) – *Seleção genética e caracterização fisiológica e nutricionais de procedentes de Grevillea robusta*. Dissertação de doutoramento. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 126 p.
- Missão de Pedologia de Angola - MPA. (1961) - *Carta geral dos solos de Angola. 2. Distrito de Huambo*. Memórias (2ª Série) da Junta de Investigações do Ultramar, 27. Lisboa, Missão de Pedologia de Angola, 275 p.
- Muondo, P.A. (2013) - *Culturas intercalares e agricultura familiar em Angola. Caso: mandioca/ cajanus; mandioca/leucaena*. Tese de Doutoramento em Engenharia Agronómica. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 173 p.
- Neto, A.G.; Ricardo, R.P. e Madeira, M. (2006) - O alumínio nos solos de Angola. In: Moreira, I. (Org.) - *Angola: agricultura, recursos naturais, desenvolvimento rural*. I Volume. Lisboa, ISAPress, p. 121-143.
- Nogueira, M.D. (1970) - *Carta de solos do Centro de Estudos da Chianga*. Huambo, Angola, IIAA, 65 p.
- Nye, P.H. e Greenland D.J. (1960) - The soil under shifting cultivation. *Technical Communication* 51. Harpenden, Commonwealth Bureau of Soils.
- Olsen, S.R. e Sommers, L.E. (1982) - Phosphorus. In: Page, A.L. (Ed.) - *Methods of soil analysis. Part 2 – chemical and microbiological properties* (second edition). Agronomy number 9. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Inc. e Soil Science Society of America, Inc., p. 403-430.
- Porfírio da Silva, V. (1994) - Sistema silvipastoril (Grevílea+pastagem): uma proposição para o aumento de produção no arenito Caiuá. Congresso Brasileiro sobre Sistemas Agroflorestais, Porto Velho. *Embrapa Florestas*, vol. 2, p. 291-197.
- Póvoas, I. e Barral, M.F. (1992) - *Métodos de análise de solos*. Comunicações, Série de Ciências Agrárias. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, 61 p.
- Radomski, M.I. e Ribaski, J. (2012) – Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevilia robusta*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 32, p. 53-61. <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.53>
- Sanchez, P.A. (1976) - *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley and Sons, 618 p.
- Sanchez, P.A. e Logan, T.J. (1992) – Myths and science about the chemistry and fertility of soils of the tropics. In: Sanchez, P.A. e Logan, T.J. (Eds.) - *Myths and science of soils of the tropics*. SSSA Special Publication no. 29. Madison, Soil Science Society of America, Inc. e America Society of Agronomy, Inc., p. 35-46.



- Sanchez, P.A.; Shepherd, K.D.; Soule, M.J.; Place, F.M.; Buresh, R.J.; Izac, A.M.N.; Mkwunye, A.U.; Kwesiga, F.R.; Ndiritu, C.G. e Woome, P.L. (1997) - Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital. In: Buresh, R.J.; Sanchez, P.A. e Calhoun, F. (Eds.) - *Replenishing soil fertility in Africa*. SSSA e ICRAF, SSSA Special Publication number 51. Madison, Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., p. 1-46.
- Sertoli, P.E. (2009) - *As características do complexo de troca e a classificação dos solos da República de Angola*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 71 p.
- Smaling, E.M.A.; Nandwa, S.M. e Janssen, B.H. (1997) - Soil fertility in Africa is stake. In: Buresh, R.J., Sanchez, P.A. e Calhoun, F. (Eds.) - *Replenishing soil fertility in Africa*. SSSA e ICRAF, SSSA Special Publication number 51. Madison, Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., p. 47-61.
- Soil Survey Staff. (2010) - *Keys to soil taxonomy, 11th edition*. Washington DC, USDA-Natural Resources Conservation Service, 338 p.
- Teixeira, A.M.; Ricardo, R.P.; Monteiro, F. e Madeira, M. (2006) - Os minerais de ferro e alumínio nos solos de Angola. In: Moreira, I. (Org.) - *Angola: agricultura, recursos naturais, desenvolvimento rural*, I Volume. Lisboa, ISAPress, p. 145-167.
- Temudo, M.P.; Figueira, R. e Abrantes, M. (2015) - Landscapes of biocultural diversity: shifting cultivation in Guinea-Bissau, West Africa. *Agroforestry Systems*, vol. 89, n. 1, p. 175-191. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-014-9752-z>
- Ucuassapi, A.P. (2006) - *Alguns elementos sobre a fertilidade e fertilização dos solos de Angola*. Dissertação de Mestrado em Agronomia e Recursos Naturais. Huambo, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Agostinho Neto, e Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 48 p.
- Van Wambeke, A. (1992) - *Soils of the tropics – properties and appraisal*. New York, McGraw-Hill Inc., 343 p.
- Watanabe, F.S. e Olsen, S.R. (1965) - Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Science Society America Proceedings*, vol. 29, p. 677-678.
- WRB IUSS Working Group. (2006) - *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103, 2nd edition. Rome, FAO, 128 p.
- Xabregas, J. (1966) - Carência de nutrientes de alguns solos de Angola. *Agronomia Angolana*, vol. 24, p. 23-31.
- Zaia, F.C. e Gama-Rodrigues, A.C. (2004) - Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 28, n. 5, p. 843-852. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000500007>